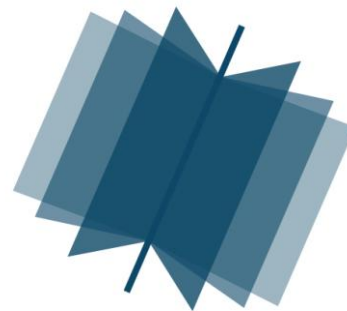


**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

**ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург
2016



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.
Главный редактор: Миллер А.В.
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,
д. 4, корп. А, оф. 17.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org

**№ 11 (53) 2016
Часть 4
Ноябрь**

Подписано в печать 18.11.2016.
Тираж 900 экз.
Заказ 26163
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

Сборник по результатам LVI заочной научной конференции International Research Journal.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Журнал входит в международную базу научного цитирования **Agris**.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПН № ФС 77 – 51217**.

Члены редколлегии:

Филологические науки: Растягаев А.В. д-р филол. наук, Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Вербицкая О.М. к.филол.н.

Технические науки: Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Герасимова Л.Г., д-р техн. наук, Курасов В.С., д-р техн. наук, проф., Оськин С.В., д-р техн. наук, проф.

Педагогические науки: Лежнева Н.В. д-р пед. наук, Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук.

Психологические науки: Мазилев В.А. д-р психол. наук, Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук.

Физико-математические науки: Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свиштунов Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.

Географические науки: Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Огуреева Г.Н., д-р геогр. наук, проф.

Биологические науки: Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Еськов Е.К., д-р биол. наук, проф., Шеуджен А.Х., д-р биол. наук, проф.

Архитектура: Янковская Ю.С., д-р архитектуры, проф.

Ветеринарные науки: Алиев А.С., д-р ветеринар. наук, проф., Татарникова Н.А., д-р ветеринар. наук, проф.

Медицинские науки: Медведев И.Н., д-р мед. наук, д.биол.н., проф., Никольский В.И., д-р мед. наук, проф.

Исторические науки: Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Бакулин В.И., д-р ист. наук, проф., Бердинских В.А., д-р ист. наук, Лёвочкина Н.А., к.ист.наук, к.экон.н.

Культурология: Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

Искусствоведение: Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

Философские науки: Петров М.А., д-р филос. наук, Бессонов А.В., д-р филос. наук, проф.

Юридические науки: Грудцына Л.Ю., д-р юрид. наук, проф., Костенко Р.В., д-р юрид. наук, проф., Камышанский В.П., д-р юрид. наук, проф., Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Ергашев Е.Р., д-р юрид. наук, проф.

Сельскохозяйственные науки: Важов В.М., д-р с.-х. наук, проф., Раков А.Ю., д-р с.-х. наук, Комлацкий В.И., д-р с.-х. наук, проф., Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Наумкин В.П., д-р с.-х. наук, проф.

Социологические науки: Замараева З.П., д-р социол. наук, проф., Солодова Г.С., д-р социол. наук, проф., Кораблева Г.Б., д-р социол. наук.

Химические науки: Абдиев К.Ж., д-р хим. наук, проф., Мельдешов А. д-р хим. наук.

Науки о Земле: Горяинов П.М., д-р геол.-минерал. наук, проф.

Экономические науки: Бурда А.Г., д-р экон. наук, проф., Лёвочкина Н.А., д-р экон. наук, к.ист.н., Ламоттке М.Н., к.экон.н.

Политические науки: Завершинский К.Ф., д-р полит. наук, проф.

Фармацевтические науки: Тринева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

АНАЛИЗ ДИАГРАММ РАССЕЯНИЯ НЕЛИНЕЙНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ЖЕСТКОМ ЦИЛИНДРЕ	6
РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ВВОЗА ОБРАЗЦОВ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ	10
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	14
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	18
РЕШЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ СИНТЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИКО-КОМБИНАТОРНОГО ПОДХОДА	21
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА ВОДЫ	24
ИЗУЧЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ ИЗ МОЛОК ЛОСОСЕВЫХ РЫБ	28
РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ДАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В ФОРМАТЕ FOAF	31
СПОСОБЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ДАННЫХ	34
СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ	38
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРСИНГА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ РАБОТЫ С ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРОЙ	43
ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ	47
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕФТЕШЛАМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА	50
ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ	53
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОЛЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИКРОСФЕРАХ	55
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СМАЗОЧНОГО ПРОЦЕССА В ПОДШИПНИКАХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	60
ANALYSIS PQP FOUNDRIES. DEFLECTION COMPENSATION VOLTAGE USING OFF-LOAD TAP CHANGER AND ON-LOAD TAP CHANGER	64
СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	68
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ЛИГАТУР	73
РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИВОДА: ПРУЖИНА ИЗ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ – КОНТРПРУЖИНА	77
МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	81
КРИТЕРИИ ВЫБОРА СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ	84
ВЛИЯНИЕ ГИДРОКАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ	86
ЧИСТКА ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ БИООРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ	94
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОРЕГУЛИРУЕМОГО ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА В РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ЗАЩИТНОЙ МАСКЕ	97
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ДОСТИЖЕНИЯ КОНСЕНСУСА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРЕБОВАНИЙ СТАНДАРТОВ	104
АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧНОСТИ СХЕМЫ ПОДОГРЕВА СЫРОЙ ВОДЫ ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДОЙ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ	109

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ В ПРЕДЕЛАХ СОРБЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ.....	112
ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЛАМП.....	117
ТЕХНОЛОГИЯ POWER LINE COMMUNICATIONS (PLS) ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ ФИЛЬТРОВ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ ПИТАНИЯ С МАГИСТРАЛЬНЫМ ШИРОКОПОЛОСНЫМ PLC МОДЕМОМ G2-BASE-200	120
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ С АККУМУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ	122
РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ КЕРАМИК.....	126
ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА НА ФРЕОНЕ ..	130
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВЫСАЖИВАЮЩЕГО АППАРАТА С ОРИЕНТИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ	135
THE TECHNOLOGY OF ALKALINE PHOSPHORUS FERTILIZER ON THE BASIS OF VARIOUS INDUSTRIAL WASTE	138
ХРАНЕНИЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА И ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	141
СПОСОБ АДАПТИВНОГО СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	143

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

LASER-INDUCED PROCESS OF DEFROSTING IN BIOLOGICAL TISSUES AFTER IMPREGNATION BY NANOPARTICLES WITH ABNORMAL HIGH PHOTOTHERMAL EFFECT	146
О ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ФОТОНА В КООРДИНАТНОМ И ИМПУЛЬСНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ.....	152
QUANTUM ELECTRICAL PHENOMENA AT LOW TEMPERATURES.....	157
ОПТИМИЗАЦИЯ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ С ДВУМЯ СТРУКТУРАМИ И НЕЗАВИСИМЫМИ ПРИОРИТЕТАМИ.....	161
ПОСТРОЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТА ВЗВЕСИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МЕЛКОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ	165

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.142

Аббасов И.Б.¹, Заграй Н.П.²¹ORCID: 0000-0003-4805-8714, Доктор технических наук,²Доктор технических наук,

Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета

АНАЛИЗ ДИАГРАММ РАССЕЙНИЯ НЕЛИНЕЙНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ЖЕСТКОМ ЦИЛИНДРЕ**Аннотация**

Статья посвящена анализу диаграмм рассеяния нелинейно взаимодействующих плоских акустических волн на жестком цилиндре. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных диаграмм рассеяния плоской акустической волны на жестких цилиндрах и металлических оболочках цилиндрической формы. Сравнение осуществлено для построенных диаграмм рассеяния акустического давления волны разностной частоты. Анализируется процесс формирования итогового поля рассеяния вокруг цилиндра, общее акустического давления волны разностной частоты создается пространственными слагаемыми с различной конфигурацией волнового фронта.

Ключевые слова: расчетные и экспериментальные диаграммы рассеяния, акустически жесткий цилиндр, волна разностной частоты.

Abbasov I.B.¹, Zagrai N.P.²¹ORCID: 0000-0003-4805-8714, PhD in Engineering,²PhD in Engineering,

Engineering Technological Academy of Southern Federal University

ANALYSIS THE SCATTERING DIAGRAMS OF NONLINEARLY INTERACTING ACOUSTIC WAVES BY A RIGID CYLINDER**Abstract**

This article analyzes the scattering diagrams of nonlinearly interacting plane acoustic waves on a rigid cylinder. The numerical and experimental scattering diagrams of a plane acoustic wave on a rigid cylinders and cylindrical metallic shells is compared. Comparisons performed for acoustic pressure built scattering diagrams difference frequency wave. Analyzes the process of formation of the final scattering field around the cylinder, the total acoustic pressure of difference frequency wave is generated spatial terms with a different configuration of the wavefront.

Keywords: numerical and experimental scattering diagrams, acoustical rigid cylinder, difference frequency wave.

Вопросы диагностики водной среды прибрежных акваторий остаются актуальными, целесообразно для этих целей использовать гидроакустические системы на основе нелинейных эффектов. Данные системы базируются на гидроакустических параметрических антеннах, которые позволяют в широкополосном диапазоне наиболее эффективно диагностировать неоднородности водной толщи мелководных водоемов. Аналитически задачи диагностики хорошо описываются для неоднородностей правильной геометрической формы. Представленная работа посвящена анализу поля рассеяния нелинейных волн на неоднородностях среды цилиндрической формы. Вопросы анализа диаграмм рассеяния акустических волн на вытянутом сфероиде были рассмотрены в работе [1].

Постановка задачи была сформулирована и исследована авторами в работах [2], [3]. На акустически жесткий цилиндр падают нелинейно взаимодействующие плоские акустические волны, при этом волновые процессы описываются нелинейным волновым уравнением, которое решается методом последовательных приближений. Далее были получены асимптотические выражения для акустического давления всех четырех частотных компонент вторичного поля. Выражения для акустических давлений состоят из пространственных слагаемых, характеризующих нелинейное взаимодействие, как падающих плоских и рассеянных цилиндрических волн, так и взаимодействие волн с различными пространственными конфигурациями волнового фронта. На основе асимптотических выражений были построены расчетные диаграммы рассеяния, как слагаемых, так и общего акустического давления волн вторичного поля.

Необходимо отметить, что задача рассеяния на цилиндре подробно исследована для линейного случая, однако акустическая параметрическая антенна предоставляет возможность широкополосной диагностики подводных объектов для целей ближней локации. Нелинейная задача в данной постановке является малоизученной, в последнее время эта задача находит свое применение в акустической томографии. Исследованию суммарной частоты при неразрушающем виброакустическом контроле посвящена работа [4]. В работе [5] проведено сравнение рассеивающей способности жестких и мягких цилиндрических рассеивателей для восстановления изображений при медицинской томографии.

Следует подчеркнуть, что при нашем рассмотрении для первичных высокочастотных волн рассеяние на цилиндре является линейным и находится в области больших волновых размеров (геометрическое рассеяние). А вторичное акустическое поле генерируется нелинейным взаимодействием исходных рассеянных волн, поэтому рассмотрим некоторые теоретические и экспериментальные результаты по рассеянию акустических волн на цилиндре.

На рис.1 представлены расчетные диаграммы рассеяния плоской звуковой волны на упругих цилиндрических оболочках [6]. Из представленных диаграмм наиболее важными для нас является рассеяние на свободной оболочке. Расчеты проводились при условии, что материалом оболочки является сталь, а оболочку окружает вода. С ростом частоты диаграмма направленности стремится к диаграмме направленности «свободной» оболочки. При $H \rightarrow 1$

(сплошной цилиндр) для «свободной» оболочки поле рассеянного акустического давления представляет собой поле рассеяния плоской волны на жестком цилиндре (кривая - a).

Анализируя диаграмму рассеяния свободного цилиндра (кривая - a , пунктирная линия), можно отметить, что рассеянное поле имеет боковые лепестки и максимумы в обратном направлении и по направлению распространения плоской волны (в теневой области).

Для сравнения с полученными нами результатами рассмотрим диаграмму рассеяния, представленную на рис.2. Данная диаграмма рассчитана для акустического давления волны разностной частоты $P_-^{(2)}(r, \varphi, z)$ при рассеянии на жестком цилиндре.

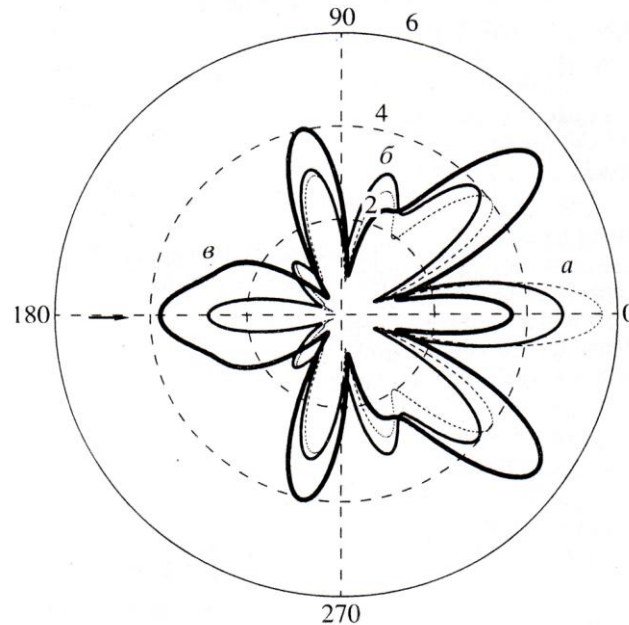


Рис. 1 – Диаграммы рассеяния плоской волны на цилиндрических оболочках при: $ka=1,23$; $H=0,03$, где, $H = h/a$, a - радиус оболочки, h - толщина, k - волновое число;) - «свободная» оболочка;) – оболочка с закреплением; в – оболочка с разрезом

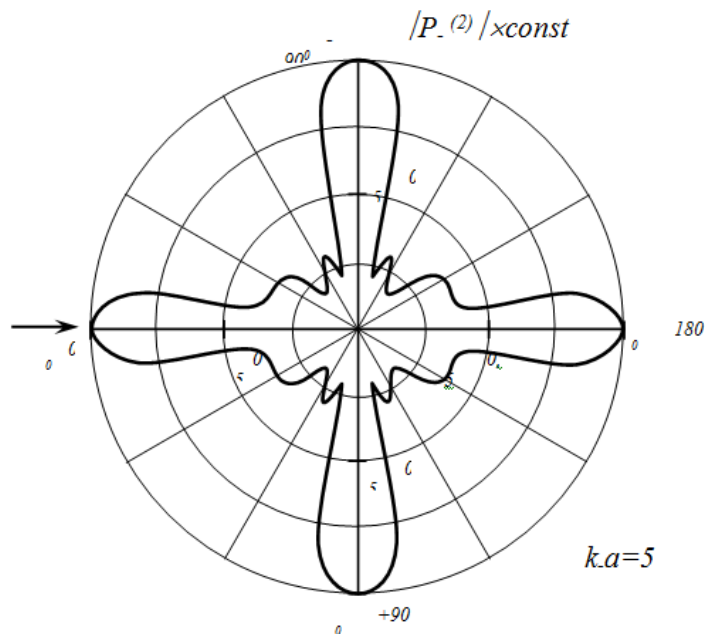


Рис. 2 – Диаграмма рассеяния волны разностной частоты $P_-^{(2)}(r, \varphi, z)$ на жестком цилиндре с радиусом $a=0,01$ м, частота исходных волн накачки $f_2=1000$ кГц, $f_1=880$ кГц, частота разностной волны $F_-=120$ кГц, $k_a=5$, на расстоянии $d=0,035$ м.

Наиболее ценным для любых теоретических исследований является их сравнение с экспериментальными измерениями. Рассмотрим экспериментальные диаграммы рассеяния (рис.3), которые были опубликованы в статье [7].

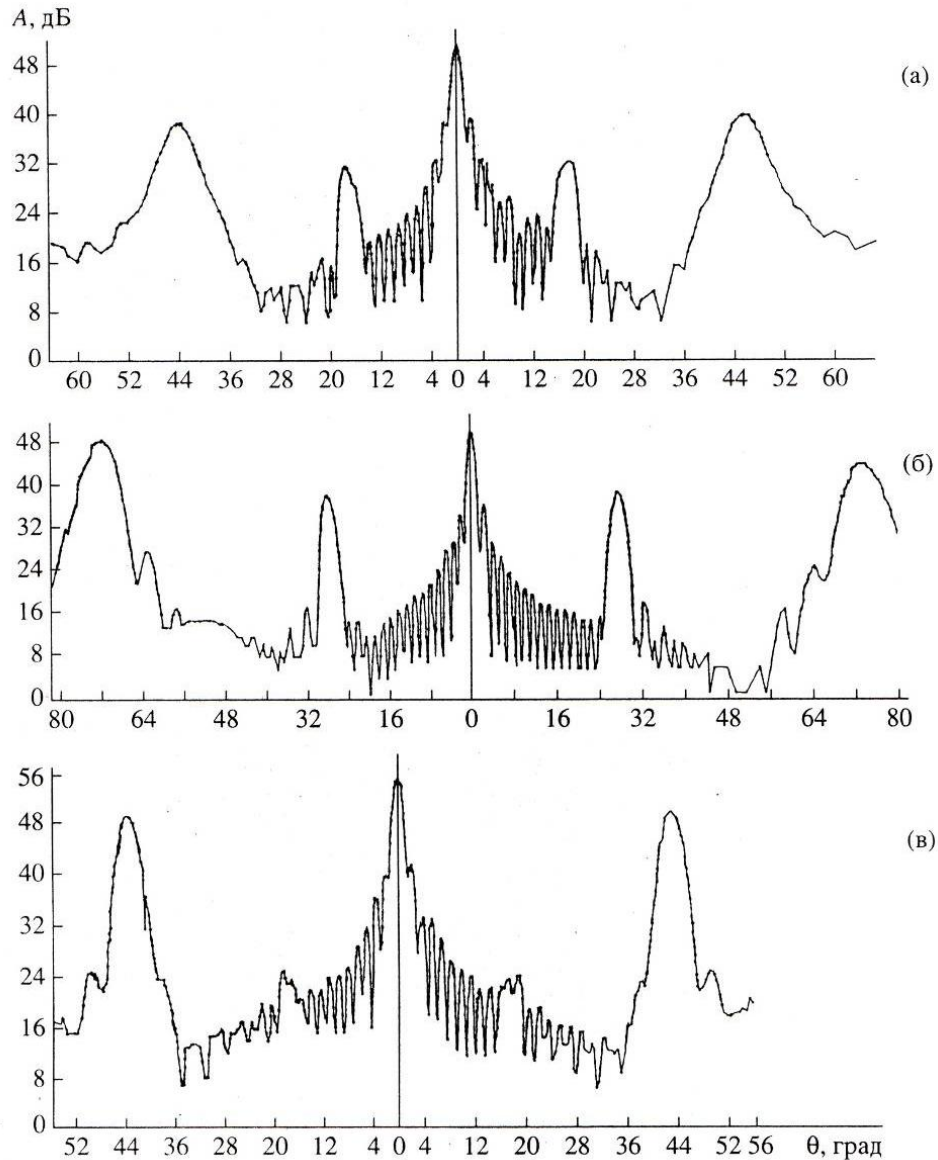


Рис. 3 – Экспериментальные диаграммы рассеяния плоской волны на металлических цилиндрических стержнях: *а* – алюминий, диаметр $d=0,95$ мм ($ka=2$); *б* – латунь, диаметр $d=0,71$ мм ($ka=1,5$); *в* – сталь, диаметр $d=0,95$ мм ($ka=2$); длина стержней $l=30$ мм; длительность импульсов $\tau=30$ мкс, частота заполнения $f=1$ МГц.

Эти диаграммы рассеяния представлены в прямоугольных координатах и посвящены рассеянию плоской акустической волны на металлических цилиндрических стержнях. Для металлических стержней были обнаружены незеркальные отражения по углам: для алюминиевого и стального стержней ($\theta=43^\circ$); для латунного стержня ($\theta=72^\circ$). Отмечено, что незеркальное отражение обусловлено продольными колебаниями стержня.

Из сравнения экспериментальных диаграмм рассеяния металлических цилиндрических стержней (рис.3) и диаграммы рассеяния волны разностной частоты на рис.2 можно подчеркнуть следующее:

- экспериментальные диаграммы рассеяния на металлических цилиндрах имеют максимумы в обратном направлении, и в боковых направлениях, также наблюдается промежуточный между ними лепесток. В боковых направлениях расположение максимумов зависит от материала, наибольший угол ($\theta=72^\circ$) имеет латунный цилиндр;
- наиболее значимым является наличие боковых уровней на экспериментальных диаграммах, в целом диаграммы рассеяния имеют хорошее совпадение по расположению основных уровней рассеяния в обратном и боковых направлениях.

Теневая область экспериментально недоступна, однако наличие теневого лепестка в диаграмме рассеяния волны разностной частоты (рис.2) подтверждается теневыми максимумами на расчетных диаграммах рис.1. Необходимо отметить также, что в нашем случае рассеянное поле создается источниками вторичных волн среды вокруг цилиндра. А в линейном случае они располагаются именно на поверхности цилиндра.

Из-за различной пространственной конфигурации волновых фронтов исходных взаимодействующих волн вклад в формирование результирующего поля рассеяния пространственных слагаемых является неравнозначным. Слагаемые, характеризующие взаимодействие падающих плоских и рассеянных цилиндрических волн имеют наибольшее влияние в итоговое поле рассеяния. В среде вокруг цилиндрического рассеивателя происходит также взаимодействие

падающей плоской волны с рассеянной цилиндрической. Однако это взаимодействие является встречным, следовательно, эффективность данных слагаемых является несущественным.

Наличие на рис. 2 основных максимумов в направлениях $\varphi = 0^0, \pm \pi/2$ и π , связано с тем, что по этим направлениям волновые фронты взаимодействующих высокочастотных волн имеют минимальные фазовых различия. Увеличение волнового размера цилиндрического рассеивателя приводит к незначительным изменениям диаграммы рассеяния. Относительно особенностей остальных пространственных слагаемых следует указать также, что слагаемое, создаваемое падающими плоскими волнами в отличие от других в явном виде не несет в себе информацию о граничных условиях и свойствах цилиндрического рассеивателя.

В результате проведенных сравнений можно отметить, что по основным направлениям рассеяния (обратное, боковое и прямое) наблюдается хорошее совпадение по расположению максимумов с представленными расчетными и экспериментальными диаграммами.

Список литературы/ References

1. Аббасов И.Б., Заграй Н.П. Анализ диаграмм рассеяния нелинейно взаимодействующих акустических волн на вытянутом сфероиде //Международный научно-исследовательский журнал – 2015. –№ 6-2 (37). С. 5-8.
2. Аббасов И.Б., Заграй Н.П. Исследование вторичного поля волны разностной частоты при рассеянии нелинейно взаимодействующих плоских акустических волн на цилиндре //Акустический журнал. –1999. –Т.45. –№ 5. С.590-596.
3. Abbasov I.B. Hyrdroacoustic Ocean Exploration: Theories and Experimental Application. Wiley & Sons and Scrivener Publishing. –2016. 192 p. <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119323723>
4. Mitri F. G., Silva G. T., Greenleaf J. F., Fatemi M. Simultaneous sum-frequency and vibro-acoustography imaging for nondestructive evaluation and testing applications //J. Appl. Phys. –2007. –V.102. –№11. P.1149-1153 <http://dx.doi.org/10.1063/1.2821174>
5. Бадалян Н.П., Буров В.А., Морозов С.А., Румянцева О.Д. Рассеяние на акустических граничных рассеивателях с малыми волновыми размерами и их восстановление //Акустический журнал. – 2009. –Т.55. –№1. С.3-10.
6. Тютюкин В.В., Бойко А.И. Дифракция плоской звуковой волны на упругих цилиндрических оболочках с различными типами продольного закрепления //Акустический журнал. – 2006. –Т.52. –№3. С.408-415.
7. Лямшев Л.М. Незеркальное отражение, резонансное рассеяние и излучение звука пластинками и оболочками в воде //Акустический журнал. –1999. –Т.45. –№5. С.693-716.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abbasov I.B., Zagrai N.P. Analiz diagramm rasseyaniya nelineyno vzaimodeystvuyushchikh akusticheskikh voln na vytyanutom sferoide [Analysis of scattering diagrams of nonlinearly interacting acoustic waves by an elongated spheroid] // [Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal] International Research Journal. - 2015. -№ 6-2 (37). P 5-8. [in Russian]
2. Abbasov I.B., Zagrai N.P. Issledovaniye vtorichnogo polya volny raznostnoy chastoty pri rasseyanii nelineyno vzaimodeystvuyushchikh ploskikh akusticheskikh voln na tsilindre //Akusticheskiy zhurnal [Study of secondary field difference frequency wave in the scattering of nonlinearly interacting acoustic waves on the plane cylinder //Acoustical Physics]. -1999. -Т.45. -№ 5. P.590-596. [in Russian].
3. Abbasov I.B. Hyrdroacoustic Ocean Exploration: Theories and Experimental Application. Wiley & Sons and Scrivener Publishing. –2016. 192 p. <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119323723>
4. Mitri F. G., Silva G. T., Greenleaf J. F., Fatemi M. Simultaneous sum-frequency and vibro-acoustography imaging for nondestructive evaluation and testing applications //J. Appl. Phys. –2007. –V.102. –№11. P.1149-1153 <http://dx.doi.org/10.1063/1.2821174>
5. Badalyan N.P., Burov V.A., Morozov S.A. Rummyantsev O.D. Rasseyaniye na akusticheskikh granichnykh rasseivatel'nykh s malymi volnovymi razmerami i ikh vosstanovleniye // Akusticheskiy zhurnal. [Scattering by acoustical boundary wave scatterers with small size and their restoration //Acoustical Physics]. - 2009. -Т.55. -№1. P.3-10. [in Russian].
6. Tyutekin V.V., Boyko A.I. Difraktsiya ploskoy zvukovoy volny na uprugikh tsilindricheskikh obolochkakh s razlichnymi tipami prodol'nogo zakrepleniya // Akusticheskiy zhurnal [Diffraction of a plane acoustic wave on the elastic cylindrical shells with different types of longitudinal fixing //Acoustical Physics]. - 2006. -Т.52. -No. 3. P.408-415. [in Russian].
7. Lyamshev L.M. Nezerkal'noye otrazheniye, rezonansnoye rasseyaniye i izlucheniye zvuka plastinkami i obolochkami v vode //Akusticheskiy zhurnal [Irregular reflection, resonance scattering and radiation of sound plates and shells in water // Acoustical Physics] -1999. -Т.45. -№5. P.693-716. [in Russian].

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.225

Батаев В.В.¹, Горбачева А.Н.²¹ORCID: 0000-0001-8260-2192, Аспирант, ²ORCID: 0000-0001-7309-0332, аспирант,

Самарский государственный технический университет

**РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ВВОЗА ОБРАЗЦОВ ПРОДУКЦИИ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ****Аннотация**

В статье рассмотрена проблема ввоза проб и образцов производственными предприятиями для проведения исследований и испытаний в собственных лабораториях с целью оценки качества продукции и выбора её поставщика. В целях исключения неоправданных финансовых издержек и оптимизации затрат на оказание услуг аккредитованных органов по сертификации разработано предложение по решению выявленной проблемы путем внесения изменений в действующий нормативный правовой акт Евразийского экономического союза.

Ключевые слова: подтверждение соответствия, аккредитованные органы по сертификации, таможенные процедуры, проведение испытаний.

Bataev V.V.¹, Gorbacheva A.N.²¹ORCID: 0000-0001-8260-2192, Postgraduate student, ²ORCID: 0000-0001-7309-0332, Postgraduate student,

Samara State Technical University

**DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPORT OPTIMIZATION OF PRODUCTION SAMPLES FOR
TESTING****Abstract**

The article deals with the problem of samples import by industrial enterprises for research and testing in their own laboratories in order to assess the quality of products and choose the supplier. The author suggests the solution through changes in the normative legal act of the Eurasian Economic Union in order to avoid unnecessary financial costs and to optimize the cost of services of accredited certification authorities

Keywords: conformity assessment, accredited certification authorities, customs procedures, testing.

В настоящее время в условиях высочайшего уровня конкуренции среди большого количества иностранных производителей идентичной продукции отечественные промышленные предприятия имеют возможность выбирать поставщика и ввозить необходимую для производственных целей продукцию на наиболее оптимальных для себя условиях. Для определения конкретного производителя, с которым будет заключено долгосрочное взаимовыгодное соглашение, необходимо ввезти незначительные количества образцов искомой продукции от каждого из потенциальных поставщиков. Получив и сравнив результаты пробных испытаний этих образцов в собственных лабораториях или в производственных условиях, руководство отечественного предприятия может принять объективное решение о выборе как продукции, так и её производителя (поставщика).

В качестве примеров можно привести предприятия, осуществляющие внешнеэкономическую деятельность в зоне деятельности Самарской таможни.

Так, например, предприятие, специализирующееся на производстве йогуртов и аналогичных продуктов, осуществляет ввоз упаковки для своей продукции из Австралии, Германии и других государств. Упаковка для пищевых продуктов должна быть безопасной. Каждый из зарубежных производителей упаковки, являющихся потенциальным поставщиком, направляет бесплатно в адрес нашего предприятия несколько образцов для тестирования и оценки соответствия требуемых характеристик.

Ещё одному крупному металлургическому предприятию, также являющемуся участником внешнеэкономической деятельности и функционирующему в зоне деятельности Самарского таможенного поста, для регулярной технологически необходимой смазки прокатных станов требуется большое количество этой самой смазки. Не имея возможности приобретать необходимую технологическую жидкость надлежащего качества и в достаточных количествах у отечественных производителей, металлурги вынуждены покупать её за рубежом и ввозить, соблюдая все таможенные формальности, включая обязательное подтверждение соответствия требованиям технических регламентов и национальных стандартов. Но перед этим в заводской лаборатории исследуются и подвергаются испытаниям и нагрузкам, максимально приближенным к производственным реалиям, опытные образцы, бесплатно предоставленные несколькими зарубежными производителями.

Однако, на практике ввоз пробных образцов продукции сопряжён с проблемами, возникающими при их таможенном декларировании.

Приложением к Решению Коллегии Евразийской экономической комиссии от 25 декабря 2012 г. № 294 «О Положении о порядке ввоза на таможенную территорию Таможенного союза продукции (товаров), в отношении которой устанавливаются обязательные требования в рамках Таможенного союза» (далее – Решение, Положение) [1] установлены случаи, когда при ввозе не требуется представления таможенным органам разрешительных документов о соответствии требованиям технических регламентов.

Так, в частности, при помещении под таможенную процедуру выпуск для внутреннего потребления освобождается от представления разрешительных документов продукция (товары), ввозимая в качестве проб и образцов для проведения исследований и испытаний. При этом условием для выпуска является наличие договора с аккредитованным органом по сертификации или письма аккредитованного органа, в которых указывается необходимое для проведения испытаний количество ввозимой продукции [1]. Проведение исследований и испытаний в аккредитованном органе осуществляется на возмездной основе, поэтому неизбежно влечет за собой финансовые издержки для организаций, осуществляющих ввоз на таможенную территорию Евразийского экономического союза (далее – Союз, ЕАЭС) таких образцов продукции.

На практике нередко возникают ситуации, когда промышленные предприятия ввозят товары в качестве образцов, предназначенных исключительно для целей совершения заказов на продукцию. Таких поставок образцов может быть осуществлено несколько от различных производителей. При этом данная продукция в каждом отдельном случае ввозится в незначительных количествах для изучения её свойств и технических характеристик, а также испытаний и исследований в собственных лабораториях этих предприятий с целью выбора из ряда производителей интересующей продукции наиболее подходящего поставщика для дальнейшего долгосрочного и взаимовыгодного сотрудничества.

Таким образом, перед заключением долгосрочных внешнеторговых контрактов на поставки товарных партий продукции, многие промышленные предприятия силами собственных лабораторий стремятся провести испытания или исследования незначительного количества образцов такой продукции различных производителей. Такие пробные испытания необходимы им для оценки качества продукции, соответствия её характеристик (технических, геометрических, физических, химических и др.) предъявляемым требованиям, поиска оптимального соотношения цена/качество. По результатам проведенных собственных испытаний руководством предприятий принимается объективное решение о возможности заключения внешнеторгового контракта на поставку необходимой продукции и выборе наиболее подходящего производителя и поставщика этой продукции.

Соответственно, проведение исследований и испытаний на возмездной основе в аккредитованном органе двух и более раз (в зависимости от количества поставок образцов продукции) до заключения внешнеторгового договора с выбранным производителем (поставщиком) представляется преждевременным и экономически нецелесообразным. Бессмысленно получать разрешительный документ на продукцию, в отношении которой не принято решение о её дальнейших поставках для производственных нужд предприятия. Тем не менее, именно таким образом в настоящее время вынуждены поступать являющиеся участниками внешнеэкономической деятельности промышленные предприятия. Блок-схема существующего алгоритма ввоза предприятиями проб и образцов продукции изображена на рисунке 1.

Однако, в соответствии с подпунктом б) пункта 4 Положения, утвержденного Решением [1], выпуск товарных образцов, предназначенных исключительно для целей получения заказов на продукцию (товары) такого типа и непригодных для использования в иных целях без представления таможенным органам документов, подтверждающих соответствие, возможен лишь при помещении под таможенную процедуру временный ввоз. А это, в свою очередь, подразумевает обязанность обратного вывоза (реэкспорта) в неизменном виде.

В соответствии со статьей 278 ТК ТС обязательным условием помещения товаров под таможенную процедуру временного ввоза (допуска) является возможность идентификации товаров, помещаемых под эту таможенную процедуру, при их последующем таможенном декларировании и вывозе с таможенной территории ЕАЭС в целях завершения таможенной процедуры временного ввоза (допуска) [2]. Идентификация обратно вывозимых товаров должна быть исчерпывающей и не оставлять сомнений таможенным органам в том, что именно эти товары ввозились для проведения испытаний. При этом для целей идентификации товаров могут быть использованы как результаты форм таможенного контроля, проведенных в рамках системы управления рисками, так и иная документация (фотографии, чертежи, схемы, рисунки и т.п.), представленная таможенным органам декларантом или его представителем.

При этом, несмотря на то, что статьей 279 ТК ТС допускается возможность испытаний временно ввезенных товаров либо использование их в ходе испытаний, эти товары должны оставаться в неизменном состоянии [2]. Однако, в подавляющем большинстве случаев соблюдение перечисленных условий не представляется возможным, так как ввезенные образцы продукции при проведении испытаний могут быть расходуемы, уничтожены или безвозвратно деформированы.

Возникает вопрос: как можно поместить под таможенную процедуру реэкспорт и вывезти в неизменном виде пробы и образцы продукции, ввезенные для проведения испытаний и израсходованные или деформированные во время проведения этих испытаний? Очевидно, что это – правовая коллизия, так как пробы и образцы чаще всего являются расходными материалами (поставляются иностранными производителями бесплатно) и, соответственно, не могут быть реэкспортированы. Считаем, что для данной категории товаров должна быть предусмотрена возможность ввоза и выпуска для внутреннего потребления без каких-либо ограничений по их использованию без представления таможенных целей разрешительных документов и без обязательства их обратного вывоза (реэкспорта).

Как уже было отмечено выше, пунктом 4 Решения [1] предусмотрена возможность ввоза и декларирования товаров без представления разрешительных документов лишь в качестве проб и образцов для проведения исследований и испытаний в аккредитованном органе по сертификации (аккредитованной испытательной лаборатории). Но это влечёт за собой дополнительные финансовые издержки, так как эти органы являются коммерческими организациями и осуществляют свою деятельность на возмездной основе.

Понятно, что в конечном итоге предприятию придётся оплатить услуги аккредитованного органа по сертификации. Но сертифицироваться будет уже продукция, получившая одобрение на поставки по результатам испытаний, проведенных собственными заводскими лабораториями, и ввозимая, как товарная партия. Соответственно, до принятия руководством предприятия решения о поставках продукции и выборе её производителя оплата услуг аккредитованного органа представляется преждевременной и нецелесообразной.

На основании изложенного считаем необходимым внести соответствующие изменения в Решение, предусматривая возможность ввоза и декларирования без обязательства об обратном вывозе товарных образцов, предназначенных исключительно для целей получения заказов на продукцию.

Пунктом 1 статьи 53 Договора о Евразийском экономическом союзе (далее – Договор, Союз), подписанного 29 мая 2014 года в Астане [3], установлено, что продукция, выпускаемая в обращение на территории Союза, должна быть безопасной.

Очевидно, что рассматриваемые образцы продукции, ввозимые исключительно для проведения испытаний промышленными предприятиями в собственных лабораториях, не предназначены для выпуска в обращение на территории Союза.

Существующий алгоритм ввоза предприятиями проб и образцов продукции изображен на рисунке 1.

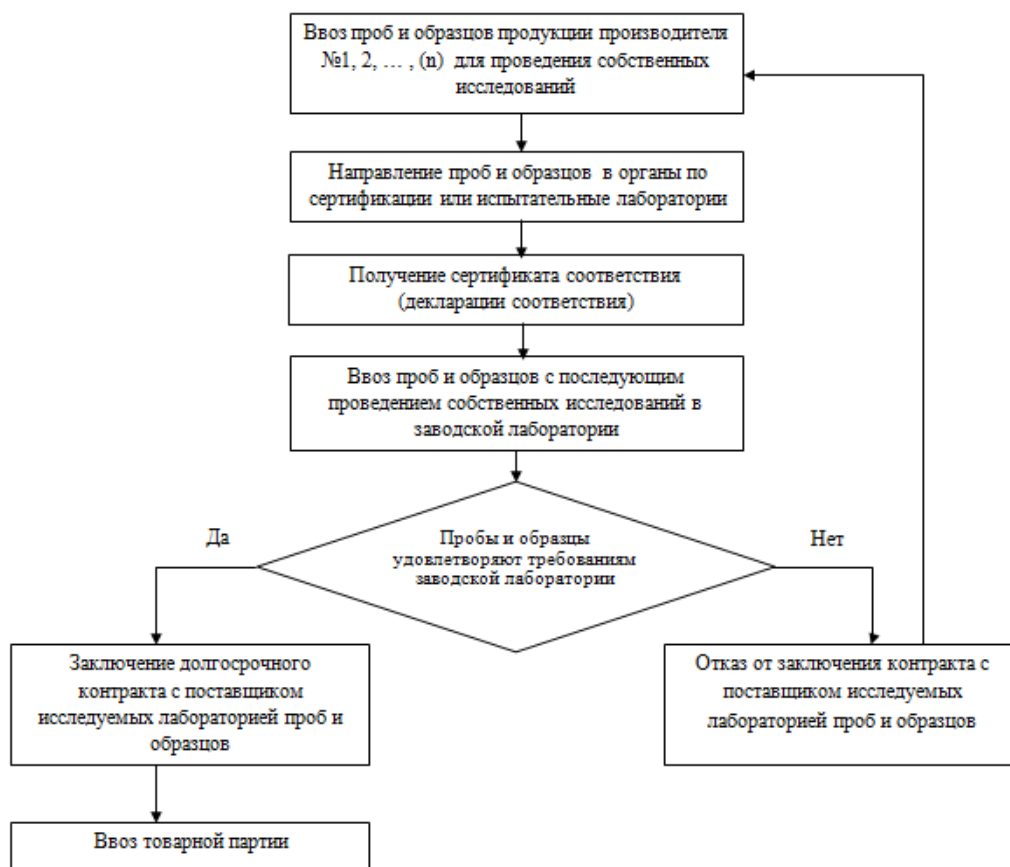


Рис. 1 – Существующий алгоритм ввоза предприятиями проб и образцов продукции.

Блок-схема предлагаемого алгоритма ввоза предприятиями проб и образцов продукции изображена на рисунке 2.

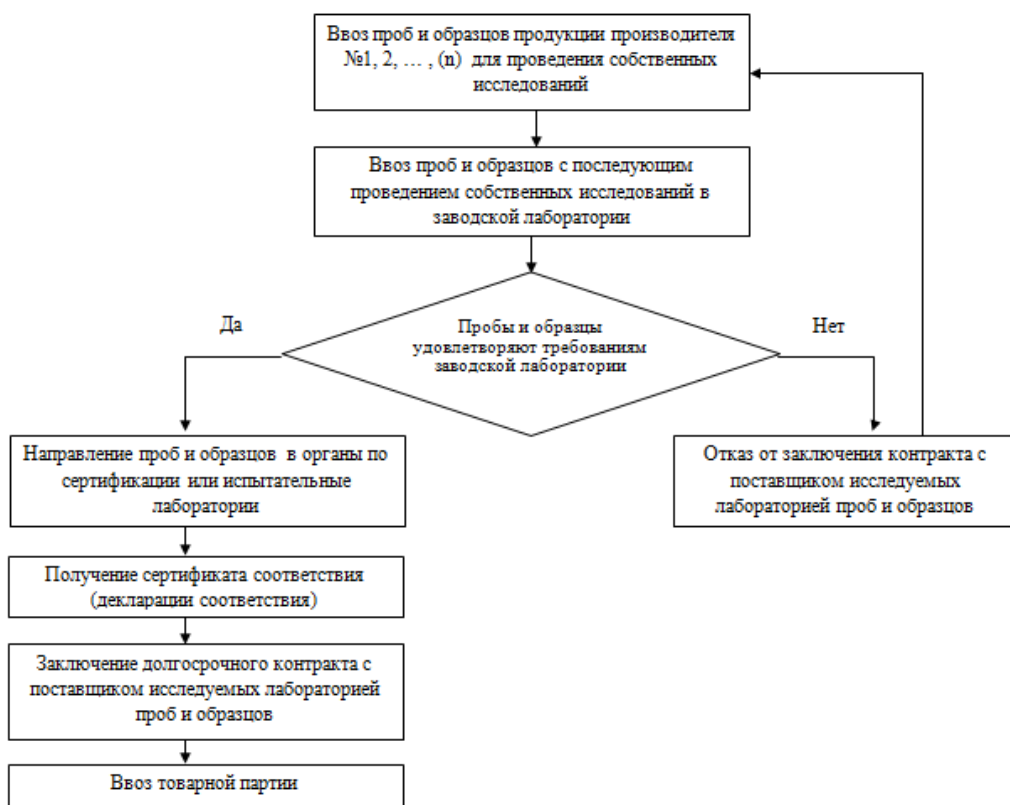


Рис. 2 – Предлагаемый алгоритм ввоза предприятиями проб и образцов продукции.

Таким образом, реализация предложения о возможности ввоза, декларирования и выпуска товарных образцов в соответствии с таможенной процедурой выпуск для внутреннего потребления без представления разрешительных документов, а также каких-либо писем аккредитованных органов позволит исключить неоправданные финансовые издержки предприятий на сертификацию образцов продукции до принятия решения о её поставках товарными партиями.

Список литературы / References

1. Российская Федерация. Решения. О Положении о порядке ввоза на таможенную территорию Таможенного союза продукции (товаров), в отношении которой устанавливаются обязательные требования в рамках Таможенного союза : решение : [принято Коллегией Евразийской экономической комиссии 25 декабря 2012 г.]. - [№294] / [Электронный ресурс] // Consultant Plus - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_139873 (дата обращения: 23.10.2016).
2. Российская федерация. Законы. Таможенный кодекс Таможенного союза. (Приложение к Договору о Таможенном кодексе Таможенного союза) : кодекс : [принят Решением Межгосударственного Совета Евразийского экономического сообщества (высшего органа Таможенного союза) на уровне глав государств 27 ноября 2009 г.]. - [№17]. - М. : Проспект, 2010. - 176 с.
3. Российская федерация. Договор. О Евразийском экономическом союзе : договор : [подписан 29 мая 2014 г.] / [Электронный ресурс] // Consultant Plus - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163855 (дата обращения: 23.10.2016).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rossijskaja Federacija. Resheniya. O Polozhenii o poryadke vvoza na tamozhennuyu territoriyu Tamozhennogo soyuza produktov (tovarov), v otnoshenii kotoroi ustanavlivayutsya obyazatelnye trebovaniya v ramkah Tamozhennogo soyuza [Russian Federation. Solutions. About Regulations on the order of import into the customs territory of the Customs Union of products (goods), for which mandatory requirements are established in the framework of the Customs Union] : solution: [adopted by the Board of the Eurasian Economic Commission on December 25, 2012]. - [№294] [Electronic resource] // Consultant Plus - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_139873 (accessed: 20.10.2016). [in Russian]
2. Rossijskaja Federacija. Zakony. Tamozhennyi kodeks Tamozhennogo soyuza (Prilozhenie k dogovoru o Tamozhennom kodekse Tamozhennogo soyuza) [Russian Federation. Laws. The Customs Code of the Customs Union. (Annex to the Agreement on the Customs Code of the Customs Union): Code: [adopted by the Decision of the Interstate Council of the Eurasian Economic Community (the supreme body of the Customs Union) at the level of Heads of State on November 27, 2009]. - [№17]. - M: Prospect, 2010. - 176 p.]
3. Rossijskaja Federacija. Dogovor. O Evraziyskom ekonomicheskom soyuze [Russian Federation. Treaty. About the Eurasian Economic Union: agreement : signed on May 29, 2014] [Electronic resource] // Consultant Plus - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163855 (accessed: 20.10.2016). [in Russian]



ПРИМЕР DOI:
10.18454/IRJ.2015.0001

Начиная с ноябрьского выпуска 2015 года /10 (41) Ноябрь 2015/, каждой статье, опубликованной в Международном научно-исследовательском журнале, **редакция издания будет присваивать идентификатор цифрового объекта DOI:**

- DOI облегчает процедуры цитирования, поиска и локализации научной публикации;
- DOI повышает авторитет журнала, а также свидетельствует о технологическом качестве издания;
- DOI является неотъемлемым атрибутом системы научной коммуникации за счет эффективного обеспечения процессов обмена научной информацией.

(Digital Object Identifier) — идентификатор цифрового объекта, стандарт обозначения представленной в сети информации.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.161

Батурина Н.Ю.

Кандидат технических наук,

Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**Аннотация**

Разработано приложение на базе VBA для Excel и Access, предназначенное для автоматизации планирования многофакторных экспериментов. Приложение содержит блок планирования на основе ортогонального центрального композиционного плана; блок проведения эксперимента, включающий импорт значений показателей качества в точках плана; блок регрессионного и дисперсионного анализа: уравнение регрессии находится в виде полинома второго порядка, его значимость оценивается по критерию Фишера; блок прогнозирования поведения объекта при изменении исходных данных.

Ключевые слова: ортогональный центральный композиционный план второго порядка, автоматизация планирования эксперимента.

Baturina N.Yu.

PhD in Engineering, Donskoy state technical university (Rostov-on-Don)

AUTOMATION OF PLANNING OF EKSPERIMEN**Abstract**

Developed an application based on VBA for Excel and Access, equipm-chennoe planning multifactor experiments. The app includes a scheduling unit based on an orthogonal central com-point plan; block of the experiment, including the import of quality indicators values at the points of the plan; block regression and dis-persion analysis – regression equation is in the form of a WTO-order polynomial, its significance is assessed by the Fisher test; block pro-prediction behavior of the object when you change the source data.

Keywords : orthogonal central composite plan of the second order, automation of planning of an experiment.

Для повышения эффективности исследований, связанных с проведением натурных или модельных экспериментов необходимо выполнение следующих требований:

- обеспечение получения достоверных результатов экспериментов при наименьших затратах;
- организация хранения исходных данных и результатов экспериментов, удобство их извлечения для анализа и дальнейшего использования;
- возможность прогнозирования поведения объекта при изменении входных параметров и их оптимизация по критериям качества.

Целью проводимой работы являлась разработка приложения, обеспечивающего выполнение перечисленных требований.

Автоматизация вычислительных операций, обмен данными между пакетами MS Office Access и MS Office Excel реализованы с помощью VBA. Для планирования экспериментов в данной работе применялся ортогональный центральный композиционный план второго порядка (ОЦКП) [1]. При необходимости приложение может быть дополнено другими схемами планирования. Значимость уравнения регрессии оценивалась по критерию Фишера [2]. Нужно заметить, что несмотря на большое количество литературы, посвященной вопросам планирования экспериментов, проблема автоматизации хранения, передачи и обработки данных и результатов экспериментов раскрыта недостаточно. Данная работа является развитием ранее опубликованной статьи [3].

Структурно разработанное приложение состоит из следующих блоков: планирование эксперимента, проведение эксперимента, регрессионный и дисперсионный анализ, прогнозирование, критерий Фишера. Блоки работают независимо друг от друга. Каждый блок представлен отдельной формой, вызываемой из начальной формы после выбора количества факторов n .

Расчетная часть приложения реализована с помощью макросов. Для каждого n и каждого критерия используется отдельный лист типа CALC_у книги Excel. Эти листы расчетов являются «защищенными», и не могут быть удалены пользователем приложения из книги.

Для каждого выбранного количества факторов приложение создает в книге Excel и БД Access определенные типы таблиц. Таблицы типа GREXP с ключевым полем ID содержат диапазоны изменения факторов. Таблицы типа XPLN и YPLN с ключевыми полями number содержат координаты точек плана для проведения натурных или модельных экспериментов и значения критериев в этих точках. Соответствующие листы в книге Excel могут автоматически добавляться и удаляться. Таблицы типа COEF с ключевым полем ID содержат значения коэффициентов уравнения регрессии и признак значимости уравнения, рассчитанный на основании критерия Фишера. Таблицы типа RESULT содержат результаты вычислительных экспериментов, полученные с помощью уравнения регрессии.

На рис. 1 представлена форма блока «Планирование эксперимента».

В блоке «Планирование эксперимента» рассчитываются точки нового плана по вводимым в текстовые поля диапазонам изменения факторов $[X_{imin}, X_{imax}]$, $i = \overline{1, n}$, или выводится план, созданный ранее в базе данных. Количество точек плана N при ортогональном центральном композиционном планировании определяется в зависимости от количества факторов n по формуле $N = 2^n + 2n + 1$, среди которых 2^n точек – ядро планирования, $2n$ точек – звездные точки и одна центральная.

Координаты X_i^j точек плана в натуральном измерении вычисляются по формулам:

$$X_i^j = (X_{iavg} - X_{imin})x_i^j + X_{iavg}, \quad X_{iavg} = (X_{imin} + X_{imax})/2, \\ i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, N}$$

где x_i^j – значение кодированного фактора x_i в j -ой точке плана.

В результате работы блока в базе данных Access и в книге Excel создаются таблица диапазонов (групп экспериментов) GREXP и таблица плана XPLN, связанные отношением $1 \leftrightarrow \infty$ по ключевому полю ID, содержащему код группы экспериментов.

Рис. 1 – Блок «Планирование эксперимента» при двух факторах

В блоке «Проведение эксперимента» по выбранному из таблицы GREXP варианту выводятся точки плана. Значения критериев Y_l^{jexp} , $l = \overline{1, N_{kr}}$, где N_{kr} – количество критериев (показателей качества), найденные в точках плана по результатам натурального или модельного эксперимента, могут импортироваться из файла или вводиться в текстовые поля формы. Данные эксперимента с выбранным ID сохраняются в таблице YPLN. Таблицы XPLN и YPLN связаны отношением $1 \leftrightarrow 1$ по ключевому полю number.

В блоке «Регрессионный и дисперсионный анализ» для выбранного варианта из таблицы GREXP выполняется расчет коэффициентов функции отклика. Функция отклика определяется в виде полинома второго порядка относительно кодированных переменных:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i, \quad k = 2C_n^1 + C_n^2 + \dots + C_n^n = 2^n + n - 1, \quad a = \sqrt{2^n/N}, \\ x_{n+1} = x_1 x_2, \quad x_{n+2} = x_1 x_3, \dots, \quad x_{k-1} = x_{n-1}^2 - a, \quad x_k = x_n^2 - a,$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – кодированные переменные; k – количество коэффициентов уравнения.

Коэффициенты функции отклика вычисляются по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y^{jexp}, \quad b_i = \left(\sum_{j=1}^N y^{jexp} x_i^j \right) / \left(\sum_{j=1}^N (x_i^j)^2 \right) \\ i = \overline{1, k},$$

где x_i^j – значение фактора x_i , y^{jexp} – экспериментальное значение критерия y в j -ой точке плана.

В результате работы блока «Регрессионный и дисперсионный анализ» в базе данных и в книге Excel создается таблица коэффициентов COEF. Эта таблица связана отношением $1 \leftrightarrow 1$ с таблицей GREXP.

Блок "Регрессионный и дисперсионный анализ": определение коэффициентов на основе ОЦКП, проверка значимости по критерию Фишера

Выбор варианта из таблицы GREXP

ID	X1MIN	X1MAX	X2MIN	X2MAX
lib2_1	10	20	10	20
exp1	12	34	67	99
exp2	13	34	67	99
exp3	12	34	34	66
exp4	34	56	12	56
u	0,001	0,02	0	0,95
exp5	12	13	19	24
exp6	34	56	43	88
e	3	34	45	77
ty	1	5	4	8
u1	0,001	0,007	0	0,95

ID выбранного эксперимента: u

Уравнение регрессии

$$y(X_1, X_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 (x_1^2 - a) + b_5 (x_2^2 - a)$$

$$x_i = (X_i - X_{iavg}) / (X_{iavg} - X_{imin}) \quad a = 0,667$$

Вывести из COEF коэффициенты уравнения регрессии

Рассчитать коэффициенты уравнения регрессии

Задайте номер критерия: 1

ID	b100	b101	b102	b103	b104	b105
u	-3,53471E-07	-9,66634E-08	5,126E-10	1,646E-10	5,45429E-07	6,0044E-10

Проверка значимости уравнения по критерию Фишера

Проверить значимость

$$F = \frac{(N_{point} - N_{coef} - 1) \sum_{j=1}^{N_{point}} (y^j - y^{avg})^2}{N_{factor} \sum_{j=1}^{N_{point}} (y^j - y^{jexp})^2}$$

Степень свободы вертикальная: k2=Npoint-Ncoef-1

Степень свободы горизонтальная: k1=Nfactor

Расчетное значение критерия

Табличное значение критерия

Признак значимости

Очистить поля формы

Рис. 2 –Блок «Регрессионный и дисперсионный анализ» при двух факторах

Значимость уравнения регрессии в целом оценивалась по критерию Фишера. Эмпирическое значение критерия Фишера вычисляется как отношение факторной дисперсии к остаточной дисперсии, приходящихся на одну степень свободы:

$$F = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^N (y^j - y^{avg})^2 \right) / \left(\frac{1}{N-k-1} \sum_{j=1}^N (y^j - y^{jexp})^2 \right),$$

где y^j – значения критерия в j -ой точке плана, полученные в результате регрессионного анализа с помощью ОЦКП; y^{avg} – среднее значение критерия по экспериментальным данным y^{jexp} .

Если эмпирическое значение критерия Фишера оказывается больше табличного $F_{табл}(k_1, k_2)$ при заданном уровне значимости, то полученное уравнение регрессии принимается как значимое. В таблице COEF заполняется поле «значимости» equatVal, в котором фиксируется для каждого уравнения его значимость или незначимость.

Блок "Прогнозирование"

Выбор варианта из таблицы COEF

Таблица COEF

ID	X1MIN	X1MAX	X2MIN	X2MAX	X1AVG
exp1	12	34	67,000	99,000	23
lib2_1	10	20	10	20	15
exp2	13	34	67	99	23,5
exp6	34	56	43	88	45
exp5	12	13	19	24	12,5
exp4	34	56	12	56	45
exp3	12	34	34	66	23
u	0,001	0,02	0	0,95	0,0105
u1	0,001	0,007	0,000	0,950	0,004

ID выбранного эксперимента: u

Задайте номер критерия: 1

Проверить значимость уравнения

Уравнение: значимо

Задайте значения факторов

x1: 0,015

x2: 0,7

Рассчитать значение критерия: -6,667740990313

Очистить поля формы

Уравнение регрессии

$$y(X_1, X_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 (x_1^2 - a) + b_5 (x_2^2 - a)$$

$$x_i = (X_i - X_{iavg}) / (X_{iavg} - X_{imin}) \quad a = 0,667$$

Сохранение значений критериев в RESULT

Сохранить

ID	X1MIN	X1MAX	X2MIN	X2MAX	x1	x2
exp1	12	34	67	99	17	80
u	0,001	0,02	0	0,95	0,015	0,4
exp1	12	34	67	99	14	70
u	0,001	0,02	0	0,95	0,015	0,6999999

Рис. 3 –Блок «Прогнозирование» при двух факторах

В блоке «Прогнозирование» (рис. 3), задавшись произвольными значениями факторов X_1, X_2, \dots из выбранных диапазонов таблицы GREXP, без проведения дорогостоящего натурального или модельного эксперимента вычисляются значения выбранного критерия на основании данных таблицы COEF по формулам:

$$y_l(X_1, \dots, X_n) = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n + b_{n+1}x_1x_2 + \dots + b_k(x_n^2 - a),$$

$$l = \overline{1, N_{kr}}$$

где $x_i = (X_i - X_{iavg}) / (X_{iavg} - X_{imin})$, – кодированные переменные, выраженные через натуральные X_i , $i = \overline{1, n}$.

Результаты расчетов записываются в таблицу RESULT, связанную отношением $\infty \leftrightarrow 1$ с таблицей GREXP.

В блоке «Критерий Фишера» оценивается значимость полученного уравнения регрессии по дополнительным экспериментальным точкам, которые изначально не входили в точки плана.

Разработанное приложение позволяет:

- создавать новый объект исследования в базе данных или выбирать для исследования созданный ранее;
- автоматизировать обработку результатов многофакторных экспериментов, сохранять результаты регрессионного и дисперсионного анализа в базе;
- прогнозировать поведение исследуемого объекта при измененных значениях входных параметров и вырабатывать рекомендации по оптимизации их значений.

Приложение использовалось для планирования экспериментов по имитационному моделированию в среде Arena [3], виброизмерительных экспериментов при оценке состояний дорожных покрытий [4].

Список литературы/ References

1. Налимов В. Н. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов/ В. Н. Налимов, Н. А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
2. Дубров А. М. Многомерные статистические методы: Учебник / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
3. Батурина Н.Ю. Разработка информационной системы для проведения оптимальных экспериментов [Электронный ресурс] // Евразийский союз ученых (ЕСУ). Ежемес. науч. журн. – 2016. – № 5 (26)/2016, ч. 2. – С. 18–20. – URL: http://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2016/08/euroasia_26_p2_5-144.pdf. (дата обращения: 20.10.2016).
4. Uglova E. V. Integrated approach to studying characteristics of dynamic deformation on flexible pavement surface using nondestructive testing / E. V. Uglova, A. N. Tiraturyan, A. A. Liapin // PNRPU Mechanics Bulletin. –2016. – № 2. – P. 111-130.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nalimov V. N. Statisticheskie metody planirovaniya jekstremal'nyh jeksperimentov [Statistical methods of planning extreme experiments] / V. N. Nalimov, N. A. Chernova. - M.: Nauka, 1965. - 340 p. [in Russian]
2. Dubrov A. M. Mnogomernye statisticheskie metody: Uchebnik [Multivariate statistical methods: a Textbook] / A. M. Dubrov, V. S. Mhitarjan, L. I. Troshin. - M.: Finansy i statistika, 2003. - 352 p. [in Russian]
3. Baturina N.Ju. Razrabotka informacionnoj sistemy dlja provedenija optimal'nyh jeksperimentov [Development of the informative system for realization of optimal experiments] [Electronic resource] // Evrazijskij sojuz uchenyh (ESU). Ezchemes. nauch. zhurn. - 2016. - № 5 (26)/2016, ch. 2. - P. 18-20. - URL: http://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2016/08/euroasia_26_p2_5-144.pdf. (data obrashhenija: 20.10.2016) [in Russian]
4. Uglova E. V. Integrated approach to studying characteristics of dynamic deformation on flexible pavement surface using nondestructive testing / E. V. Uglova, A. N. Tiraturyan, A. A. Liapin // PNRPU Mechanics Bulletin. –2016. – № 2. – P. 111-130.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.185

Бахитов Т.А.¹, Федотов В.А.²¹Кандидат технических наук, ²ORCID: 0000-0002-3692-9722, Кандидат технических наук,

Оренбургский государственный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**Аннотация**

В статье рассматриваются возможности улучшения оценки качества макаронных изделий за счет использования современных информационных технологий. Оценено влияние технологических характеристик продуктов переработки зерна на качество производимой продукции. Приведен сравнительный анализ существующих способов определения технических свойств зернопродуктов. Описаны предложенные методики использования показателей фрактографического анализа размола зерна для оценки качества производимых из этого зерна макарон.

Ключевые слова: макароны, количество и качество клейковины, экспресс-анализ.

Bahitov T.A.¹, Fedotov V.A.²¹PhD in Engineering, Orenburg State University,²ORCID: 0000-0002-3692-9722, PhD in Engineering,

Orenburg State University

IMPROVING THE ASSESSMENT OF PASTA PRODUCTS QUALITY**Abstract**

The article examines improving the estimation of consumer pasta qualities based on using modern information technologies. We have estimated the influence for the technological characteristics of grain products on the products quality. There are comparative analysis of existing methods determining the technical properties of by-products. There are description for proposed methodology using indicators fractographic analysis of grinding grain to assess the pasta quality.

Keyword: pasta, gluten quantity and quality, rapid analysis.

При замесе макаронного теста предпочтения использования влажностно-температурных режимов замеса формируются на основе рекомендаций, установленных в макаронной промышленности многолетним опытом. При этом из всего множества показателей качества муки основное внимание уделено количественно-качественным характеристикам клейковины [1].

От содержания клейковины и ее качества напрямую зависят технологические свойства готовых макаронных изделий. Пластичность макаронного теста зависит от содержания в зерне клейковины. Слишком липкая, тянущаяся клейковина снижает показатели прочности и упругости сырых макарон, короткорвущаяся, рыхлая, неэластичная клейковина приводит к получению шероховатой, обрывающейся в процессе производства продукции. Получаются макароны с большим количеством брака ввиду высокой хрупкости сухих макарон.

Рекомендовано применять для производства макарон муку с содержанием клейковины выше 30 %. Невысокое содержание клейковины в зерне уменьшает время варки макарон до готовности, но вместе с тем, такие изделия будут поглощать много влаги и слипаться, терять большое количество сухих веществ в воде при варке. Использование макаронной муки с низким содержанием клейковины создает трудности при сохранении формы макарон при сушке, увеличивает количество потерь и боя [2].

Влажность сырой клейковины не постоянна, колеблется в широком диапазоне. Количество влаги в сырой клейковине, выраженное в процентах от ее веса называется коэффициентом гидратационной способности клейковины или показателем ее гидратации. Технически этот показатель оценивается по увеличению массы макаронных изделий при варке. Показатель гидратации клейковины обычно варьирует от 180 до 200 % (содержание влаги от 60 до 65 % соответственно) [3].

Традиционный способ определения количества и качества клейковины зерна пшеницы основан на отмывании клейковины из размола зерна по стандартному методу согласно требованиям ГОСТ Р 54478-2011. Количество отмытой клейковины определяют взвешиванием, качество клейковины определяют на приборах ИДК-1М, ИДК-2. Данный метод сопряжен со значительными временными и трудовыми затратами, необходимостью в точном дозировании и поддержании температурно-влажностного режима, а также характеризуется высокой субъективной погрешностью, даже при использовании известной автоматизации и механизации процесса отмывания и анализа клейковины. Использование ИК-спектрометров в экспресс-анализах с этой целью позволяет снизить трудовые и временные затраты, но не приводит к повышению точности оценки.

Иной подход заключается в использовании современных информационно-измерительных средств для проведения гранулометрического анализа размола зерна.

Для экспресс-анализа качества зерна могут быть задействованы методы оптической микроскопии для получения изображения частиц размола зерна, техническое или «компьютерное» зрение – для решения задачи поиска и анализа частиц, искусственные нейронные сети – для классификации частиц по форме и размеру.

Собранные статистические данные позволили разработать способ определения количества и качества клейковины в зерне пшеницы на основе так называемого фрактографического анализа (патент на изобретение № 2586780, дата регистрации 18.05.2016).

Данный метод может быть использован и для прогнозирования качества будущих макаронных (развариваемость, потери сухих веществ и белка при варке, время варки, прочность изделий на срез) и хлебопекарных изделий (пористость, выход хлеба, балльная оценка качества хлеба) из исследуемого зерна. В основе способа экспресс-анализа лежит анализ частиц размола зерна по форме и размеру. Для определения и описания формы частицы используются ее геометрические характеристики (периметр, площадь), которые дают представление о степени округлости, вытянутости частицы (рис.1).

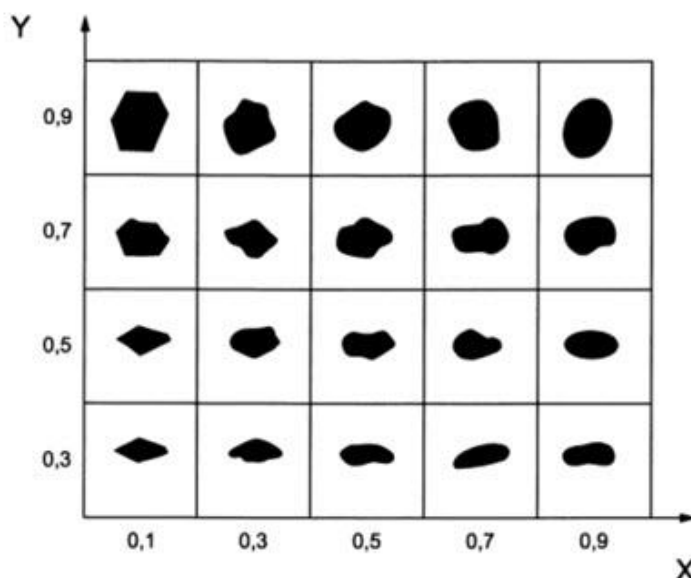


Рис. 1 – Классификация частиц по форме

Многочисленными исследованиями установлено, что степень ровности, округлости частиц муки тесно связана с его составом, физико-химическими свойствами. Неровная, угловатая форма частиц, получающихся при дроблении зерна в мукомольном процессе, тесно связана с физико-химическими свойствами зерновки, ее структурой и в последующем сказывается на технологических свойствах муки из этого зерна. При механическом воздействии зерновка раскалывается по линиям микротрещин, помощью которых зерновка необратимо разрушается. Это явление известно как разрыхление эндосперма. Разрыхленный в процессе гидротермической обработки эндосперм представляет собой структурное образование макромолекул белков (в основном глютеина) и углеводов (в основном крахмала).

После анализа несколько сотен или тысяч таких частиц размола зерна можно сделать заключение о макаронных и хлебопекарных свойствах данного зерна. Новый метод предполагает разработку систем автоматизации размола зерна в помольных линиях на производстве. Измельчение пшеницы на мукомольных заводах сортового помола состоит из следующих связанных процессов: драного (крупнообразование), шлифовочного (обогащение) и размольного. Оперативный анализ качества получаемых продуктов размола зерна в драной и размольной системах и управление работой этих систем позволяет получать макаронную и хлебопекарную муку с различными технологическими свойствами.

Комплексное использование искусственных нейронных сетей и алгоритмов технического зрения для задачи классификации частиц размола зерна по геометрическим характеристикам позволяет снизить временные затраты и повысить точность определения показателей качества.

На первом этапе анализа частицы размолотого зерна детектируют как отдельные объекты, за счет программной обрисовки каждой замкнутым контуром. На выходе образовывается массив проекций контуров частиц - фигур, у которых определяются их геометрические характеристики. Выделены наиболее значимые характеристики фигур. Из центров тяжести фигур алгоритмами технического зрения выделяется достаточное количество отрезков во все стороны, вычисляются средние значения длин (X), их вариации (K) у каждой фигуры. При анализе большого количества частиц средние значения X и K в наибольшей степени характеризуют размер частиц и форму.

Обнаружены тесные связи результатов фрактографического анализа с качеством макарон различных типов замеса, позволившие сформировать алгоритмы, по которым осуществляется выбор замеса макаронного теста по влажности и температуре с целью достижения оптимального качества макаронных изделий. О влиянии выбранных параметров (средневзвешенный размер частиц X и коэффициент неровности частиц K) на качество макарон судили по соответствующим графикам (рис. 2).

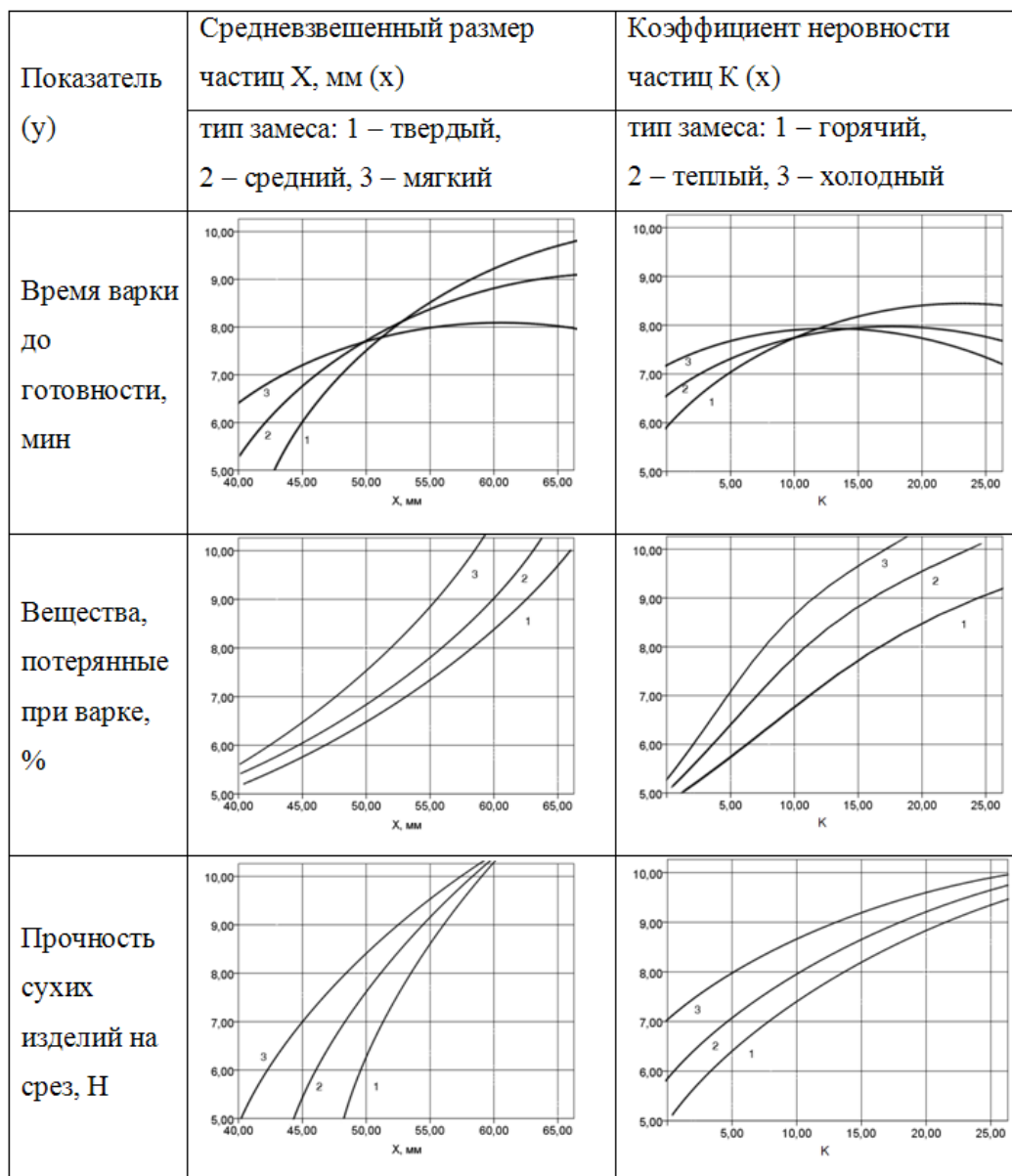


Рис. 2 – Графики связи потребительских качеств макаронных изделий с данными фрактографического анализа зерна в связи с режимами замеса теста

Сформированы рекомендации о выборе влажностно-температурных режимов замеса макаронного теста в зависимости от данных гранулометрического анализа размола зерна. Например, для минимизации потерь сухих веществ при варке макарон, при замесе теста из муки, у которой высокие значения коэффициента неровности частиц, следует выбирать горячий тип замеса теста. Представляется перспективным использование современных информационных технологий для оценки и управления качеством макаронных изделий.

Список литературы / References

1. Медведев П.В. Комплексная оценка потребительских свойств зерна и продуктов его переработки / П. В. Медведев, В. А. Федотов, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - № 7-1 (38). - С. 77-80.
2. Казеннова Н.К. Формирование качества макаронных изделий / Н. К. Казеннова, Д. В. Шнейдер, Т. Б. Цыганова. - М. : ДеЛи принт, 2009. – 100с.
3. Федотов В.А. Улучшение потребительского качества макарон за счет совершенствования технологии производства / В. А. Федотов // Успехи современной науки и образования. – 2016. - № 7. – С. 124 - 127.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Medvedev P.V. Kompleksnaja ocenka potrebitel'skih svojstv zerna i produktov ego pererabotki [Comprehensive assessment for consumer properties of grain and processing products] / P. V. Medvedev, V. A. Fedotov, I. A. Bochkareva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International science-research journal]. - 2015. - № 7-1 (38). - P. 77-80. [in Russian]
2. Kazennova N.K. Formirovanie kachestva makaronny`kh izdelii [The formation of quality pasta] / N. K. Kazennova, D. V. Shnei`der, T. B. TCy`ganova. - M. : DeLee print, 2009. – 100 P. [in Russian]
3. Fedotov V.A. Uluchshenie potrebitel'skogo kachestva makaron za schet sovershenstvovaniia tekhnologii proizvodstva [Improving consumer quality of pasta by improving production technology] / V. A. Fedotov // Uspеhi sovremennoï nauki i obrazovaniia [The success of modern science and education]. – 2016. - № 7. – P. 124 - 127. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.007

Белозеров А.Л.

Аспирант, Санкт-Петербургский горный университет

**РЕШЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ СИНТЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЛОГИКО-КОМБИНАТОРНОГО ПОДХОДА****Аннотация**

В статье рассматривается решение многокритериальных задач структурного синтеза, в которых формирование множества возможных решений осуществляется на основе логико-комбинаторного подхода. Множество вариантов задается в рамках парадигмы онтологического инжиниринга и иерархического морфологического подхода - системой логических уравнений на двух уровнях: на уровне базовых функций и на уровне экземпляров базовых функций. Целевая функция формируется как свертка частных показателей на основе взвешенного степенного среднего. Приводится базовый алгоритм минимизации решений с аддитивными показателями на особенных скобочных формах.

Ключевые слова: логико-комбинаторный подход, иерархический морфологический подход, взвешенное степенное среднее.

Belozеров A.L.

Postgraduate student, Saint-Petersburg Mining University

**SOLUTIONS OF MULTICRITERIA PROBLEMS SYNTHESIS USING LOGIC-COMBINATORIAL
APPROACH****Abstract**

The paper deals with the synthesis of multiobjective structural problems, in which the formation of a set of possible solutions is based on the logic-combinatorial approach. Plenty of options given in the framework of the paradigm of the ontological engineering and hierarchical morphological approach - a system of logical equations at two levels: at the level of the basic functions on the level instances of the basic functions. The objective function is formed as a convolution of particular indicators based on the weighted average power. We present the basic algorithm to minimize additive solutions with performance on special bracket form.

Keywords: logical-combinatorial approach, hierarchical morphological approach, the average weighted degree.

В статье рассматривается решение многокритериальных задач структурного синтеза (дискретного программирования), в которых формирование множества возможных решений осуществляется на основе логико-комбинаторного подхода (ЛКП) [1, 3, 5]. Под многокритериальным синтезом понимают формирование множества альтернативных вариантов структуры синтезируемого объекта, так и выбор оптимального варианта структуры. В задачах управления и проектирования синтезируемый объект рассматривается как система, взаимодействующая с внешней средой (надсистемой), причем под структурой системы обычно понимают состав элементов и подсистем рассматриваемой системы, закрепление определенных функций за элементами и подсистемами, а также организацию связей и отношений между подсистемами, элементами и внешней средой. Множество вариантов задается в рамках парадигмы онтологического инжиниринга и иерархического морфологического подхода (ИМП) - системой логических уравнений на двух уровнях: на уровне базовых функций и на уровне экземпляров базовых функций. Целевая функция формируется как свертка частных показателей на основе взвешенного степенного среднего (ВСС) [4,6].

Методы синтеза модульного оборудования отличаются от традиционных методов ориентированностью на широкое применение компьютерных технологий. Модульный синтез понимается как синтез возможных компоновок модульной системы из заданного набора модулей и анализ их свойств. Исходными данными для синтеза служат множество модулей и отношение агрегируемости, определяющее стыкуемость модулей. Процедуры синтеза продуцируют, вообще говоря, некоторое множество компоновок, удовлетворяющих заданным функциональным требованиям, но отличающихся структурой и составом модулей и, в силу этого, имеющих различные технические и экономические характеристики. Некоторые из этих характеристик имеют системный характер и могут быть получены только в результате экспериментальных исследований или имитационного моделирования [9].

Предполагаем, что синтезируемый объект характеризуется составом базовых функций (БФ). Если имеется один вариант состава БФ, то множество возможных решений задается классической МТ. Например, в задаче синтеза системного блока ПЭВМ, состоящего из системного блока (*SysBloc*), корпуса (*Korp*), блока питания (*BlocPit*) и материнской платы (*MatPlata*), включающей процессор (*Proc*) и оперативную память (*OpMem*), множество V возможных решений задается различными вариантами реализации четырех базовых функций *Korp*, *BlocPit*, *Proc* и *OpMem*. В общем случае m базовых функций, это множество задается декартовым произведением:

$$V = \prod_{j \in 1:m} V_j \quad (1)$$

где $V_j = \{z_{jk} | k \in K_j\}$ - множество вариантов реализации (экземпляров) j -й базовой функции, z_{jk} - элемент,

реализующий k -й вариант базовой функции j . Каждый вариант $v \in V$ - это $v = \{z_{jk} | k \in V_j, j \in 1:m\}$. В еще более общем случае, когда множество V задается в виде ОСФ, а структурные варианты могут различаться составом базовых функций, мы вводим функцию $func: Z \rightarrow F$, отображающую множество элементов Z в множество базовых функций F .

Целевая функция основана на n показателях $Y_i, i \in 1:n$, причем показатели $Y_i, i \in 1:n-1$ являются аддитивными, а показатель Y_n - максиминным. Аддитивные показатели - это минимизируемые показатели (стоимость, масса, интенсивность отказов и т.д.). Значение i -го аддитивного показателя для варианта $v \in V$ вычисляется по формуле

$$Y_i(v) = \sum_{z_{jk} \in v} P_i(z_{jk}) \quad (2)$$

где $P_i(z_{jk})$ - значение i -го аддитивного показателя элемента z_{jk} .

Максиминный показатель $Y_n(v)$ обеспечивает приближенную оценку технического совершенства варианта $v \in V$ следующим образом. Предполагается, что каждый элемент z_{jk} варианта $v = \{z_{jk} | k \in V_j, j \in 1:m\}$

характеризуется показателем технического совершенства $P_n z_{jk}$, который должен быть не хуже заданного, определяемого на основе опыта, предварительных исследований и т.д. Например, для системного блока ПЭВМ - блок питания должен обеспечивать мощность не меньше заданной, процессор - быстродействие не меньше заданного, оперативная память - объем не меньше заданного и т.д. Это позволяет решить проблему построения параметрических моделей в случае их разнородности [5] для всего множества V возможных решений задачи структурного синтеза.

В качестве целевой функции, характеризующей технико-экономическое совершенство синтезируемого объекта, мы используем максимизируемую на V свертку в форме ВСС [4,7]:

$$G(y(v)) = M_r(w, y) = \left(\sum_{i \in 1:n} w_i y_i^r(v) \right)^{1/r} \quad (3)$$

где y_i - нормированное значение и w_i - вес i -го показателя, r - степень ВСС. Смысл использования (3) в качестве максимизируемой целевой функции основан в том, что $M_r(w, y) \rightarrow \min \{y_1, \dots, y_n\}$ при $r \rightarrow -\infty$. Благодаря этому, при значениях $|r| > 1$, мы отдаем предпочтение, и в тем большей степени, чем больше $|r|$, вариантам $v \in V$, которые имеют наилучшее значение наихудшего показателя (максимин). Тем самым обеспечивается гармонизация [2] показателей синтезируемого объекта.

Аддитивные минимизируемые показатели (стоимость, масса, интенсивность отказов и т.д.) для каждого варианта $v \in V$ нормируются относительно соответствующего целевого (эталонного) значения \bar{Y}_i так, что их нормированные значения становятся максимизируемыми:

$$y_i(v) = \frac{\bar{Y}_i}{Y_i(v)}, i \in 1:n-1 \quad (4)$$

где $y_i(v)$ вычисляется по формуле (2).

Нормированный максиминный показатель $y_n(v)$ для каждого варианта $v \in V$ получается взятием минимума

$$y_n(v) = \min \{P_n(z_{jk}) | z_{jk} \in v\} \quad (5)$$

где $P_n(z_{jk})$ - нормированное значение максиминного показателя элемента z_{jk} . Если $P_n(z_{jk})$ - максимизируемый показатель, то $P_n(z_{jk})$ вычисляется по формуле

$$P_n(z_{jk}) = \frac{P_n(z_{jk})}{\bar{T}_j} \quad (6)$$

где \bar{T}_j - целевое значение для j -й БФ. Если среди показателей $P_n(z_{jk}), j \in 1:m$, имеются минимизируемые, то вместо (6) следует использовать формулу $P_n(z_{jk}) = \bar{T}_j / P_n(z_{jk})$

В базовом алгоритме минимизации на ОСФ, а именно, реализуется поиск варианта $v \in V$, доставляющего

$$\min_{v \in V} \sum_{i \in 1:n} a_i P_i(v) \quad (7)$$

для n нормированных аддитивных показателей $P_i(v)$, где a_i - выбираемые пользователем весовые коэффициенты, причем $\sum_{i \in 1:n} a_i = 1$. Пользователь использует эти весовые коэффициенты для того, чтобы найти наилучшую точку на выпуклой оболочке множества Парето. Дополнительное обоснование можно найти в [5, 8].

Базовый алгоритм программы основан на том, что вычисление нормированных значений для минимизируемых аддитивных показателей $P_i(v), i \in 1:n-1$, используемых в формуле (7), выполняется по формуле:

$$p_i(v) = \frac{Y_i(v)}{\bar{Y}_i} = \frac{1}{y_i(v)} \quad (8)$$

Очевидно, что для $i \in 1:n-1$

$$p_i(v) = \sum_{z_{jk} \in v} q_i(z_{jk}) \quad (9)$$

где $q_i(z_{jk})$ - нормированный аддитивный показатель элемента z_{jk} , который желательно минимизировать, вычисляется по формуле:

$$q_i(z_{jk}) = \frac{P_i(z_{jk})}{\bar{Y}_i} \quad (10)$$

Минимизацию правой части выражения $\sum_{i \in 1:n} a_i p_i(v) = \sum_{i \in 1:n} a_i \sum_{z_{jk} \in v} q_i(z_{jk})$

можно заменить минимизацией

$$\sum_{z_{jk} \in v} Q(z_{jk}) \quad (11)$$

Где

$$Q(z_{jk}) = \sum_{i \in 1:n} a_i q_i(z_{jk}) \quad (12)$$

- это аддитивный вклад элемента z_{jk} в целевую функцию (7) по всем показателям Y_i с учетом весовых коэффициентов $i \in 1:n$. Остается получить формулу для $q_n(z_{jk})$, т.е. для максиминных показателей.

Реализация (7) для максиминных показателей основана на их аддитивной аппроксимации. Максимизацию выражения (5) $y_n(v) = \min \{p_n(z_{jk}) | z_{jk} \in v\}$, можно заменить на максимизацию приближенного значения минимума, вычисляемого на основе ВСС

$$y_n(v) \approx M_s(\delta, p_n(v)) = \sum_{z_{jk} \in v} \delta_{func(z_{jk})} p_n^s(z_{jk})^{1/s}, \quad (13)$$

Где $s \ll 0$, $z_{jk} \in v$, $\sum_{z_{jk} \in v} \delta_{func(z_{jk})} = 1$, или на минимизацию суммы

$$\sum_{z_{jk} \in v} q_n(z_{jk}) \quad (14)$$

где $q_n(z_{jk})$ - это нормированный аддитивный вклад минимаксного показателя z_{jk} в целевую функцию (7):

$$q_n(z_{jk}) = \delta_{func(z_{jk})} p_n^s(z_{jk}) \quad (15)$$

Таким образом, представление множества возможных решений V в виде ОСФ1 или ОСФ2 [3, 5] позволяет найти глобальный минимум и некоторое подмножество V_s субоптимальных решений для (7) за счет отбора в каждой дизъюнкции элементов z_{jk} , обеспечивающих локальный минимум $Q(z_{jk})$ и близкие к нему значения. Оптимальное решение относительно целевой функции (3) получается путем подбора пользователем весовых коэффициентов $a_i, i \in 1:n$ и перебора на подмножестве V_s . *Практический пример применения решения будет рассмотрен в следующей статье.*

Список литературы/ References

1. Анкудинов Г.И. Об одном общем подходе к свертыванию частных критериев эффективности // Автоматизированные системы управления.- Л.: ЛГУ, 1974.- Вып.1.- С.39-41.
2. Богданов А.А. Тектология: Всеобщая организационная наука.- М.: Финансы, 2003.- 496 с.
3. Анкудинов Г.И. Синтез структуры сложных объектов.- Л.: ЛГУ, 1986.- 260 с.
4. Анкудинов Г.И., Анкудинов И.Г. Нелинейная свертка частных критериев на основе интервальных оценок // Материалы научной конференции. Часть 1.- СПб.: СЗТУ, 2003.- С. 136139.
5. Анкудинов И.Г. Автоматизация структурного синтеза и принятия решений в управлении и проектировании.- СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.- 202 с.
6. Анкудинов Г.И., Анкудинов И.Г. Гармонизация иерархий на основе взвешенного степенного среднего // «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2012)». VI международная конференция, 1-3 октября 2012 г., Москва. - Материалы: в 2-х т.- 1 т.- С. 139.
7. Анкудинов Г.И., Анкудинов И.Г. Мультикритериальный выбор решений на основе предельных уступок и коэффициентов замещения показателей // Записки Горного института, СПб, 2014, Т. 208. С. 208-215.
8. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях. Учебнометодическое пособие.- СПб. Издательство «ЮТАС», 2007. - 104 с.
9. Рябов О. Н. Модели и методы автоматизированного синтеза сборочных комплексов модульной структуры для приборостроения: автореф дис. канд. технических наук ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет», Саратов, 2006.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ankudinov G.I, Ob odnom obshhem podhode k svertyvaniyu chastnyh kriteriev jeffektivnosti [A general approach to curtailing private performance criteria] // Avtomatizirovannye sistemy upravlenija [Automated control systems].- L.: LGU, 1974.- Edition.1.- P.39-41. [in Russian]
2. Bogdanov A.A. Tektologija: Vseobshhaja organizacionnaja nauka. [Tectology: Universal organizational science] - M.: Finansy, 2003.- 496 p. [in Russian]
3. Ankudinov G.I. Sintez struktury slozhnyh ob#ektov. [The synthesis of the structure of complex objects.] – L.: LGU, 1986.– 260 s. [in Russian]
4. Ankudinov G.I, Ankudinov I.G Nelinejnaja svertka chastnyh kriteriev na osnove interval'nyh ocenok [Nonlinear convolution of partial criteria on the basis of interval estimates] // Materials of scientific conference. Part 1.- SPb.: SZTU, 2003.- P. 136139. [in Russian]
5. Ankudinov I.G. Avtomatizacija strukturnogo sinteza i prinjatija reshenij v upravlenii i proektirovanii [Automation of structural synthesis and decision-making in the management and design].- SPb.: publishing Polytechnic University, 2008.- 202 p. [in Russian]
6. Ankudinov G.I, Ankudinov I.G. Garmonizacija ierarhij na osnove vzveshennogo stepennogo srednego [Harmonisation of hierarchies on the basis of the weighted average power] // «Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem [Management of development of large scale systems] (MLSD'2012)». VI international conference, 1-3 october 2012, Moscow. – in the 2nd v. – 1 v. – P. 139. [in Russian]
7. Ankudinov G.I, Ankudinov I.G. Mul'tikriterial'nyj vybor reshenij na osnove predel'nyh ustupok i koeficientov zameshhenija pokazatelej [Multicriteria selection decisions on the basis of marginal concessions and performance of replacement rates] // Zapiski Gornogo instituta, SPb, 2014, V. 208. P. 208-215. [in Russian]
8. Nogin V.D. Prinjatie reshenij pri mnogih kriterijah. [Decision-making in many criteria.] Textbook.- SPb. publishing house «JuTAS», 2007. - 104 p. [in Russian]
9. Rjabov O. N. Modeli i metody avtomatizirovannogo sinteza sborochnyh kompleksov modul'noj struktury dlja priborostroenija [Models and methods of the automated synthesis of assembly complexes of modular structure for instrument making]: PhD dissertation, GOU VPO «Saratovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet», Saratov, 2006. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.143

Бенин Д.М.

ORCID: 0000-0003-1265-4071, Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий
ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА им. К.А.Тимирязева»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА ВОДЫ

Аннотация

В статье приводится конструктивное описание гидродинамического стабилизатора расход воды. Конструкция стабилизатора расхода воды рассмотрена подробно по каждому конструктивному элементу стабилизатора: входному участку, камере слияния, диффузору и низовому участку. Даются рекомендации по определению коэффициентов гидравлического сопротивления каждого конструктивного элемента. В статье дается анализ влияния угла и степени расширения пирамидального квадратного диффузора на коэффициент сопротивления при выходе потока в нижний бьеф.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, местное сопротивление, низконапорный трубопровод, гидродинамический стабилизатор, диффузор.

Benin D.M.

ORCID: 0000-0003-1265-4071, PhD in Engineering,

"Russian state agrarian University - MSHA them. K. A. Timiryazev"

DETERMINING THE COEFFICIENTS OF HYDRAULIC RESISTANCE OF THE VARIOUS ELEMENTS OF THE HYDRODYNAMIC FLOW REGULATOR WATER

Abstract

The article gives a constructive description of the hydrodynamic stabilizer water consumption. water flow regulator design is described in detail on each structural element of the stabilizer: input section, merging chamber, diffuser and downstream portion. The recommendations on the definition of the coefficients of hydraulic resistance of each structural element. The article analyzes the influence of the angle and the degree of expansion of the square pyramidal cone on the resistance coefficient of the output stream to the downstream.

Keywords: hydraulic resistance, local resistance, low-pressure pipeline, hydrodynamic stabilizer, diffuser.

В мире для орошения 17% посевных площадей, поставляющих более 40% мирового объема сельхозпродукции, используется 70% общего объема отбора пресной воды. В России на 9,2 млн.га мелиорируемых земель производится более 60% овощей, 15% грубых и сочных кормов. По данным федеральной службы государственной статистики использование воды в Российской Федерации в 2013 году составило 53,6 км³, из которых 7,0 км³ приходится на орошение и сельское хозяйство [1].

Учитывая объемы используемой воды, важнейшим вопросов является сокращения затрат на подъем, транспортировку, хранение воды.

Регулирование расхода напорных водопропускных сооружений является одной из важнейших задач рационального водораспределения.

Конструкция стабилизатора расхода воды

Как и в любом сложном механизме, в низконапорном регуляторе расхода воды инженеры при проектировании стараются максимально сократить количество подвижных механических деталей.

Практически все гидроавтоматы используют энергию потока воды в чистом виде и гидравлические свойства потока при движении. При этом поток формируется одним из следующих способов: изменяется сжатие потока при истечении из-под затвора или щита, инверсия, или деформация падающей струи, инерционные свойства потока.

Исходя из этого, крайне важно подобрать такие параметры регулятора расхода, при работе с которыми будут наблюдаться минимальные потери напора.

Основными элементами гидродинамических водовыпусков, влияющих на значения местных сопротивлений, являются: входной участок, камера слияния, диффузор и низовой участок (рис.1) [3].

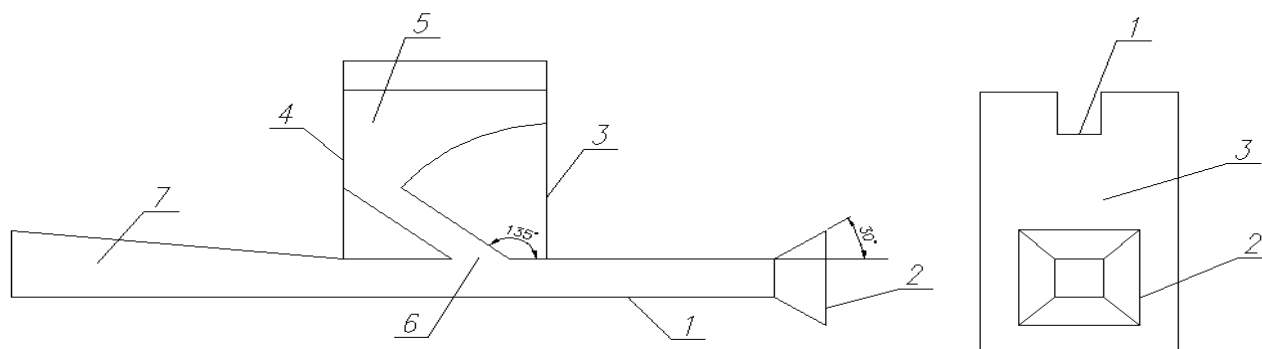


Рис. 1 – Вариант конструкции модели стабилизатора расхода: 1 – транзитный водовод; 2 – входной оголовок; 3,4 – напорные стенки; 5 – камера слияния; 6 – отверстие; 7 – диффузор.

Далее в статье будут разобраны значения местных сопротивлений для каждого конструктивного элемента регулятора расхода.

1. Входной участок.

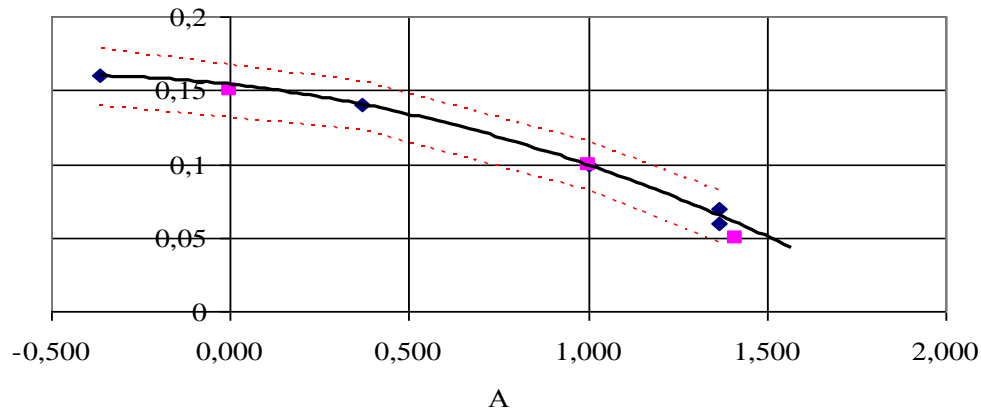
Наиболее гидравлически выгодной формой входного участка является вид усеченной пирамиды, переходящей в круглую трубу постоянного сечения, соединяющуюся в концевой части с транзитным водоводом. Данная форма входа имеет ряд преимуществ: простота в исполнении по причине отсутствия криволинейных поверхностей, отсутствие в камере слияния острых углов, возможность геодезической привязки входного оголовка к минимальному уровню верхнего бьефа. Значения коэффициентов сопротивления входа зависят от угла входа (α), диаметра раструба (D_r) и длины входного участка (l) и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты сопротивления раструбного входа без торцевой стенки

$\frac{l}{D_r}$	α°								
	0	10	20	30	40	60	100	140	180
0,025	1,0	0,96	0,93	0,90	0,86	0,80	0,69	0,59	0,50
0,050	1,0	0,93	0,86	0,80	0,75	0,67	0,58	0,53	0,50
0,075	1,0	0,87	0,75	0,65	0,58	0,50	0,48	0,49	0,50
0,10	1,0	0,80	0,67	0,55	0,48	0,41	0,41	0,44	0,50
0,15	1,0	0,76	0,58	0,43	0,33	0,25	0,27	0,38	0,50
0,25	1,0	0,68	0,45	0,30	0,22	0,17	0,22	0,34	0,50
0,60	1,0	0,46	0,27	0,18	0,14	0,13	0,21	0,33	0,50
1,0	1,0	0,32	0,20	0,14	0,11	0,10	0,18	0,30	0,50

2. Камера слияния

Главная часть регулятора расхода, в которой происходит слияние транзитного и управляющего потока. Имеется два режима работы камеры слияния – при отсутствии и при наличии потока управления. Без выполнения функции управления в камере гидравлическое сопротивление очень мало.



- ◆ экспериментальные данные для квадратного сечения
- данные для круглого сечения
- верхняя граница доверительного интервала для вероятности 95%
- нижняя граница доверительного интервала для вероятности 95%
- Полиномиальный (экспериментальные данные для квадратного сечения)

Рис.2 – Кривая сопротивлений равнопроходных тройников $\zeta_{с.л.}$ при отсутствии расхода бокового ответвления [5].

Коэффициент сопротивления на прямой проход при отсутствии расхода бокового ответвления равнопроходного тройника (ниши) можно определить по универсальной формуле:

$$\zeta_{н.} = -0.0282 \cdot A^2 - 0.0265 \cdot A + 0.154$$

где $A = \sin \alpha + \cos \alpha$, α – угол бокового ответвления.

Коэффициент местного сопротивления бокового ответвления можно определить по формуле [6]:

$$\zeta_{сб} = A \left[1 + \left(\frac{Q_{сб}}{Q_c} \cdot \frac{\omega_{сб}}{\omega_c} \right)^2 - 2 \frac{\omega_c}{\omega_n} \left(1 - \frac{Q_{сб}}{Q_c} \right) - 2 \frac{\omega_c}{\omega_{сб}} \left(\frac{Q_{сб}}{Q_c} \right) \cos \alpha \right] + K_{сб}$$

Для водоводов прямоугольного поперечного сечения коэффициент сопротивления для прямого прохода определяется по формуле:

$$\zeta_{сн} = 1 - \left(1 - \frac{Q_{сб}}{Q_c} \right)^2 - \left(1,4 - \frac{Q_{сб}}{Q_c} \right) \cdot \left(\frac{Q_{сб}}{Q_c} \right) \cdot \sin \alpha - 2K'_n \cdot \frac{\omega_c}{\omega_{сб}} \cdot \frac{Q_{сб}}{Q_c} \cdot \cos \alpha,$$

где $Q_{сб}/Q_c$ и $\omega_{сб}/\omega_c$ – соотношения сливающихся расходов и площадей соответственно.

Значения коэффициента K'_n можно определить по Таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента K'_n

$\omega_{сб}/\omega_c$	$\leq 0,35$	$> 0,35$	
$Q_{сб}/Q_c$	0-10	$\leq 0,6$	$> 0,6$
K'_n	$0,8Q_{сб}/Q_c$	0,5	$0,8Q_{сб}/Q_c$

3. Диффузор и низовой участок

В устройство гидрорегулятора могут применяться диффузоры различной формы сечения: квадратной, прямоугольной, круглой. Наиболее простой формой в бетонном исполнении являются квадратные и прямоугольные.

Прямая проставка перед диффузором создает на входе в него симметричный профиль скорости с максимумом в центре и пониженными скоростями у стенок. Если перед диффузором установить фасонную часть трубопровода или какое-либо препятствие, оно будет создавать на входе в диффузор неравномерный профиль скорости. В случае гидродинамического стабилизатора сопротивление диффузора следует определять как при отсутствии прямой проставки, поскольку и ниша и боковой расход переформируют профиль скоростей на входе в диффузор. При малых углах расширения диффузора γ сопротивление диффузора будет возрастать, при больших может быть несколько ниже по сравнению с сопротивлением при равномерном поле скоростей на входе [2].

Структура потока в диффузорах прямоугольного сечения и характер кривых сопротивления в основном такие же, как и для конических диффузоров. Однако на условия течения в диффузорах прямоугольного сечения дополнительно накладывается влияние углов поперечных сечений, что способствует более раннему отрыву потока от стенки. В таких диффузорах сопротивление получается почти всегда выше, чем в конических. С другой стороны, несколько уменьшается влияние проставки.

Формула коэффициента сопротивления диффузора, полученная методом теории пограничного слоя начального участка (участка с ядром постоянной скорости) диффузоров, работающих в сети, (с учетом потерь на выравнивание потока в прямом выходном участке) имеет вид:

$$\zeta_d = \frac{\Delta p}{\rho \omega_0^2 / 2},$$

где Δp - разность перепадов давления;

ρ – плотность жидкости;

ω_0 - площадь поперечного сечения транзитного водовода.

Структура потока в пределах диффузоров и отрывные явления зависят от многих параметров: угол расширения γ (для диффузоров с прямолинейными стенками); степень расширения $n_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2}$, (где ω_1 и ω_2 - площадь входного и

выходного сечения диффузора); форма поперечного сечения; форма образующей; толщина пограничного слоя на входе; форма профиля скоростей и степень турбулентности потока на входе; режим течения.

Сопротивление плоских диффузоров (расширение сечения в одной плоскости) при одинаковых углах и степенях расширения заметно меньше, чем в диффузорах с расширением сечения в двух плоскостях, и иногда несколько меньше, чем в конических. При одинаковых углах и степенях расширения плоские диффузоры соответственно длиннее, чем конические и прямоугольные с расширением в двух плоскостях, получается более плавное изменение сечения, меньший градиент давления вдоль потока и слабее отрыв потока от стенок.

При выходе потока из сети кинетическая энергия выходящей струи всегда теряется для этой сети; поэтому в общем случае потери на выходе складываются из внутренних потерь в выходном участке $\Delta p_{вн}$ и потерь динамического давления Δp_d струи, выходящей из сети:

$$\Delta p = \Delta p_{вн} + \Delta p_d;$$

Следует отметить, что в пирамидальных диффузорах с увеличением угла расширения сопротивление растет, с ростом степени расширения – снижается. В плоских диффузорах, напротив, больший угол расширения имеет меньшее сопротивление, но по-прежнему с ростом степени расширения сопротивление диффузора, работающего на бьеф, снижается (рис.3).

При проектировании гидродинамического стабилизатора расхода воды следует использовать наиболее простые в конструктивном исполнении формы элементов, учитывая технологию их изготовления из железобетона. Наиболее сложными в строительстве местами являются места сочленения входного оголовка с транзитным трубопроводом, установка управляющей башни и низового участка с диффузором [4].

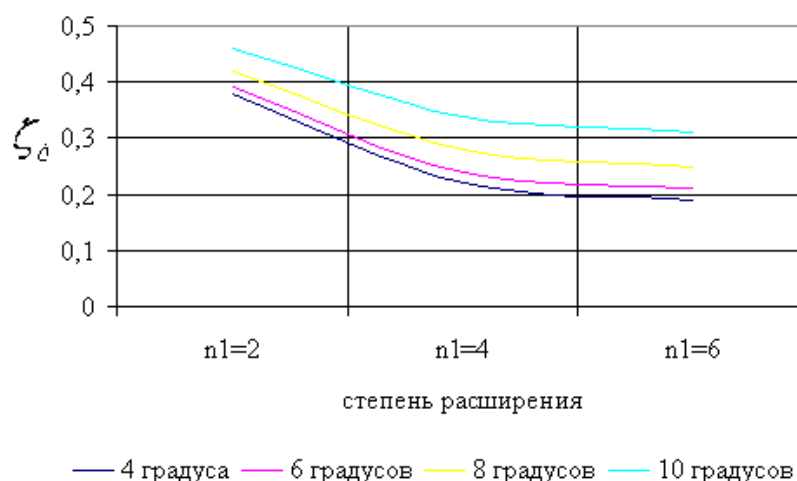


Рис. 3 – Влияние угла и степени расширения пирамидального квадратного диффузора на коэффициент сопротивления при выходе потока в нижний бьеф

Так как данное сооружение в своем составе не использует механической регулирующей арматуры, а работает только на гидравлических свойствах воды, большое внимание следует уделять значениям гидравлических сопротивлений.

Максимальное уменьшение значений гидравлических сопротивлений можно добиться с помощью правильного подбора геометрических параметров конструктивных элементов.

Список литературы/ References

1. Бенин Д.М. Влияние формы элементов проточной части на регулируемую способность гидродинамических стабилизаторов расхода / Д. М. Бенин // Перспективы науки. 2010. №11(13). С. 59-63.
2. Бенин Д.М. Конструктивные особенности гидродинамических стабилизаторов расхода / Д.М. Бенин, В.Л. Снежко // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2010. Вып.9, С.127-128.

3. Бенин Д.М. Гидравлическое обоснование параметров проточных частей стабилизаторов расхода трубчатых водопропускных сооружений. : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.16. защищена 20.06.11. : утв.27.12.11 / Бенин Дмитрий Михайлович. – М., 2011. – 175с.

4. Снежко В.Л., Бенин Д.М. Численное и физическое моделирование при изучении напорных водопропускных сооружений в гидротехнике / В.Л. Снежко, Д.М. Бенин // Наука и бизнес: пути развития, 2013, №2 (20). С.031-037.

5. Паливец М.С., Снежко В.Л. К вопросу определения гидравлических сопротивлений тройников / М.С. Паливец, В.Л. Снежко // Естественные и научные науки., 2010, № 5 (48). С. 592-599.

6. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / Под общ. ред. А.С. Юрьева. Спб.: Мир и семья, 2001. 1154 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Benin D.M. Vlijanie formy jelementov protochnoj chasti na regulirujushhuju sposobnost' gidrodinamicheskikh stabilizatorov rashoda [Effect of the elements of a flowing part on the regulatory capacity of the hydrodynamic flow regulators] / D. M. Benin // Perspektivy nauki [Science perspectives]. 2010. №11(13). P. 59-63 [in Russian]

2. Benin D.M. Konstruktivnye osobennosti gidrodinamicheskikh stabilizatorov rashoda [Design features of the hydrodynamic flow regulators] / D.M. Benin, V.L. Snezhko // Zhurnal nauchnyh publikacij aspirantov i doktorantov [Scientific publications Journal of graduate and doctoral students]. 2010. №.9, P.127-128 [in Russian]

3. Benin D.M. Gidravlichesкое обоснование параметров проточных частей стабилизаторов расхода трубчатых водопропускных сооружений. [Hydraulic substantiation of parameters of flowing parts of the tubular stabilizers flow culverts] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.23.16. defense of the thesis 20.06.11. : approved.27.12.11 / Benin Dmitrij Mihajlovich. – М., 2011. – 175p. [in Russian]

4. Snezhko V.L., Benin D.M. Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie pri izuchenii napornyh vodopropusknyh sooruzhenij v gidrotehnike [Numerical and physical modeling in the study of pressure in hydraulic culverts] / V.L. Snezhko, D.M. Benin // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: the development of], 2013, №2 (20). p.031-037 [in Russian].

5. Palivec M.S., Snezhko V.L. K voprosu opredeleniya gidravlicheskih soprotivlenij trojnikov [On the question of determining the hydraulic resistance tees] / M.S. Palivec, V.L. Snezhko // Estestvennye i nauchnye nauki [Natural Science and scientific], 2010, № 5 (48). P. 592-599 [in Russian]

6. Spravochnik po raschetam gidravlicheskih i ventiljacionnyh system [Handbook of hydraulic calculations and ventilation systems] / Pod obshh. red. A.S. Jur'eva. Spb.: Mir i sem'ja, 2001. 1154 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.236

Бурханова А.Г.¹, Забалуева Ю.Ю.², Иванов А.Ю.³, Полозова Т.В.⁴

¹Магистр, ²ORCID: 0000-0001-5366-8811, Кандидат технических наук, ³Аспирант, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, ⁴Кандидат экономических наук

Работа выполнена при поддержке гранта «Молодые ученые ВСГУТУ»

ИЗУЧЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ ИЗ МОЛОК ЛОСОСЕВЫХ РЫБ

Аннотация

В статье представлены результаты изучения качественных характеристик и жирнокислотного состава белково-жировой эмульсии из молок лососевых рыб. Было установлено, что содержание полиненасыщенных жирных кислот в эмульсии составляет 59 %. Анализ данных показал, что разработанная добавка является хорошим поставщиком полиненасыщенных жирных кислот, особенно линолевой. Таким образом, использование эмульсии в производстве мясных и рыбных продуктов будет способствовать их обогащению эссенциальными кислотами.

Ключевые слова: молоки лососевых рыб, белково-жировая эмульсия, жирнокислотный состав

Burchanova A.G.¹, Zabalueva Yu.Yu.², Ivanov A.Yu.³, Polozova T.V.⁴

¹Undergraduate, ²ORCID: 0000-0001-5366-8811, PhD in Engineering, ³Postgraduate student, East-Siberian State University of Technology and Management, ⁴PhD in Economics,

This work was supported by the grant "Young scientists VSGUTU"

INVESTIGATION OF FATTY ACID COMPOSITION OF THE PROTEIN-FATTY EMULSION FROM SALMON MILT

Abstract

The article presents the results of a study of the quality characteristics and fatty acid composition of the protein-fatty emulsion from salmon milt. It was found that the content of polyunsaturated fatty acids in the emulsions is 59% Data of analysis has shown that emulsion is a good supplier of polyunsaturated fatty acids, especially linoleic. Thus, the use of this emulsion in the manufacturing of meat and fish products will contribute to the enrichment of products with essential acids.

Keywords: salmon milt, protein-fatty emulsion, fatty acid composition.

Одним из основных источников повышения эффективности производства пищевых продуктов здорового питания является совершенствование ассортимента готовых изделий. При этом важно обеспечить качественные показатели, пищевую и биологическую ценности продукции, а также максимальную выработку продуктов с каждой тонны перерабатываемого сырья.

Эмульсионные системы сегодня играют ключевую роль в производстве продуктов питания. Эмульсии можно встретить в молочных, мясных, рыбных, кондитерских, масложировых продуктах, напитках и других пищевых изделиях. Благодаря высоким функциональным свойствам добавок эмульсионного типа, которые обеспечивают

стабильное качество и высокий выход продуктов животного происхождения, они находят широкое применение при их производстве [1, 2, 3]. Используя в составе эмульсий компоненты, содержащие эссенциальные вещества, можно обеспечить функциональную направленность готовым продуктам. В результате проведенного анализа литературы было выявлено, что перспективным источником эссенциальных веществ являются добавки из гидробионтов морского происхождения [4]. Гидробионты: растительные и животные организмы, обитающие в водной среде, особенно морской, чрезвычайно богаты полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами, минеральными веществами такими, как фосфор, калий, йод, селен и др.

В связи с вышеуказанной целью работы было изучение жирнокислотного состава белково-жировой эмульсии (БЖЭ), изготовленной с использованием молока кеты тихоокеанской, для ее дальнейшего применения в составе фаршевых изделий.

В ходе проведения экспериментальных исследований изучали показатели с использованием следующих методик: содержание белка – макрометодом; липидов – методом Сокслета. Жирнокислотный состав исследовали методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Agilent 7890 с масс спектрометрическим детектором типа тройной квадруполь 7000C (Agilent Technologies, США), использовали колонку HP-5MS с внутренним диаметром 0.25 мкм, газ-носитель – гелий (постоянный поток 1,16 мл/мин.); аминокислотный состав – методом капиллярного электрофореза. Анализы выполнены в трехкратной повторности, результаты обработаны с использованием стандартных статистических методов.

Рецептура БЖЭ была получена методом компьютерного моделирования. В нее вошли такие ингредиенты, как белковый комплексный стабилизатор «Гелеон-179 М» (1%), масло растительное подсолнечное (30%), молоко кеты тихоокеанской (39%), сыворотка молочная обезжиренная (30%) [5]. Для получения более стабильной структуры многокомпонентной эмульсии использовали комплексный стабилизатор «Гелеон-179М», представляющий смесь животного белка, растительного белка, стабилизатора (Е412) и мальтодекстрина. По функциональным свойствам «Гелеон-179М» относят к эмульгаторам с высокими стабилизирующими свойствами.

Технологический процесс производства белково-жировой эмульсии из молок лососевых рыб осуществлялся в соответствии с технологической инструкцией и с соблюдением «Санитарных правил для предприятий рыбной промышленности», утвержденных в установленном порядке.

Молоки лососевых рыб после размораживания измельчали вначале на волчке (с диаметром отверстий решетки 2-3 мм), а затем пропускали на машинах для тонкого измельчения. В полученную массу добавляли молочную сыворотку и перемешивали в куттере-смесителе в течение 2-3 минут, по окончании процесса перемешивания добавляли в сухом виде стабилизатор «Гелеон - 179М» и масло растительное подсолнечное. После внесения всех компонентов эмульгирование проводили при высокой скорости вращения еще в течение 3-4 минут. Полученную белково-жировую эмульсию выгружали в тару и охлаждали при температуре 0-4°C в течение 1,5-2 часов.

Известно, что молоко лососевых рыб отличаются высоким содержанием белков и незначительным липидов, при этом их жирнокислотный состав характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (40-43% от суммы всех жирных кислот). Одной из важных особенностей состава молок лососевых рыб является большое содержание нуклеопротеидов. Наличие в эмульсии нуклеопротеидного комплекса обеспечивает высокие структурообразующие свойства, которые могут способствовать стабилизации консистенции неустойчивых фаршевых систем пищевых продуктов. Качественная характеристика БЖЭ представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и свойства белково-жировой эмульсии

Показатели	Значение
Содержание белка, %	8,6±0,1
Содержание липидов, %	30,9±0,1
ВУС, %	98,8±0,2
Стабильность эмульсии, %	99,0±0,4

Как показали результаты исследований (табл.1) БЖЭ имеет высокое содержание белка и жира, обладает гидрофильными свойствами и устойчива при нагреве.

На следующем этапе был исследован жирнокислотный состав белково-жировой эмульсии, выработанной с использованием молок кеты, представленный в таблице 2. Полученные данные показали, что разработанная добавка является хорошим источником полиненасыщенных жирных кислот.

Таблица 2 – Жирнокислотный состав белково-жировой эмульсии

Наименование жирной кислоты	Содержание кислот, % к общему их содержанию
Насыщенные жирные кислоты (ЖК)	
-миристиновая (14:0)	+
-пентадекановая (15:0)	+
-пальмитиновая (16:0)	5,7
-маргариновая 17:0	+
-стеариновая (18:0)	4,17
-арахиновая (20:0)	0,25
-бегеновая (22:0)	1,3
Итого	11,5

Окончание табл. 2 – Жиринокислотный состав белково-жировой эмульсии

Наименование жирной кислоты	Содержание кислот, % к общему их содержанию
Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК)	
-пальмитолеиновая (16:1)	+
-олеиновая (18:1n9)	28,23
-транс-вакценовая (18:1n11)	1,21
-гадолеиновая (20:1n11)	+
Итого	29,5
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК)	
-линолевая (18:2) ω 6	57,85
-арахидоновая (20:4) ω 6	+
-эйкозатриеновая (20:3) ω 3	+
-эйкозапентаеновая (20:5) ω 3	0,55
-докозагексаеновая (22:6) ω 3	0,54
-докозапентаеновая (22:5) ω 3	+
Итого	59,0
Всего	100,0

Примечание: + - компонент присутствует в смеси, но его содержание не удалось измерить.

Как свидетельствуют полученные результаты исследования в разработанной эмульсии преобладают из насыщенных жирных кислот - пальмитиновая и стеариновая кислоты, из мононенасыщенных – олеиновая кислота, полиненасыщенных – линолевая. Для морских организмов самыми распространенными и характерными «полиенами» являются эйкозапентаеновая (20:5) и докозагексаеновая (22:6) жирные кислоты. В эмульсии их количество составляет 0,55% и 0,54% соответственно. Кроме указанных ПНЖК в эмульсии были идентифицированы линолевая, арахидоновая, эйкозатриеновая, и докозапентаеновая. Благодаря присутствию в рецептуре БЖЭ растительного подсолнечного масла содержание ПНЖК превалировало над уровнем МНЖК в 2 раза, а НЖК – 5 раз. По данным таблицы 2 видно, что соотношение ПНЖК ω6 к ПНЖК ω3 – 53:1, при рекомендуемом соотношении для массовых продуктов –10:1, т.е. в разработанной добавке жирных кислот ω6 в пять раз больше. Это дает основание полагать, что белково-жировая эмульсия, изготовленная с использованием молок кеты, при применении ее в технологиях мясных и рыбных продуктов будет способствовать их обогащению полиненасыщенными жирными кислотами, особенно линолевой.

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что разработанная белково-жировая эмульсия имеет сбалансированный жирнокислотный состав и богата эссенциальными полиненасыщенными жирными кислотами.

Список литературы/ References

1. Баженова Б.А., Забалуева Ю.Ю., Иванов А.Ю. Новые составы эмульсий для мясных рубленых полуфабрикатов // Мясная индустрия, 2016. № 3. С.15-18.
2. Колесникова Н.В., Баженова Б.А. Пути повышения эффективности в колбасном производстве // Мясной ряд, 2012. № 3. С.70.
3. Забалуева Ю.Ю., Колесникова Н.В., Чойбонова Л.Г. Использование белково-жировой эмульсии при производстве полуфабрикатов в тестовой оболочке // Пищевая промышленность. 2010. № 7. С. 16-17.
4. Баженова Б.А., Колесникова И.С., Бадмаева Т.М., Данилов М.Б. Белково-жировая эмульсия с ламифареном для мясных продуктов // Мясная индустрия, 2011. № 4. С.68-72.
5. Данилов М.Б., Колесникова Н.В., Забалуева Ю.Ю., Иванов А.Ю. Инновационная технология переработки молок лососевых рыб // Вестник ВСГУТУ, 2014. № 1. С. 103-109.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bazhenova B.A., Zabalueva Yu.Yu., Ivanov A.Yu. Novye sostavy emul'sii dlya myasnykh rublenykh polufabrikatov [New emulsion formulations for chopped meat semi-finished] // Myasnaya industriya [Meat Industry], 2016. № 3. P.15-18. [in Russian]
2. Kolesnikova N.V., Bazhenova B.A. Puti povysheniya effektivnosti v kolbasnom proizvodstve [Ways to improve the efficiency in the production of sausage meat] // Myasnoi ryad [Meat series], 2012. – № 3. – P.70. [in Russian]
3. Zabalueva Yu.Yu., Kolesnikova N.V., Choibonova L.G. Ispol'zovanie belkovo-zhirovoy emul'sii pri proizvodstve polufabrikatov v testovoi obolochke [The use of protein-fat emulsion in the manufacture of semi-finished products in the test shell] // Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]. – 2010. – № 7. – P. 16-17. [in Russian]
4. Bazhenova B.A., Kolesnikova I.S., Badmaeva T.M., Danilov M.B. Belkovo-zhirovaya emul'siya s lamifarenom dlya myasnykh produktov [Protein and fat emulsion Lamifaren for meat products] // Myasnaya industriya [Meat Industry]. – 2011. – № 4. – P.68-72. [in Russian]
5. Danilov M.B., Kolesnikova N.V., Zabalueva Yu.Yu., Ivanov A.Yu. Innovatsionnaya tekhnologiya pererabotki molok lososevykh ryb [The innovative technology of salmon milt] // Vestnik VSGUTU [Bulluten of VSGUTU]. – 2014. – № 1. – P. 103-109. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.223

Вагарина Н.С.¹, Мельникова Н.И.², Маринин Д.С.³¹Кандидат физико-математических наук,²доктор социологических наук, ³магистрант,

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

**РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ДАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ
В ФОРМАТЕ FOAF****Аннотация**

На настоящий момент социальные сети являются «венцом эволюции» современного веба. Поэтому чрезвычайно важно иметь стандартную модель представления данных, позволяющую легко производить процедуры обмена, взаимодействия, преобразования и анализа данных из социальных сетей, а также обработку запросов к данным. Одним из возможных вариантов такой модели на настоящий момент представляется модель описания связанных данных RDF (Resource Description Framework), которая позволяет использовать технологию Семантического веба для интерпретации информации, представленной в вебе. Наиболее серьезным препятствием к развитию идей семантического веба, а также внедрением их в коммерческую область, является сложность создания семантической разметки уже существующей информации. В данной статье предлагается подход к автоматической генерации семантической информации в формате словаря FOAF из социальной сети ВКонтакте для последующего объединения и анализа данных.

Ключевые слова: социальные сети, семантика, RDF, FOAF.

Vagarina N.S.¹, Melnikova N.I.², Marinin D.S.³¹PhD in Physics and Mathematics, ²PhD in Sociology,³postgraduate student, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov**DEVELOPING APPLICATIONS FOR STRUCTURING DATA OF SOCIAL NETWORKS INTO A FOAF
FORMAT****Abstract**

Nowadays, social networks are "the crown of evolution" of the modern web. It is therefore extremely important to have a standard model of reporting, which would enable easy exchange procedures, interaction, transformation and analysis of data from social networks, as well as the processing of requests for data. One of the possible options of this model at the moment seems to be the model associated RDF data (Resource Description Framework), which allows the Semantic Web technology to interpret the information provided on the web. The most serious obstacle to the development of the ideas of the Semantic Web, as well as the introduction of the commercial area, is the difficulty of creating a semantic markup of existing information. This article proposes an approach of automatic generation of semantic information in the FOAF vocabulary format from the social network VKontakte to merge and analyze data in future.

Keywords: social network, semantics, RDF, FOAF.

В настоящее время объем информации в вебе таков, что эффективный поиск и обработка ее становятся все более затруднительными. В связи с этим делаются попытки поиска новых методов и подходов к созданию, предоставлению и обработке информации. Один из основных подходов на настоящий момент для решения этой задачи является применение технологий семантического веба (semantic web). Концепция семантического веба была принята и продвигается Консорциумом W3C, разрабатывающим и внедряющим технологические стандарты для сети Интернет. Основным результатом по продвижению идеи семантического веба является стандартизация ключевой технологии семантического описания ресурсов RDF (Resource Description Framework). Абстрактно, RDF представляет собой неотсортированную коллекцию утверждений, которые называются триплеты. Триплет, в свою очередь, представляет собой модель «субъект – предикат – объект». Субъект представляет собой сущность, которую необходимо описать, предикат является свойством субъекта, а объект определяет значение этого свойства. В качестве примера можно привести кодировку утверждения «Металлическая кружка». Здесь объект – кружка, предикат – материал, объект – металл. Триплеты могут быть сериализованы по-разному. Способ их сериализации называется диалектом (или нотацией). Самыми распространенными диалектами являются RDF/XML, Turtle, Notation3 и N-Triples, причем только RDF/XML является стандартом, официально поддерживаемым консорциумом W3C.

Наиболее серьезным препятствием к развитию идей семантического веба, а также внедрению их в коммерческую область, является сложность создания семантической разметки уже существующей информации. Поэтому, в настоящее время одним из перспективных направлений исследований в этой области является создание программных продуктов, генерирующих семантические форматы данных из уже существующих [1], автоматическое создание онтологий [2,3] и др.

Поскольку семантическая модель RDF[4] описывает данные в виде графа, представляется актуальным создание инструмента визуализации графов для последующего экспорта данных в формат RDF, позволяющего в простой и наглядной форме создавать визуальную информацию о взаимосвязях в виде графа, а также переводить эту информацию в формат RDF, изучать и сравнивать различные связи в графах, строить соответствующие RDF-нотации в формате FOAF. FOAF (Friend of a Friend) является проектом семантического веба по созданию модели машинно-читаемых домашних страниц и социальных сетей [5]. Семантический анализ социальных сервисов имеет большое значение для научного сообщества. Ученые используют социальные сервисы в целях так называемой открытой науки для обращения к широкой аудитории и для профессионального взаимодействия. Научные социальные сетевые сервисы обнажили глобальные процессы социальной дифференциации и интеграции научного сообщества. Они автономный от авторов механизм накопления и публикации их научного социального капитала, показали дифференциацию ученых и циркулирующих информационных потоков в научном мире, а также предложили новые

возможности интеграции учёных для совместной творческой деятельности [6]. Проект основан на использовании словаря FOAF, определяющего некоторые выражения, используемые в высказываниях о людях.

С целью эффективности разработки приложения визуализации данных были рассмотрены и проанализированы уже существующие аналогичные программные продукты для социальных сетей и результаты анализа представлены в таблице 1, в которой отображены все плюсы и минусы по представленным характеристикам:

Таблица 1 – Сравнительный анализ приложений визуализации графов

	Интуитивный интерфейс	Простота в работе	Просмотр друзей своего круга друзей и следующие уровни	Экспорт в RDF – формат
Gephi	-	-	-	-
Friend Wheel	+	+	-	-
YASIV VK	+	+	-	-
YASIV FACEBOOK	+	+	-	-
Интерактивный граф друзей	+	+	-	-
VK FRIENDS	+	+	+	+

Рассмотрев самые популярные сервисы для обработки и визуализации социального графа, можно сделать следующие выводы. Сервисов для визуализации и обработки данных графов социальных сетей мало, так как данная сфера имеет узкую направленность. Существующие сервисы имеют достаточно хороший функционал и оптимизированы для работы с большими данными. Но у каждого сервиса есть и отрицательные стороны. На сегодняшний день не существует стандарта, по которому строилась бы иерархия сервиса и имелась возможность его использования в новых проектах. Все рассмотренные сервисы либо имеют документацию на английском языке, либо не имеют её вовсе. Все рассмотренные сервисы направлены на визуализацию данных и построение графа друзей, но нет возможности экспорта данных в форматы семантического веба. Исходя из вышеперечисленного, представляется целесообразным создание нового приложения “VK Friends” для более глубокого анализа взаимосвязей профиля в социальной сети. Основной функционал приложения состоит из двух частей. Первая часть заключается в построении графа связей, вторая – в экспорте полученных данных в RDF-формат (нотация RDF/XML).

Для разработки приложения визуализации социального графа и экспорта дружеских связей в RDF-формат необходимо было принять решение о выборе языка программирования, IDE, необходимых библиотек и др. В качестве языка разработки был выбран Python в силу таких преимуществ, как лаконичность синтаксиса, кроссплатформенность кода, большое количество библиотек, в том числе для визуализации любого вида данных, автоматическая сборка мусора и отсутствие утечки памяти, динамическая типизация данных и др. В качестве IDE была выбрана среда Geany по таким причинам, как стабильная работа IDE на любой системе, понятный интерфейс и возможность вывода вспомогательных модулей, быстрая настройка компиляции, отладчика, удобная навигация по файлам и классам и др. Для реализации приложения были выбраны библиотеки: Tkinter – кроссплатформенная библиотека визуализации пользовательского интерфейса; PIL – библиотека для обработки изображений; Urllib – стандартная библиотека, позволяющая исполняемой программе получать доступ к объектам WWW; NetworkX – библиотека, позволяющая вести обработку графов; Matplotlib – библиотека с дополнительным набором инструментов для построения графиков, диаграмм данных; Vk – библиотека, ориентированная на генерацию запросов и обработку ответов сервиса api.vk.com.

При тестировании созданного приложения было выявлено следующее. Программа оптимизирована на визуализацию крупных графов. При работе с 25 000 вершинами потребление памяти не превышало 150 – 180 Мегабайт. Пиковая нагрузка на оперативную память возникала при визуализации графа. Потребление оперативной памяти доходило до 1,1 Гигабайта оперативной памяти. После чего шла очистка от лишних данных, что давало существенную очистку памяти. При построении графа загрузка процессора не выходила за пределы 25%. Время визуализации графа и экспорта данных в формат RDF с количеством в 150 вершин занимает 45 секунд.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты работы программы:

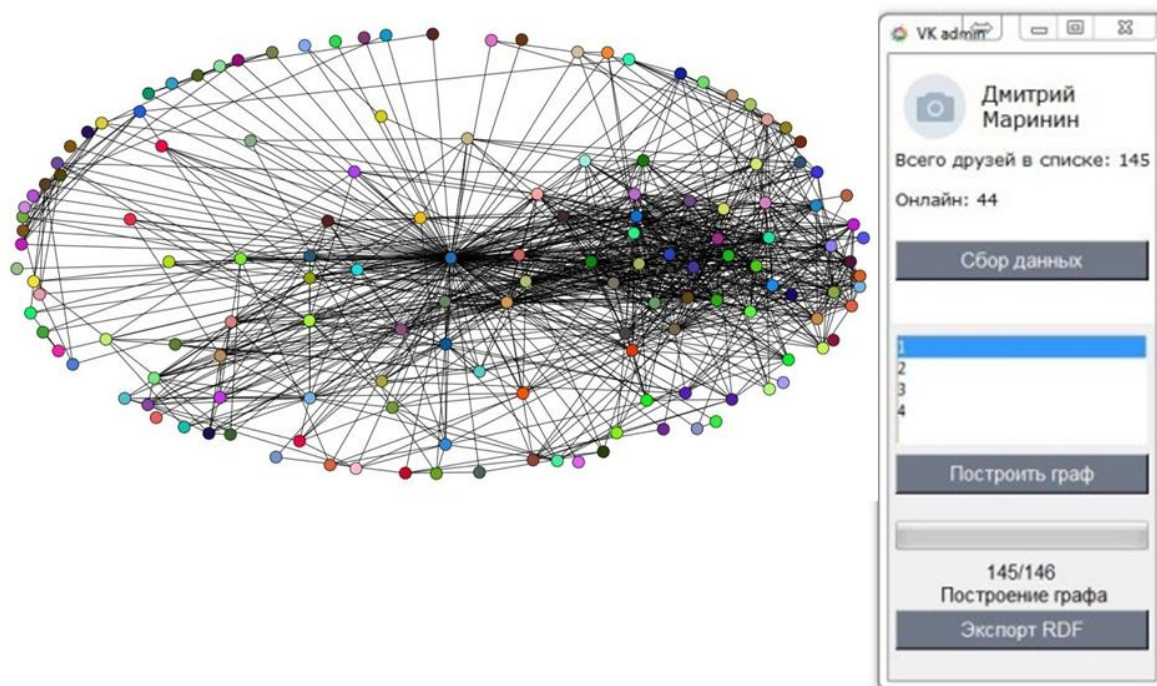


Рис. 1 – Построенный граф дружеских связей аккаунта

```

<rdf:RDF>
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:foaf="http://xmlns.com/foaf/0.1/"
  <foaf:Person>
    <foaf:firstName>Александр</foaf:firstName>
    <foaf:surname>Тучин</foaf:surname>
    <foaf:knows>
      <foaf:img>http://cs604526.vk.me/v604526440/1d1e/2IP668hwjJw.jpg</foaf:img>
      <foaf:Person>
        <foaf:firstName>Илья</foaf:firstName>
        <foaf:surname>Мильшин</foaf:surname>
        <foaf:img>http://cs604516.vk.me/v604516062/1614/CthZbYCECA8.jpg</foaf:img>
      </foaf:Person>
    </foaf:knows>
    <foaf:Person>
      <foaf:firstName>Миша</foaf:firstName>
      <foaf:surname>Терновский</foaf:surname>
      <foaf:img>http://cs628526.vk.me/v628526761/44fc9/7reuADxAkh8.jpg</foaf:img>
    </foaf:Person>
    </foaf:knows>
    <foaf:Person>
      <foaf:firstName>Алина</foaf:firstName>
      <foaf:surname>Мейко</foaf:surname>
      <foaf:img>http://cs633128.vk.me/v633128013/edcf/fm8GaiPCT1I.jpg</foaf:img>
    </foaf:Person>
    </foaf:knows>
  </foaf:Person>

```

Рис. 2 – Фрагмент данных, экспортированных в формат RDF/XML

Таким образом, созданное приложение является одним из шагов на пути решения задачи автоматизации создания данных в формате RDF/XML. К полученным данным, после размещения их, например, в репозитории, можно подавать запросы на языке запросов SPARQL, а также размещать их как связанные открытые данные в облаке открытых данных, тем самым обеспечивая возможность расширения сети FOAF за счет автоматического установления связей через семантические словари. Дальнейшее развитие проекта предполагает выявление пересекающихся сообществ, в том числе научных, в различных социальных сетях, с учетом особенностей стратификации общества.

Список литературы/ References

1. Вагарина Н. С. Разработка библиотеки для генерации семантических данных / Н. С. Вагарина, М. Ю. Апсаликов // Наука, техника и образование. – Москва, 2015. – № 10 (16). – С. 31–35.
2. Романов С. В. О возможностях использования коммуникативных грамматик и LSPL-шаблонов для автоматического построения онтологий / С. В. Романов, А. А. Сытник, Т.Э. Шульга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 17. – №2(5). – 2015. – С. 1104-1108.

3. Данилов Н. А. О разработке онтологии предметной области «Юзабилити» / Н. А. Данилов, Т. Э. Шульга // Инжиниринг предприятий и управление знаниями: сборник научных трудов XIX научно-практической конференции. - Москва : ФГБОУ ВО "РЭУ им. Г. В. Плеханова", 2016. – С. 245–249.

4. RDF 1.1 XML Syntax [Электронный ресурс]/W3C Recommendation. – Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/rdf-syntax-grammar/> (дата обращения 25.09.2016)

5. FOAF Vocabulary Specification 0.99: <http://xmlns.com/foaf/spec/> [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xmlns.com/foaf/spec/> (дата обращения 21.09.2016).

6. Мельникова Н. И. Научные социальные сетевые сервисы как средство дифференциации и интеграции научного сообщества / Н. И. Мельникова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – Т. 1. – № 1. – 2013. С. 255-260.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vagarina N. S. Razrabotka biblioteki dlja generacii semanticheskikh dannyh [Development library to generate semantic data] // Nauka, tehnika i obrazovanie [Science, technology and education] / N. S. Vagarina, M. Ju. Apsalikov. – М., 2015. – № 10 (16). – P. 31–35. [in Russian]

2. Romanov S. V. O vozmozhnostjakh ispol'zovanija kommunikativnyh grammatik i LSPL-shablonov dlja avtomaticheskogo postroenija ontologij [On the possibilities of the use of communicative grammar and LSPL-templates for automatic construction of ontologies] / S. V. Romanov, A. A. Sytnik, T. Je. Shul'ga // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. – V. 17. – №2(5). – 2015. – P. 1104-1108. [in Russian]

3. Danilov N. A. O razrabotke ontologii predmetnoj oblasti «Juzabiliti» [On the development of the subject area "Usability" ontology] / N. A. Danilov, T. Je. Shul'ga // Inzhiniring predpriyatij i upravlenie znanijami: sbornik nauchnyh trudov XIX nauchno-prakticheskoj konferencii [Engineering enterprises and knowledge management: Proceedings XIX scientific-practical conference]. – М. : ФГБОУ ВО "РЭУ им. Г. В. Плеханова", 2016. – P. 245–249. [in Russian]

4. RDF 1.1 XML Syntax [Electronic resource]/W3C Recommendation. – URL: <http://www.w3.org/TR/rdf-syntax-grammar/> (accessed 25.09.2016)

5. FOAF Vocabulary Specification 0.99: <http://xmlns.com/foaf/spec/> [Electronic resource]. – URL: <http://xmlns.com/foaf/spec/> (accessed 21.09.2016).

6. Mel'nikova N. I. Nauchnye social'nye setevye servisy kak sredstvo differenciacii i integracii nauchnogo soobshhestva [Scientific social media as a means of differentiation and integration of the scientific community] / N. I. Mel'nikova // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of Saratov State Technical University]. – V. 1. – № 1. – 2013. – P. 255-260. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.108

Вагнер А.В.¹, Вагнер В.И.², Тропченко А.А.³

¹ORCID: 0000-0003-1757-3887, Студент, ²ORCID: 0000-0001-5566-2421, студент,

³ORCID: 0000-0001-9812-7947, Доцент, Университет ИТМО

СПОСОБЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ДАННЫХ

Аннотация

Предложены способы параметризации и классификации движения при анализе видеопоследовательностей на основе метода фазовой корреляции и анализе оптического потока. Описаны методы, с помощью которых можно параметризовать движение в кадре, определять направление движения объектов в сцене и определять используемые при съемке кинематографические приемы. Приведены результаты и анализ работы предложенных методов. Предложенные методы основаны на алгоритмах, которые можно найти в пакетах компьютерного зрения с открытым исходным кодом.

Ключевые слова: параметризация движения, оптический поток, компьютерное зрение, 4D.

Vagner A.V.¹, Vagner V.I.², Tropchenko A.A.³

¹ORCID: 0000-0003-1757-3887, Student, ²ORCID: 0000-0001-5566-2421, student,

³ORCID: 0000-0001-9812-7947, Associate professor, ITMO University

MOTION PARAMETRIZATION METHODS IN MULTIMEDIA PROCESSING SYSTEMS

Abstract

The methods of parameterization and classification of motion for analysis of video sequences based on phase correlation method and analysis of optical flow are shown. Described the methods by which you can parameterize the movement in the frame, to determine the direction of movement of objects in the scene and determine the used cinematographic techniques. Shown results and analysis of the proposed methods. The proposed methods are based on algorithms that can be found in open source packages of computer vision.

Keywords: motion parameterization, optical flow, computer vision, 4D.

В последнее время заметна растущая популярность систем виртуальной реальности и глубокого погружения. Однако зачастую единственным источником информации является видеопоследовательность. Поэтому очень остро встает потребность в извлечении дополнительной информации из видео. Важной составляющей этой информации может стать информация о глобальном движении, перемещении объектов и определение кинематографических приемов.

Параметризовать видеопоследовательность предлагается по следующей схеме (рис 1.).

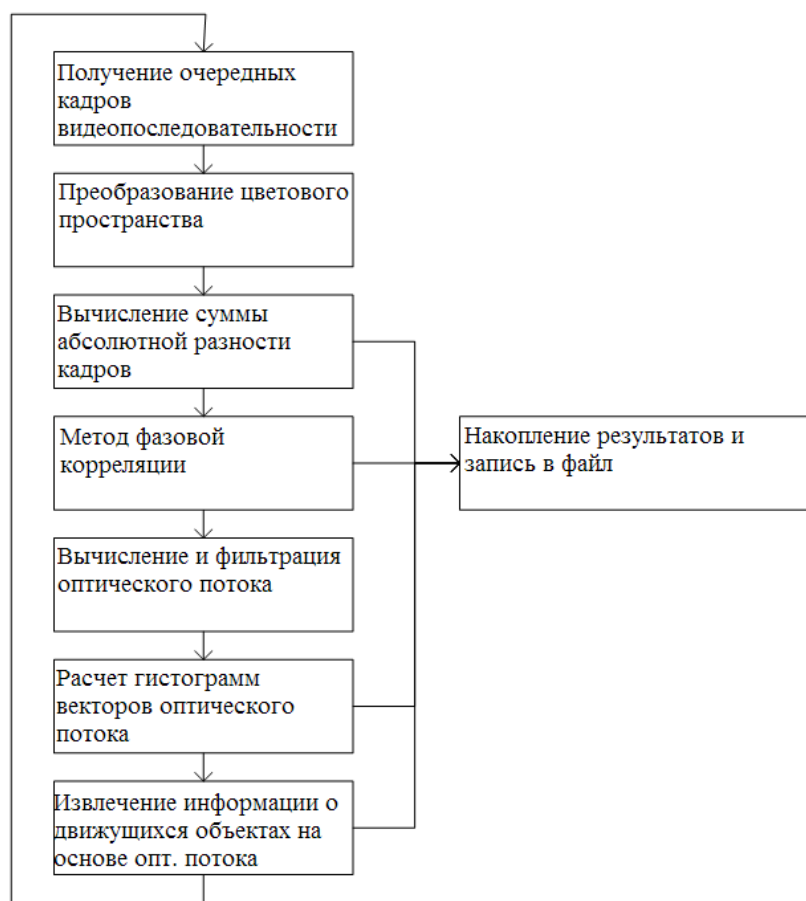


Рис. 1. – Алгоритм обработки видеопоследовательности модулем параметризации

На первом этапе получения извлекаются очередные кадры, причем желательно иметь настройку, какие по счету кадры обрабатывать (все, каждый второй, третий и т.д.). При кадровой частоте 30 кадров/сек рекомендуется обрабатывать каждый 5-10 кадр, чтобы различие между кадрами было достаточным и не избыточным для следующих шагов обработки.

На этапе преобразования цветового пространства происходит вычисление яркостной компоненты (Y) изображения кадра, которая может быть получена из трехкомпонентного (RGB) изображения следующим образом:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

На следующем этапе происходит вычисление суммы абсолютных разностей (SAD) выбранных на первом этапе последовательных кадров. Данная метрика очень полезна для определения смены сцен в видеопоследовательности.

Далее применяется метод фазовых корреляций, основанный на представлении модуля преобразования Фурье в логарифмически-полярных координатах, что позволяет извлечь рассогласование кадров по углу, смещению и масштабу.

Далее идет вычисление и фильтрация оптического потока. В библиотеках компьютерного зрения с открытым исходным кодом можно найти реализации следующих методов вычисления оптического потока:

- Блочный метод (BM)
- Быстрый блочный метод (Fast BM)
- Пирамидальный метод Лукаса-Канаде (Lucas-Kanade) [1]
- Метод Фернебака (Farneback) [2]
- Метод Брокса (Brox) [3]

Было проведено сравнения данных методов (рис. 2), по результатам которых можно сказать, что методы Lucas-Kanade, BM, FastBM дают неудовлетворительные результаты на мелкозернистых текстурах. Метод Farneback нечувствителен к изменениям таких текстур. Для дальнейшей обработки предпочтительным является метод Brox, т.к. найденный этим методом оптический поток не «зашумлен» ошибочными векторами, векторное поле является «сглаженным и равномерным» и данный метод чувствителен ко слабым изменениям в мелкозернистых текстурах. Для устранения возможных векторов-выбросов рекомендуется провести медианную фильтрацию векторного поля оптического потока по длине векторов.

Далее следует этап расчета гистограмм векторов оптического потока. Полное поле векторов оптического потока имеет избыточную информацию, неудобную для анализа и хранения, поэтому было принято решение хранить информацию о векторном поле в массиве гистограмм.

Суть метода заключается в разбиении векторного поля на равные прямоугольные части и нахождении гистограмм количества векторов и их суммарной длины по диапазону направлений.

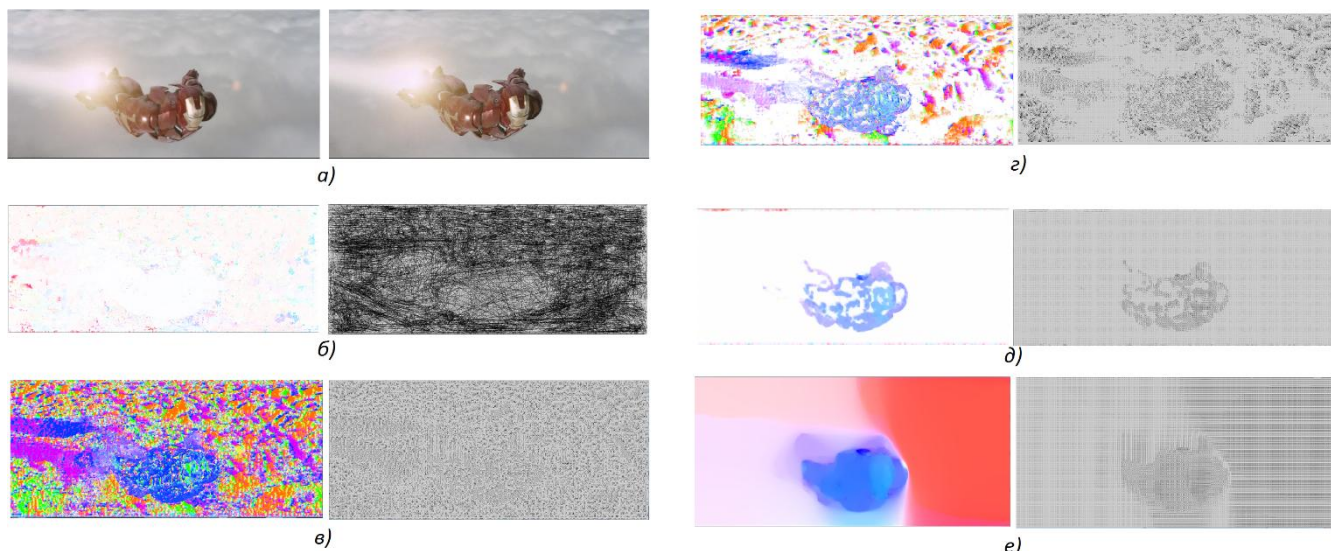


Рис. 2 – Сравнение результатов вычисления оптического потока. Исходные изображения(а). Результаты вычисления оптического потока методами: Lucas-Kanade (б), Fast BM(в), BM(г), Farneback(д), Brox(е)

Гистограммы состоят из столбцов, каждый из которых отражает количество или суммарную длину векторов, попавших в заданный диапазон значений направлений. Для удобства восприятия такие гистограммы показывают в виде векторов, исходящих из одной точки и имеющих направления, равные среднему значению диапазона направлений столбца и длины, пропорциональные столбцам.

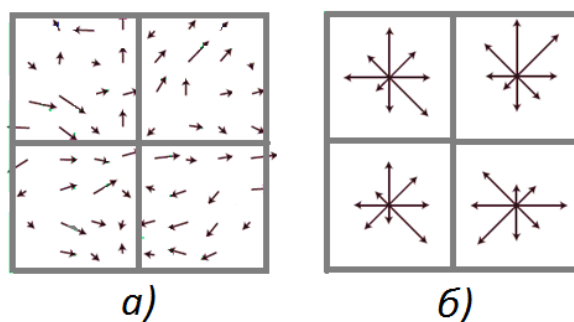


Рис. 3 – Пример представления гистограмм в виде векторов(б); поле, разбитое на 4 равные части(а)

Для более полного описания векторного поля на данном этапе рассчитывается пирамида гистограмм. Она представляет собой N массивов гистограмм, где N - количество уровней пирамиды. На каждом уровне векторное поле разбивается на n^2 блоков, где n – номер уровня.

Гистограммы описывают общую картину движения в кадре, поэтому было принято решение использовать их для сравнения с гистограммами из заранее заданных наборов (шаблонов), для которых уже заданы направления изменения величин вертикального и горизонтального смещения.

Набор таких гистограмм был составлен для описания самых распространённых кинематографических приемов съемки, таких как наезд (Dolly) и отъезд (Track) камеры, вращение камеры вдоль горизонтальной оси (Panning left/right), вертикальной оси (Tilt up/down), вокруг продольной оси по и против часовой стрелки (Clockwise/Counter clockwise rotation).

Так как для пары кадров рассчитывается пирамида гистограмм, то в шаблонах можно задавать как один набор гистограмм (один уровень пирамиды), так и несколько (но для описания каждого из приведенных выше приемов использовалось только по одному набору гистограмм).

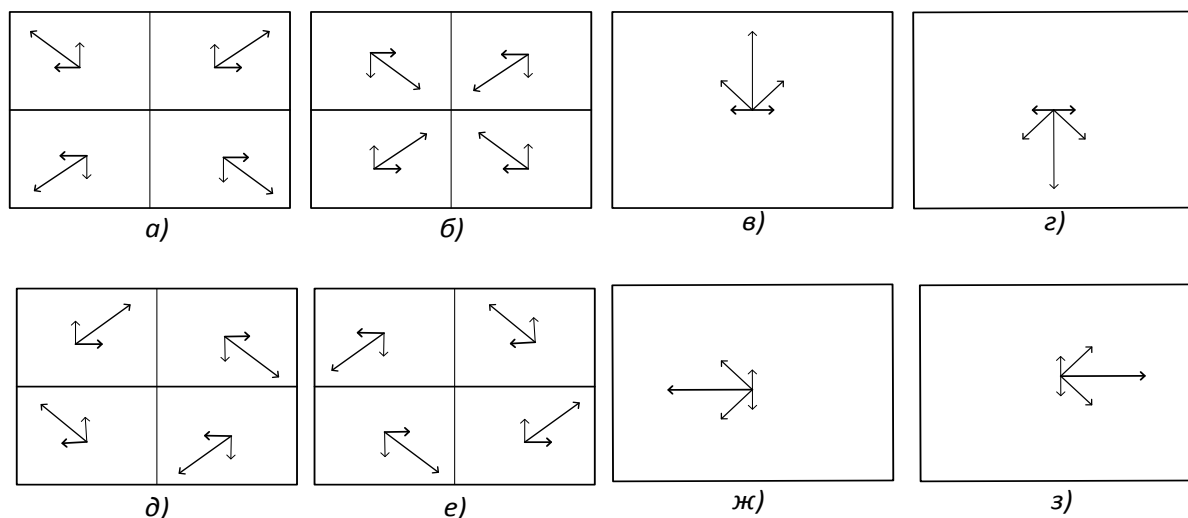


Рис 4. – Шаблоны для кинематографических приемов съемки: а – наезд, б – отъезд, в, г – вращение вдоль гор. Оси, д – вращ. По часовой стрелке, е – вращение против часовой стрелки, ж, з – вращение вдоль вертикальной оси

На следующем этапе происходит извлечение информации о движущихся объектах на основе оптического потока. Данный этап обработки состоит из нескольких последовательных шагов: пороговая фильтрация оптического потока, визуализация потока, выделение контуров, расчет параметров контуров. На первом шаге происходит пороговая фильтрация векторного поля по длине вектора.

На этапе визуализации оптического потока происходит представление векторного поля в цветовом пространстве[4]. Векторное поле представляется в виде цветного изображения, каждый пиксел которого обозначает вектор потока, где ориентация и величина вектора представлены в виде оттенка и насыщенности цвета пиксела

На следующем этапе происходит поиск контуров (например, детектор границ Кенни [5]). Во время расчета параметров контуров вычисляются наиболее важные характеристики, например, количество точек внутри контура, площадь, периметр, центр масс.

После обработки каждой пары кадров результаты метода фазовой корреляции, нахождения гистограмм, параметров контуров записываются в файл для последующей обработки.

Для оценки работы предложенного способа были проанализированы результаты обработки более 1500 пар кадров. При анализе результатов параметризации глобального движения методом фазовых корреляций были получены следующие результаты погрешностей (смещение находилось пределах 10% от размера исходного изображения, значение угла поворота может изменяться в пределах $\pm 30^\circ$, масштаба – в пределах 20%.): погрешность смещения – 0,2%, погрешность угла поворота – 3,1%, погрешность величины масштабирования – 4,3%.

Таблица 1 – Оценка определения кинематографических приемов методом анализа гистограмм оптического потока

Анализируемые видеопоследовательности, содержащие только один кин. прием	Шаблоны кинематографических приемов								
		D	Tr	PL	PR	TU	TD	CR	CCR
	D	0.78	0.08	0.02	0.03	0.11	0.09	0.12	0.13
	Tr	0.07	0.67	0.04	0.05	0.18	0.13	0.08	0.09
	PL	0.10	0.08	0.81	0.05	0.02	0.09	0.13	0.16
	PR	0.09	0.01	0.05	0.83	0.05	0.03	0.07	0.11
	TU	0.03	0.03	0.10	0.01	0.73	0.12	0.08	0.10
	TD	0.09	0.01	0.04	0.12	0.07	0.81	0.09	0.02
	CR	0.11	0.05	0.09	0.01	0.02	0.09	0.66	0.07
	CCR	0.07	0.03	0.12	0.08	0.01	0.03	0.11	0.88

Использование пирамиды гистограмм оптического потока подходит для сопоставления с заранее заданными шаблонами (сопоставление проводилось путем вычисления коэффициента пересечения гистограмм (Таблица 1). А метод параметризации движения объектов показывает приемлемые результаты при отсутствии глобального движения в кадре или при движении объектов в противоположных направлениях глобальному движению.

Список литературы / References

1. Jean-Yves Bouguet. Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm / J. Bouguet // Intel Corporation, Microprocessor Research Labs — 2000
2. Gunnar Farneback. Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion / G. Farneback // 13th Scandinavian Conference – Sweden — 2002 – p.363-370
3. Thomas Brox, Andres Bruhn, Nils Papenberg. High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Warping / T. Brox, A. Bruhn, N. Papenberg // European Conference on Computer Vision (ECCV) – Czech Republic – 2004 – Vol.3024 – p.25-36
4. Ce Liu, Jenny Yuen, Antonio Torralba. SIFT Flow: Dense Correspondence across Scenes and its Applications / C. Liu, J. Yuen, A. Torralba // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence – 2010 – Vol. 33(5) – p.4
5. Canny, J. A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence – 1986 – Vol.6 – p. 679.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.107

Вагнер В.И.¹, Вагнер А.В.², Тропченко А.А.³

¹ORCID: 0000-0001-5566-2421, Студент, ²ORCID: 0000-0003-1757-3887, студент,

³ORCID: 0000-0001-9812-7947, доцент, Университет ИТМО

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Аннотация

В работе предложена методика определения характера движения объектов, которая применима в задачах видеоаналитики. Такой подход позволяет детектировать движение и определять его скорость, в том числе при наличии шумов аппаратуры и в условиях различной освещенности. В работе поэтапно рассмотрен алгоритм действий, который включает в себя калибровку камеры, шумоподавление, распознавание движения, классификацию, трекинг и определение параметров и характера движения. Основное внимание уделяется методу определения скорости движения объектов в видеопотоке, поскольку по результатам работы этого алгоритма можно судить о характере движения объектов в кадре.

Ключевые слова: видеоаналитика, охранные системы, компьютерное зрение, трекинг.

Vagner V.I.¹, Vagner A.V.², Tropchenko A.A.³

¹ORCID: 0000-0001-5566-2421, Student, ²ORCID: 0000-0003-1757-3887, student,

³ORCID: 0000-0001-9812-7947, Associate professor, ITMO University

METHODS OF DEFINITION MOVEMENT CHARACTER OF OBJECTS IN VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS

Abstract

Method of determining objects' movement character that can be applied to video analytics is proposed. This approach allows detecting movement and determining its speed, including in the presence of camera's noise and with various lighting conditions. Algorithm consists of some steps, specifically of camera calibration, noise reduction, motion detection, classification, tracking and determination of parameters and motion's character. The focus is on the method of determining the speed of objects' movement in the video stream, because the results of this algorithm can define the character of the movement of objects in the frame.

Одной из наиболее актуальных задач обработки видеоизображений является распознавание движущихся объектов и создание систем мониторинга. Главная функция таких систем — информирование человека о ситуации, сложившейся в поле зрения камеры. Но большинство общедоступных систем имеют ограниченный функционал и не решают задачи видеоаналитики.

Были исследованы алгоритмы, которые могут быть применены при решении задач видеоаналитики в области охраны и обеспечения безопасности. В общем случае требования к алгоритмам, работающим в автоматизированных системах обнаружения движения, выглядят следующим образом:

- Низкая вычислительная сложность и обработка не менее 25 кадров видеопотока в секунду. Это самые важные характеристики, которые оцениваются в первую очередь при выборе методов;
- Устойчивая работа в любое время года и в разное время суток;
- Минимальное количество пропусков целевых объектов (например, таких, как человек движется в кадре, но ни он, ни его движение не распознано).
- Минимальное количество ложных срабатываний на шум аппаратуры;
- Минимальное количество срабатываний на объекты, не представляющие опасности для охраняемого объекта (качающиеся деревья, листва, и пр.);

Были использованы некоторые допущения, характерные для данной сферы: анализировались видеопоследовательности со статичной камеры, расположенной на высоте под углом к горизонту. Учитывалась траектория, динамика и скорость движения объектов на видео, а также объекты делились на целевые (люди) и

нецелевые (неопознанные объекты). Подразумевается, что программная реализация исследуемых методов может использоваться для дополнительного привлечения внимания оператора к событиям, происходящим в поле зрения камеры. Для целевых объектов определяется характер движения – идёт/бежит за счет классификации по скорости. К подозрительным событиям относится длительное нахождение целевых объектов в охраняемой зоне или «неподвижное» состояние (объект стоит на месте). Подзадачи, на которые разбивается определение параметров движения, представлены на рисунке 1.

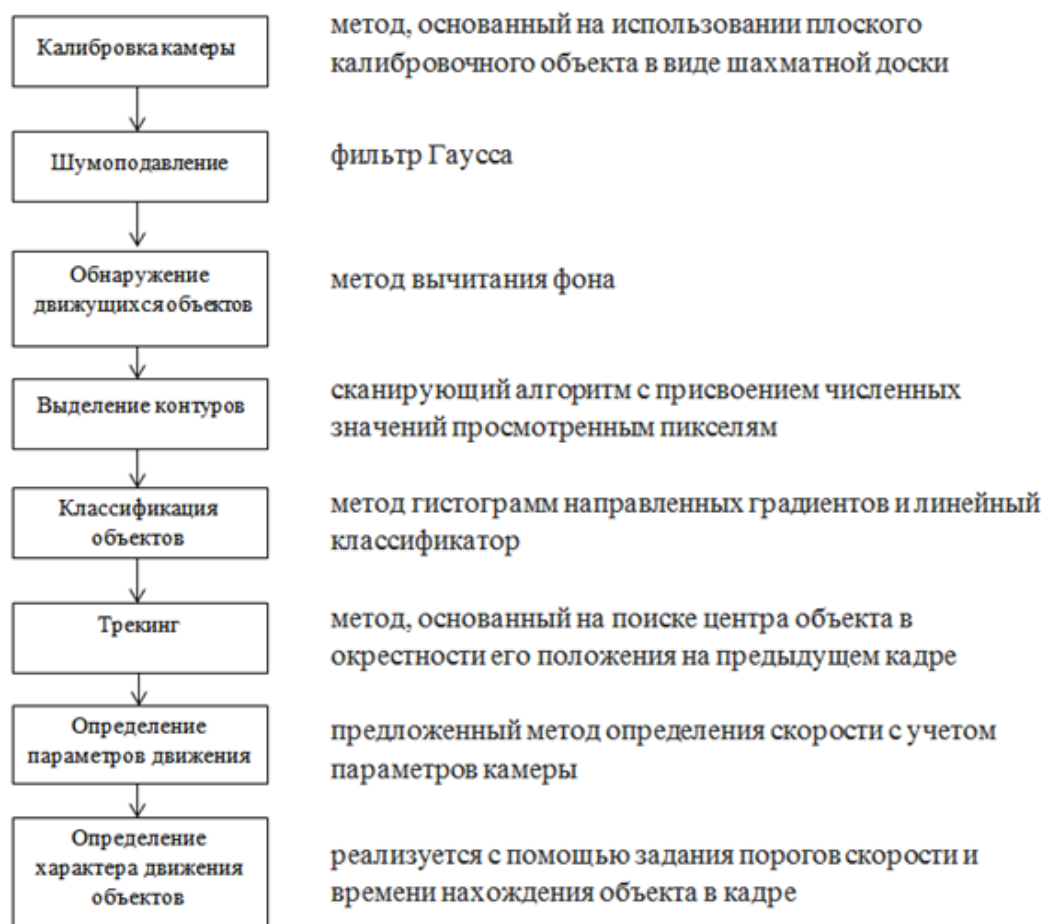


Рис. 1 – Используемые алгоритмы

Приведенные алгоритмы обеспечивают классификацию объектов и определение скорости их движения при различных условиях окружающей среды и минимальных затратах на оборудование.

Рассмотрим приведенные на рис.1 подзадачи подробнее. В первую очередь при работе с видео нужно производить калибровку камеры. Обработка изображений на данном этапе позволяет избавиться от искажений линз и относительного сдвига изображений. Существуют различные методы, решающие данную задачу, рекомендуется применять метод, основанный на использовании шахматной доски [1].

Следующий шаг - шумоподавление. Многие шумы можно приблизить моделью белого гауссовского шума, поэтому можно использовать фильтр Гаусса.

Для обнаружения движущихся объектов рекомендуется применять метод вычитания фона [2]. Для одноканального (в оттенках серого) изображения процедуру можно разбить на два этапа:

1. Вычитание фоновое изображения из текущего кадра видео. Данный шаг включает в себя попиксельное вычитание интенсивностей кадра видео и фоновое изображения.

2. Отбор пикселей, принадлежащих фону и объекту, – построение бинарного изображения. Считается, что пиксель принадлежит объекту и имеет белый цвет в бинарном изображении, если разность интенсивности фона и текущего кадра для данного пикселя превышает некоторое пороговое значение. Если на текущем кадре исследуемый объект темнее чем фон, то вычитание кадра из фона не приведет к корректным результатам, и наоборот, если объект текущего кадра светлее этой же области фоновое кадра, вычитание фона из текущего кадра даст неверные результаты. Поскольку используется яркостная компонента, результатом разности изображений будут белые (для движущихся объектов) и серые (для теней) пиксели, если задать для них пороговые значения (рис. 2а), иначе тень сольётся с объектом и площадь им занимаемая будет гораздо больше реальной (рис. 2б). На данном этапе необходимо также провести фильтрацию (использовалась медианная фильтрация), чтобы убрать шумы - единичные белые пиксели (рис. 2в). Так как для описанных выше задач информативными являются только объекты, дальнейшими пороговыми преобразованиями отсекаем тени (рис. 2г).

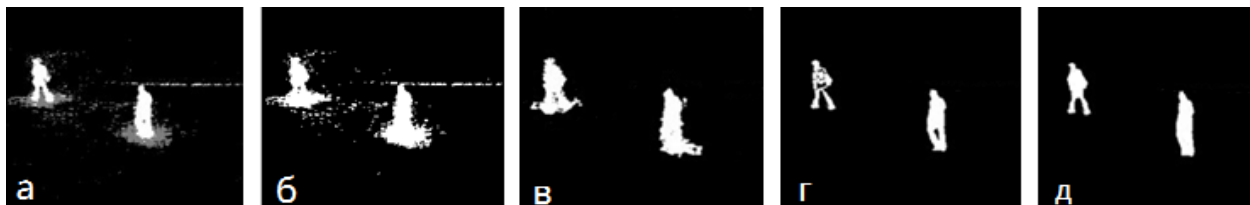


Рис. 2 – Последовательность операций для выделения движущегося объекта на видео

Чтобы исключить внутренние пробелы в приведенном выше изображении (рис. 2г), используется операция морфологического замыкания. В результате операции получается замкнутое черно-белое изображение, определяющее положение человека в исследуемой области (рис. 2д).

Далее необходимо выделить контур движущегося объекта, чтобы впоследствии с ним работать. Предлагается использование сканирующего алгоритма [3].

В задачах, связанных с распознаванием людей, чаще всего используется метод гистограмм направленных градиентов HOG [4]. Идея этого подхода в том, что форма и вид объектов на изображении хорошо описываются распределением относительных величин градиентов функции интенсивности, характеризующих направление границ объектов. В качестве алгоритма машинного обучения используется линейный метод опорных векторов (Linear SVM).

Следующий этап - трекинг выделенных объектов. Алгоритм сопровождения обеспечивает построение траектории движения целевых объектов. Трекинг объектов производится путем последовательного анализа кадров видеопотока. Для каждого объекта определяется точка, идентифицирующая объект, которая, как правило, представляет собой центр массы объекта. Полученные центроиды текущего кадра сравниваются с центроидами предыдущих кадров, и устанавливается их соответствие путем проверки расстояний между ними. Центроид не может принадлежать двум трекам, поскольку мера близости при проверке соответствия текущей точки треку много меньше размера объектов, а пересечение объектов невозможно ввиду особенности расположения камеры. Было решено строить трек не от центра масс объекта, а от центра нижней грани прямоугольника, обрамляющего область движения - то есть движущийся объект. Такое решение обусловлено тем, что для дальнейших расчетов необходимо знать положение объекта на поверхности земли.

Задача определения параметров движения сводится к определению скорости, поскольку на следующем шаге её можно использовать для оценки характера движения объектов. Для того чтобы определять скорость, необходимо координаты изображения соотнести с координатами в пространстве. Был предложен метод, который позволяет определить скорость, если известны параметры камеры: горизонтальный и вертикальный углы обзора, угол наклона к горизонту, а также высота установки камеры (рис.1).

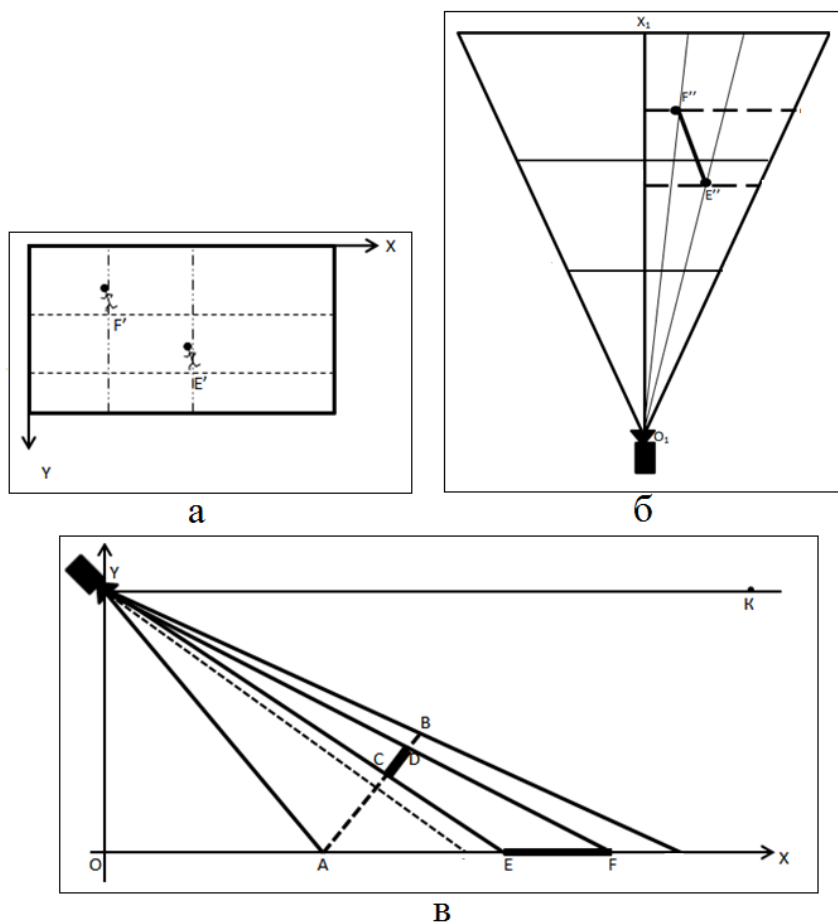


Рис. 3 – Экран (а), вид сверху (б), вид справа (в)

Таблица 1 – Измерения в вертикальной плоскости

Измерение	Описание измерения
OY	h-высота установки камеры
YN	главная оптическая ось линзы камеры
YA	нижняя граница обзора камеры (bottom line),
YG	верхняя граница обзора камеры (top line)
AB	плоскость «экран» (screen line),
AG	поле видимости камеры
CD	местоположения предмета на «экране»,
EF	проекция местоположений предмета на «экране»
OA	«мертвая зона»
$\angle NYK$	α -угол наклона к горизонту
$\angle AYG$	β -вертикальный угол обзора

$$\angle YNG = \alpha + 0.5\beta$$

$$\text{Уравнение прямой YA: } y = x * \tan(180 - (\alpha + 0.5\beta)) + h$$

$$\text{Уравнение прямой YG: } y = x * \tan(180 - (\alpha - 0.5\beta)) + h$$

Система уравнений для нахождения координат точки В:
$$\begin{cases} x^2 + (y - h)^2 = YA^2 \\ x * \tan(180 - (\alpha - 0.5\beta)) + h \end{cases}, \quad \text{где } YA = \sin(90 - \alpha + 0.5\beta)$$

Экран представлен в виде плоскости, изображенной на рисунке 3а.

Зная положение объекта на экране (в пикселях), находим его соотношение с высотой экрана h_m : $K1 = F'_y/h_m$, где F'_x -координата Y точки F'. Аналогично для точки E': $K2 = E'_y/h_m$. Используя эти коэффициенты находим точки С и D, а затем с помощью уравнений прямых YC и YD при пересечении с осью OX находим реальное перемещение объекта в данной проекции в метрах (рис. 3в). Подобным образом находим соотношение координат на экране и в горизонтальной плоскости (рис.3б), а затем и перемещение реального объекта по горизонтали. $\angle GOG_1$ - $\angle \gamma$ -горизонтальный угол обзора камеры.

Тематика данной работы подразумевает, что объектами видеонаблюдения в большинстве случаев являются люди. С точки зрения ситуаций, которые могут быть важными для оператора камеры видеонаблюдения, можно выделить следующие события: человек бежит или идет, стоит или долго находится в области интересов (рис.4). Кроме того, для задач, где целевыми объектами являются автомобили, можно, например, определять, движется автомобиль с допустимой скоростью или же превышает ее.



Рис. 4 – Пример определения характера движения объектов

Оценка результатов работы метода определения скорости проведена путем вычисления погрешности вычисленных значений расстояния относительно реальных значений (рис. 5). Оценка результатов работы метода классификации произведена путем подсчета количества правильно распознанных объектов и количества ложных срабатываний.

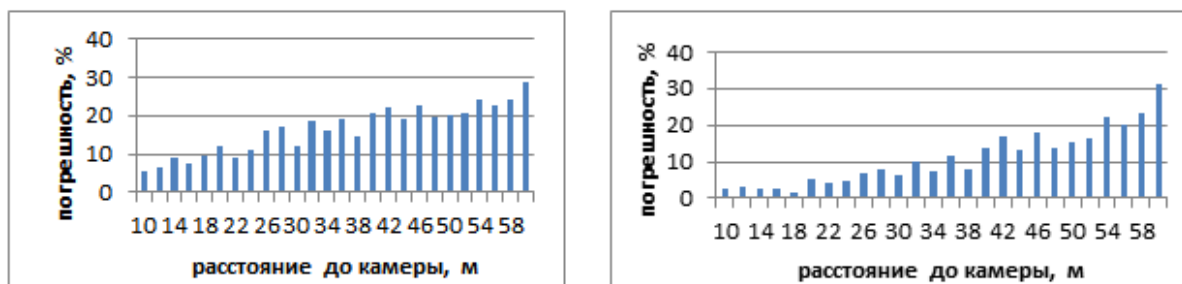


Рис. 5 – а – погрешность измерения расстояния, б – погрешность измерения скорости

Тестирование проводилось на видеопоследовательностях в различных условиях освещенности на улице и в помещении. Результаты тестирования показали, что в 95% случаев описанная комбинация алгоритмов работает правильно.

Список литературы / References

1. Козырева А.В. О некоторых способах калибровки видеокамеры / А.В. Козырева // Конструирование и оптимизация программ. – 2006. – №13 – С. 132-141.
2. Кустикова В. Д. Методы и алгоритмы анализа траекторий движения при решении задачи видеодетектирования транспортных средств. : дис. ... канд. тех. наук : 29.04.15 : защищена 11.06.15 / Кустикова Валентина Дмитриевна. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2015. –133 с.
3. CV Выделение и описание контуров [электронный ресурс]. – URL: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Выделение_и_описание_контуров (дата обращения: 15.01.16)
4. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection / N. Dalal, Triggs B. // CVPR '05 Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) – 2005. – Volume 1 – Volume 01 – P. 886-893.
5. Довлад В.И. Определение характера движения объектов при решении задач видеоаналитики / В. И. Довлад // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ бакалавров Университета ИТМО – 2015. – С. 124-126.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kozyreva A.V. O nekotorykh sposobakh kalibrovki kamery [Some methods for calibrating a camera] / A.V. Kozyreva // Konstruirovaniye I optimizaciya programm [Design and optimization programs]. – 2006. – №13 – P. 132-141. [in Russian]
2. Kustikova V.D. Metody I algoritmy analiza traektoriy dvizheniya pri reshenii zadachi videodetektirovaniya transportnyh sredstv [Methods and algorithms for the analysis of trajectories in solving the problem of video detection of vehicles]: dis. ... of PhD in Engineering : 29.04.15 : defense of the thesis 11.06.15 / Kustikova Valentina Dmitrievna. – Nizhny Novgorod: Lobachevsky University, 2015. –133 P. [in Russian]
3. CV Vydelenie i opisanie konturov [CV Isolation and description of contours] [electronic resource]. – URL: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Выделение_и_описание_контуров (reference date: 01.15.16) [in Russian]
4. Dovlad V. I. Opredelenie haraktera dvizheniya ob'ektov pri reshenii zadach videoanalitiki [Definition of movement character of objects in video analytics] / V. I. Dovlad // Annotirovannyj sbornik nauchno-issledovatel'skih vypusnykh kvalifikacionnyh rabot bakalavrov Universiteta ITMO [Annotated collection of research and development of final qualifying works of bachelors ITMO University] –2015. –P. 124-126. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.040

Вашук И.Н.¹, Яхницкий С.А.²¹ORCID: 0000-0003-2047-1910, Кандидат педагогических наук, ²ORCID: 0000-0002-4456-134X, студент,
Оренбургский государственный университет**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРСИНГА
ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ РАБОТЫ С ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРОЙ****Аннотация**

В статье рассмотрено – проектирование и разработка системы с использованием парсинга предложений для работы с иностранной литературой, что определяется необходимостью оптимизации процесса чтения и перевода англоязычной литературы. В настоящее время существует несколько отдельных систем, которые либо обладают узкой областью применения, либо являются профессиональными средствами с высокой стоимостью. Разрабатываемая система предполагает объединение ключевых особенностей существующих продуктов в единой системе, что позволит, систематизировано и эффективно читать и переводить англоязычную литературу, повышать навык владения английским языком.

Ключевые слова: автоматизация, обработка текстов, синтаксические деревья.

Vashchuk I.N.¹, Janicki S.A.²¹ORCID: 0000-0003-2047-1910, PhD in Pedagogy, ²ORCID: 0000-0002-4456-134X, student,
Orenburg state University**DESIGN AND DEVELOPMENT OF SYSTEM WITH THE USE OF PARSING SENTENCES TO WORK
WITH FOREIGN LITERATURE****Abstract**

In the article - the system design and development with parsing sentences to work with foreign literature, as determined by the need to optimize the reading and translation of English literature process. Currently, there are several separate systems that have a narrow field of application, either professional tools are of high value. The developed system involves pooling the key features of existing products in a single system that will allow, systematically and efficiently read and translate English-language literature, to improve English language skills.

Keywords: automation, word processing, syntactic trees.

В настоящее время в мире одним из важнейших ресурсов является информация, а крупнейшим её источником является всемирная сеть Интернет. Количество представленных сайтов в сети увеличилось с 10 миллионов в 2000 году до более чем одного миллиарда в 2014 году (по данным компании Netcraft). Их большую часть, а именно 55% (по данным сайта W3Techs.com) составляют сайты на английском языке. Этот факт указывает на необходимость знания английского языка для современного человека. Для людей, занимающихся научной деятельностью и/или программированием эта проблема ещё более актуальна, поскольку большинство научных статей международного уровня и большая часть пособий и документации по программированию издаются на английском языке.

Из всего вышеперечисленного следует, что необходимость оптимизации процесса чтения и перевода англоязычной литературы является актуальной проблемой. Поэтому основным процессом, требующим автоматизации явилась необходимость обработки текстов на естественных языках, грамматика которых не приспособлена для их полной автоматизированной обработки (рис. 1).

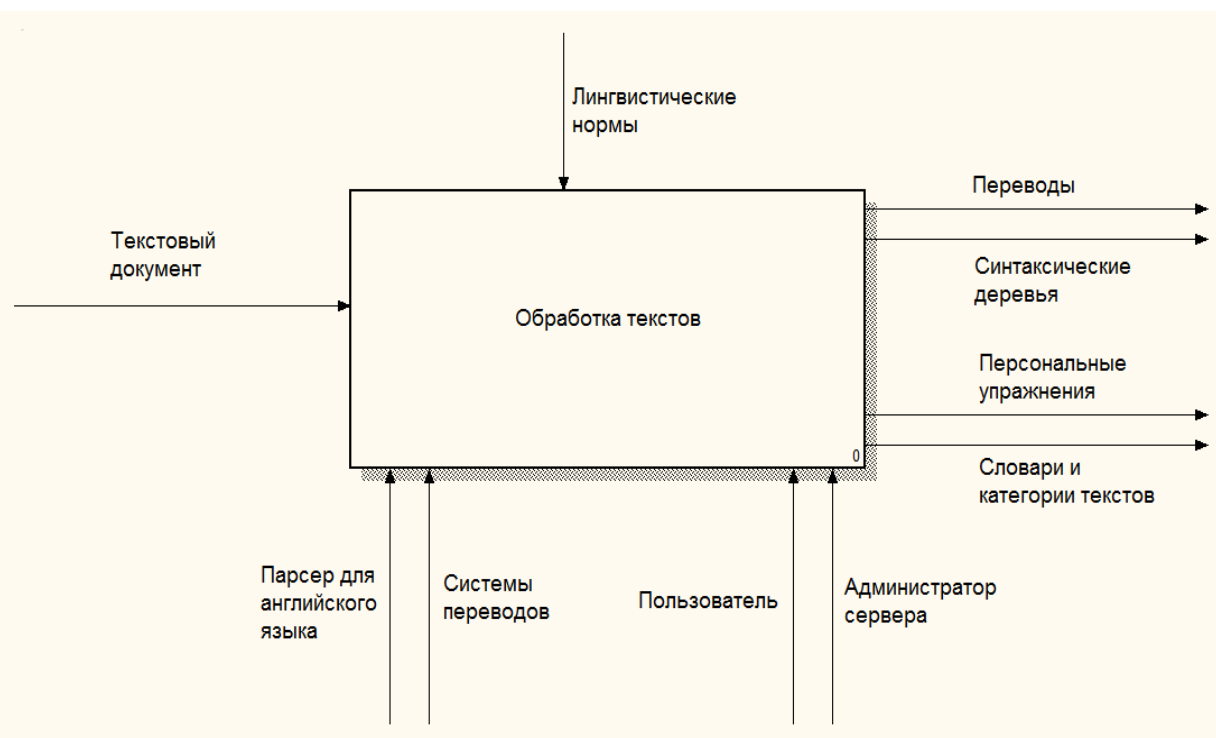


Рис. 1 – Функциональная модель работы программного средства

В настоящее время существует множество программных средств, предназначенных для различных аспектов работы с иностранной литературой. Но такое их разнообразие приводит к большим затратам времени для взаимодействия между ними. На рисунке 2 представлена процедура перевода текста. Хотя множество людей используют не все шаги и не в данной последовательности, схема довольно подробно покрывает данный процесс. На шагах 2, 4-8 используются различные программные средства.

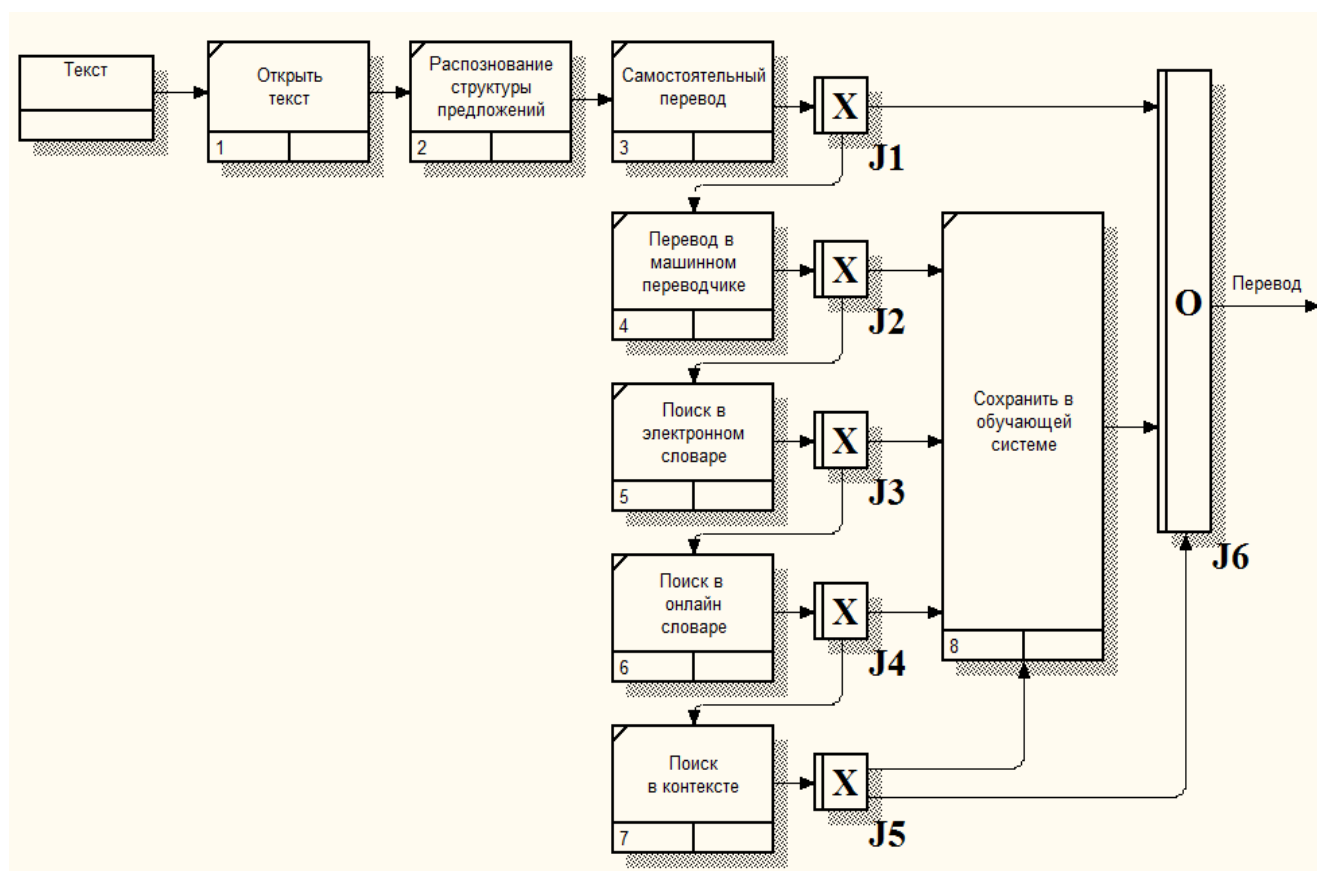


Рис. 2 – Процедура перевода текста

На данный момент существует множество средств, облегчающих работу переводчика. Одной из проблем при переводе является понимание грамматической структуры предложения. Одним из решений является использование парсера, который в удобной графической форме представляет грамматические связи в предложении.

Парсер естественного языка – это программа, которая выражает грамматическую структуру предложений, например, какие слова идут вместе (как «фразы») и какие слова являются предметом или субъектом глагола. Вероятностные парсеры используют знания языка, полученные из разобранных вручную предложений, для того чтобы получить наиболее вероятный анализ новых предложений. В таких парсерах всё ещё существует вероятность ошибки, но в общем случае качество анализа довольно высоко. Их разработка была одним из крупнейших прорывов в области обработки естественных языков в 1990-е годы.

Используемый парсер является реализацией вероятностного парсера естественного языка. Исходная версия данного парсера была преимущественно написана Дэном Клейном, с использованием кода и разработанной лингвистической грамматики Кристофера Маннинга.

Лексикализованный вероятностный парсер реализует факторизованную производную модель с отдельными анализаторами «PCFG» фразовой структуры и лексический зависимостей, которые совмещены для получения эффективного точного вывода с использованием A*-алгоритма.

Для графического вывода структуры предложений используется утилита «DependenSee», разработанная Аваисом Атаром.

Цель работы – создание программного средства в качестве основы для информационной системы, повышающей удобство и эффективность работы с иностранной литературой. Данная система будет объединять в себе преимущества следующих средств, используемых в процессе работы с иностранной литературой:

- ридер (электронная книга);
- парсер (структура предложений);
- электронный переводчик (механический);
- электронный словарь (фиксированный);
- онлайн словарь (пополняемый);
- поисковая система (похожие тексты);
- обучающая система (закрепление лексики).

При работе с программой все запросы на перевод пользователем сохраняются для формирования пользовательского словаря и дальнейшего использования в обучающей системе. Принцип формирования запросов на

перевод ориентирован на оптимизацию количества запросов к серверу, схема представлена на рисунке 3. Запрос происходит иерархически, и если лексема отсутствует на нижнем уровне, то она запрашивается на более высоком, а затем сохраняется на всех подуровнях. Если же запрошенный перевод найден не был, то корректность запроса проверяется специализированным алгоритмом или вручную администратором сервера.

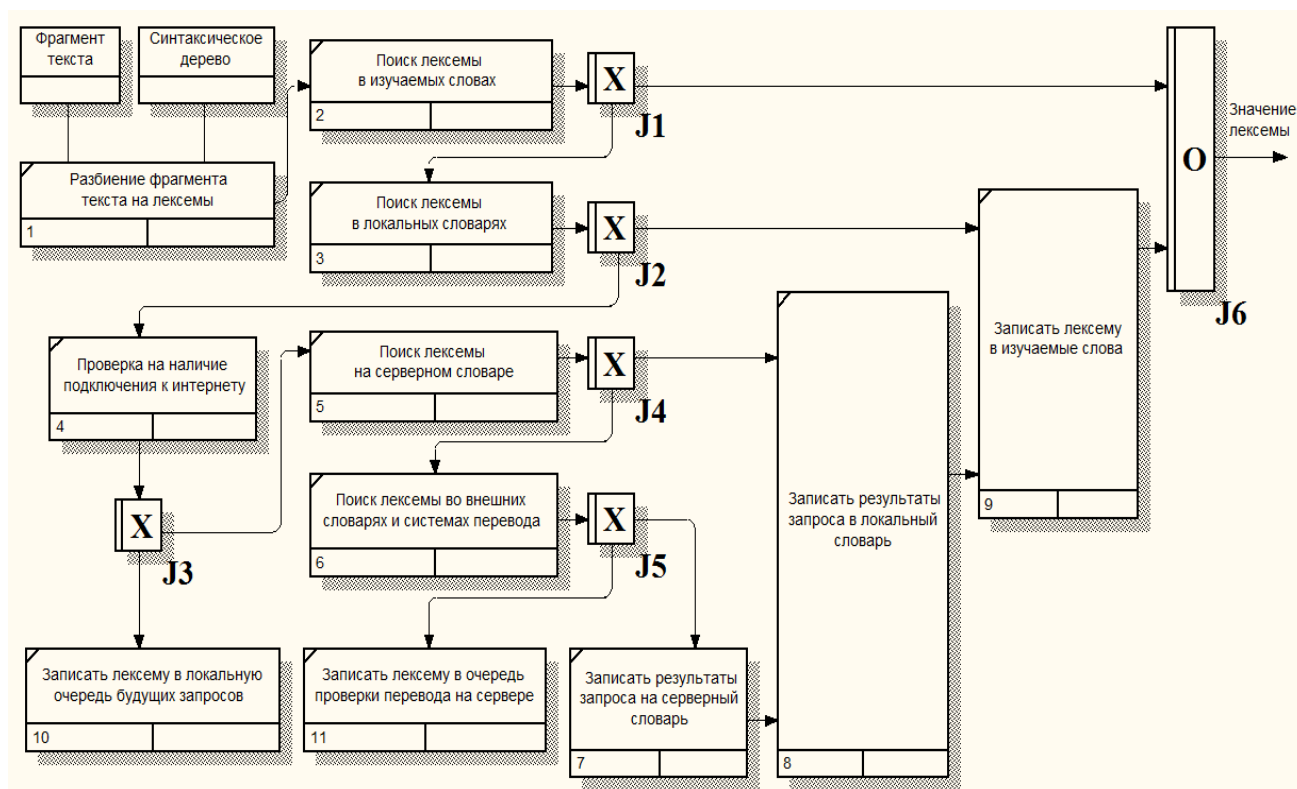


Рис. 3 – Алгоритм формирования запросов при переводе

Уникальной особенностью разрабатываемого приложения является использование парсера Стэнфордского университета для разбиения предложения на лексемы, распространяемого по свободной лицензии. Это позволит обеспечить перевод для произвольно выделенных фрагментов текста без утери их синтаксической структуры, что в свою очередь повышает качество перевода. Данная методика не автоматизирует процесс перевода, но способствует более глубокому пониманию структуры предложения пользователем. Общая схема модуля перевода теста представлена на рисунке 4.

Разрабатываемое программное средство является только основой для информационной системы работы с иностранной литературой, но планируется внедрение методов кластерного анализа для категоризации и поиска похожих текстов и обучающей системы в качестве модулей, что также является уникальной идеей, применительно к данной информационной системе.

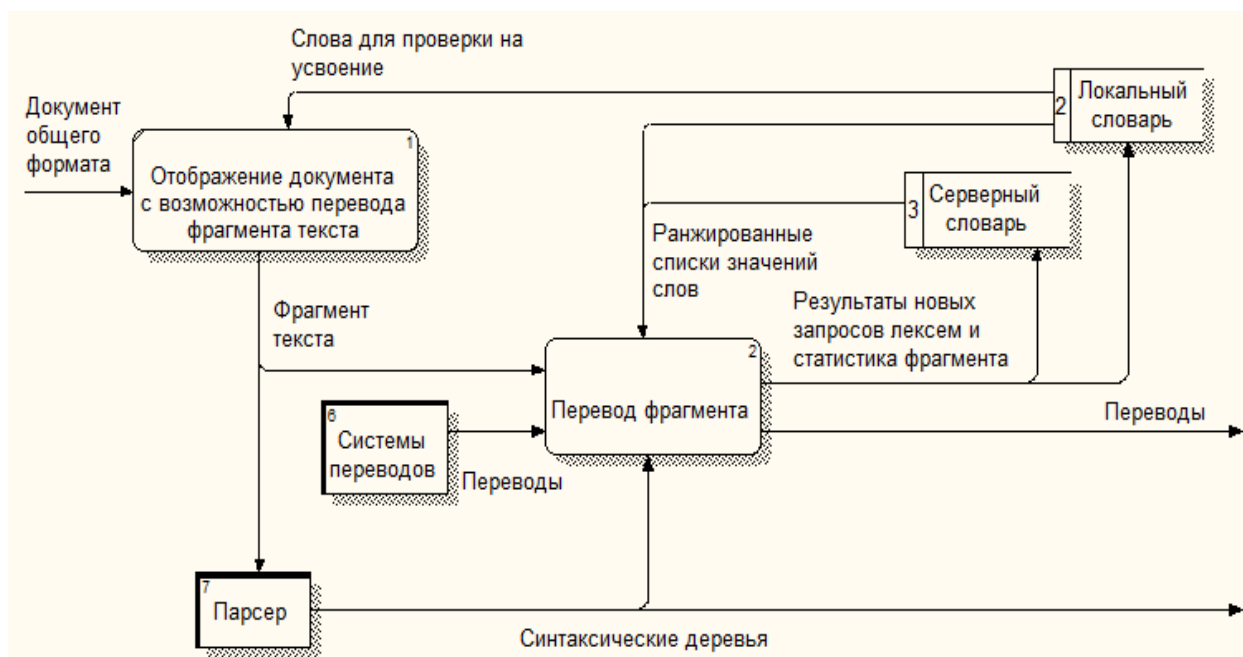


Рис. 4 – Модуль отображения и перевода текста

Для проектирования программ было решено пользоваться методами объектно-ориентированного программирования (ООП), как наиболее удобными для проектирования программных комплексов с возможностью расширения их в будущем, из-за большой гибкости модификации и возможности оперирования со структурами данных как с некоторыми абстрактными объектами.

Основными качествами системы являются:

- простой и понятный интерфейс, ориентированный на непрофессионального пользователя;
- интеграция средств перевода в режим чтения текстов;
- редактирование и хранение результатов перевода;
- кроссплатформенность.

В результате была разработана система, состоящая из клиентского приложения, предназначенного для чтения текстов с возможностью перевода, и серверного приложения, служащего основой для расширения функционала. Клиентское приложение разработано на языках HTML5, CSS3, JavaScript в среде NW.js. Для клиентского приложения был использован Linux-сервер с использованием Node.js.

В соответствии с исходным заданием и проведённым обзором аналогов было решено хранить книги пользователя в персональной библиотеке, которая должна быть доступна с устройств на различных платформах. Все документы должны обладать легко редактируемыми настройками отображения. Программное средство должно активно задействовать интернет, но также иметь возможность работы офлайн. Должны применяться как машинный, так и словарно-лексемный подходы к переводу.

На данный момент разработана модель программного средства и создан прототип клиентского приложения. Приложение проходит апробацию на базе факультета филологии и журналистики Оренбургского государственного университета. Проект награждён дипломом второй степени на конкурсе «Университетская IT-весна 2015». На разработку системы Фондом содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере выделен грант по программе УМНИК-2015.

Список литературы/ References

1. Зубов А. В. Информационные технологии в лингвистике: М.: Академия 2004. – С.195-196.
2. Соловьева А. В. Профессиональный перевод с помощью компьютера: СПб.: Питер 2008. – С.140-147.
3. Шевчук В. Н. Электронные ресурсы переводчика: М.: Либрайт, 2010. – С.100-120.
4. Библиотека MSDN. Источник информации для разработчиков, использующих средства, продукты, технологии и службы корпорации Майкрософт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com>
5. Машинный перевод: исторический обзор и преимущества [Электронный ресурс]: Компания ПРОМТ. — Режим доступа: <https://goo.gl/B3NPYj>

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zubov A. V. Informacionnye tehnologii v lingvistike [The Information technologies in linguistics] M.: the Academy 2004. – P. 195-196. [in Russian]
2. Solov'eva A. V. Professional'nyj perevod s pomoshh'ju komp'jutera [Professional translation by computer] SPb.: Peter 2008. – S. 140-147. [in Russian]
3. Shevchuk V. N. Jelektronnye resursy perevodchika [Electronic resources the translator] M.: Librit, 2010. – S. 100-120. [in Russian]
4. MSDN. Istochnik informacii dlja razrabotchikov, ispol'zujushhih sredstva, produkty, tehnologii i sluzhby korporacii Majkrosoft. [The MSDN library. Source of information for developers using the tools, products, technologies and services from Microsoft.] [Electronic resource]. – Mode of access: <http://msdn.microsoft.com>
5. Mashinnyj perevod: istoricheskij obzor i preimushhestva [Machine translation: a historical overview and benefits] [Elektron-NYY Resurs]:PROMT.-Mode of access: <https://goo.gl/B3NPYj>

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.016

Вериго А.А.¹, Цапко Г.П.², Каташев А.С.³¹Аспирант, кафедра автоматики и компьютерных систем,²доктор технических наук, профессор,³аспирант, кафедра автоматики и компьютерных систем,

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

**ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ****Аннотация**

Определены факторы и специфика использования автоматизированных систем управления технологическими процессами в Российской Федерации. Проведен анализ основных нормативных подходов к обеспечению информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами. Выявлены сложности обеспечения информационной безопасности при использовании автоматизированных систем управления технологическими процессами. Проведена систематизация рисков уязвимости автоматизированных систем управления технологическими процессами. Приведены примеры практических разработок в области оценки уязвимости автоматизированных систем управления технологическими процессами на промышленных предприятиях в различных отраслях экономики.

Ключевые слова: автоматизированная система управления технологическими процессами, промышленный объект, риск, уязвимость, информационная безопасность.

Verigo A.A.¹, Tsapko G.P.², Katashev A.S.³¹Postgraduate student, Department of Automation and Computer Systems,²PhD in Engineering, Professor,³postgraduate student, Department of Automation and Computer Systems,

National Research Tomsk Polytechnic University

VULNERABILITY ASSESSMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS PROCESSES**Abstract**

The factors and the specific use of automated process control systems in the Russian Federation. The analysis of the main regulatory approaches to information security of automated process control systems. Revealed the complexity of ensuring information security in the use of automated process control systems. The systematization of the risks of vulnerability of automated process control systems. Examples of practical developments in the field of assessing the vulnerability of automated process control systems in industrial enterprises in various sectors of the economy.

Keywords: automated process control system, industrial object, risk, vulnerability, information security.

В современных условиях широкое развитие при осуществлении производственной деятельности получили автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). Ранее данное понятие применялось в основном для характеристики деятельности крупных промышленных предприятий, однако сегодня технический прогресс привел к тому, что АСУ ТП используются не только на производстве, но и в различных системах, не имеющих прямого отношения к производству (например, системы жизнеобеспечения зданий и сооружений, системы управления энергообеспечением и др.), активно утверждаясь в повседневной жизни современного человека.

Ядром АСУ ТП выступает программное обеспечение (ПО), которое использует информацию специализированных контроллеров, датчиков и исполнительных механизмов с применением диспетчеризации управления на основе коммутационных сетей. Особенность современных АСУ ТП заключается в том, что они выступают не закрытой и изолированной от внешнего воздействия системой, а широко используют общие технологии передачи информации (ТСР/IP со специализированными прикладными протоколами верхнего уровня).

Благодаря развитию прикладных ИТ-решений и интернет-технологий АСУ ТП в последнее время вышли на принципиально новый уровень своего развития. Вместе с тем, новый этап автоматизации технологических процессов породил и появление определенных проблем, связанных с возникновением серьезных уязвимостей АСУ ТП. В результате сегодня АСУ ТП часто становятся объектом для различного рода злоумышленников и проведения кибератак.

Во многом это объясняется тем, что программные компоненты систем, управляющих производством, транспортом, водоснабжением и энергообеспечением, находятся в свободном доступе в сети Интернет. Кроме этого увеличение количества организаций, внедряющих АСУ ТП, при ограниченном числе производителей приводит к ситуации, когда одна и та же базовая платформа может применяться для управления технологическими процессами различных объектов в самых разных отраслях экономики.

Поэтому важной и актуальной выступает задача оценки уязвимости АСУ ТП и обеспечения ее защиты от внешних и внутренних угроз. Сложность решения данной задачи обусловлена рядом факторов и спецификой использования АСУ ТП в России:

- невозможностью локализации АСУ ТП от общей информационной инфраструктуры предприятия, что приводит к отсутствию возможности полной изоляции системы от внешних воздействий, напрямую несвязанных с организацией и управлением технологическими процессами;
- универсальностью используемых в различных АСУ ТП технологий и протоколов, а значит, широкими возможностями нарушителя по изучению возможностей и способов проникновения;

– широким использованием на отечественных предприятиях иностранных разработок и ПО, а также применением отдельных элементов АСУ ТП, содержащихся в открытом доступе в сети Интернет, что не позволяет в полной мере контролировать вопросы технического обеспечения безопасности системы и увеличивает риски взлома со стороны внешних нарушителей.

При этом важно учитывать, что в случае возникновения аварийных ситуаций на технологических системах ввиду внутренних сбоев и внешних воздействий стоимость ущерба будет значительной, что требует анализа угроз безопасности информации в действующей сети управления технологическими процессами и постоянного совершенствования защиты АСУ ТП.

В отношении определения требований к обеспечению защиты информации в АСУ ТП критически важных и потенциально опасных объектов, а также промышленных объектов, которые представляют повышенную опасность для жизни или здоровья людей и для окружающей природной среды наиболее важным выступает приказ ФСТЭК России от 14 марта 2014 года № 31 [1]. Данный документ определяет трехуровневую классификацию АСУ ТП, что полностью совпадает с принятой на критически важных объектах трехуровневой классификацией уровней опасности, уровней антитеррористической защищенности и т.п.

Кроме этого вопросы защиты информации, отраженные во внутренних документах, разрабатываемых на конкретном промышленном предприятии, должны охватывать, в том числе, и области анализа угроз безопасности информации в АСУ ТП и соответствующих рисков их реализации.

Сложности обеспечения информационной безопасности в АСУ ТП можно представить следующим образом:

1) технические:

- структурные, определяемые набором элементов АСУ ТП;
- инфраструктурные, определяемые спецификой организации информационной сети;

2) организационные:

- возможности обеспечения допуска внутренних пользователей и контроля их действий;
- возможности обеспечения допуска внешних пользователей и контроля их действий;
- возможности контроля отдельных операций, которые могут быть отданы на аутсорсинг (особенно актуально для облачных вычислений);

3) юридические: соответствие национальному (международному) законодательству, действующим нормативным требованиям и стандартам;

4) специфические, определяемые конкретным технологическим процессом, деятельностью предприятия, отношением к определенной отрасли экономики и др.

Анализ различных экспертных мнений [2-5] позволил систематизировать основные риски уязвимости АСУ ТП, в том числе и при использовании облачных структур (таблица).

Таблица – Риски уязвимости АСУ ТП (включая использование структуры облачных вычислений)

Риск	Последствия	Противодействие
Использование открытых компонентов, в том числе и иностранных производителей	Высокий риск внешнего вторжения, низкая защищенность системы	Тщательный подход к выбору компонентов, выбор производителя, аутсорсинг при организации АСУ ТП
«Привязка» к определенной системе компонентов или производителю	Невозможность или сложность использования других компонентов, зависимость от конкретного производителя компонентов	Тщательный подход к выбору компонентов и производителя, создание собственных компонентов
Потеря контроля над данными / инфраструктурой	Отсутствие возможности обеспечения должного уровня безопасности	Проведение аудитов безопасности, мониторинг угроз и инцидентов
Инсайдеры внешние	Кража и/или изменение информации, вирусная атака	Многофакторная аутентификация, шифрование данных и др.
Инсайдеры внутренние	Кража и/или изменение информации	Ограничение доступа, шифрование данных, обезличивание / маскирование информации и др.
Деятельность облачного провайдера и других пользователей	Несанкционированный доступ к информации, остановка технологических и бизнес-процессов и др.	Тщательный подход к выбору провайдера
Распределенная атака на отказ в обслуживании (DDoS)	Невозможность получить доступ к сервисам, остановка бизнес-процессов	Выбор DDoS-устойчивого провайдера, работа с несколькими провайдерами

Необходимо отметить, что на сегодняшний день уже существуют отдельные практические разработки в области оценки уязвимостей АСУ ТП на различных отечественных предприятиях в разных отраслях экономики. Так, например, С.В. Кирсанов [6] предлагает метод оценки угроз информационной безопасности АСУ ТП газовой отрасли на основе использования системы оценки уязвимостей CVSS. Данное предложение нашло практическое применение в деятельности ООО «Газпром трансгаз Томск».

Несомненно, что в дальнейшем поиск возможностей оценки уязвимости АСУ ТП различных промышленных объектов, прежде всего, критически важных и потенциально опасных объектов, а также тех, которые представляют

повышенную опасность для жизни или здоровья людей и для окружающей природной среды, будет привлекать внимание как отечественных теоретиков, так и практиков.

Таким образом, нами определены факторы и специфика использования АСУ ТП в Российской Федерации, проведен анализ основных нормативных подходов к обеспечению информационной безопасности АСУ ТП. В процессе исследования выявлены сложности обеспечения информационной безопасности при использовании АСУ ТП, а также проведена систематизация рисков уязвимости АСУ ТП. Приведены примеры практических разработок в области оценки уязвимости АСУ ТП на промышленных предприятиях в различных отраслях экономики.

Список литературы/ References

1. Приказ ФСТЭК России от 14.03.2014 № 31 «Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды» // Российская газета. – 2014. – 6 августа.
2. Анализ защищенности промышленных систем (АСУ ТП, SCADA) // Digital Security. URL: <https://dsec.ru/services/audit/asutp> (дата обращения 07.10.2016).
3. Грицай Г. [и др.] Безопасность промышленных систем в цифрах v2.1* / Г. Грицай, А. Тиморин, Ю. Гольцев, Р. Ильин, С. Гордейчик, А. Карпин // Positive Technologies. URL: <https://goo.gl/Ux9DzP> (дата обращения 07.10.2016).
4. Обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) // ООО «УЦСБ». URL: [http:// https://goo.gl/rxVDyk](http://https://goo.gl/rxVDyk) (дата обращения 07.10.2016).
5. Шахновский Г. Безопасность Систем SCADA и АСУТП // Мост Безопасности. URL: http://www.security-bridge.com/biblioteka/stati_po_bezopasnosti/bezopasnost_sistem_scada_i_asutp (дата обращения 07.10.2016).
6. Кирсанов С.В. Метод оценки угроз информационной безопасности АСУ ТП газовой отрасли // Доклады ТУСУР. – 2013. – № 2(28). – С. 112-115.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Prikaz FSTJeK Rossii ot 14.03.2014 № 31 «Ob utverzhenii Trebovanij k obespecheniju zashhity informacii v avtomatizirovannyh sistemah upravlenija proizvodstvennymi i tehnologicheskimi processami na kriticheski vazhnyh ob#ektah, potencial'no opasnyh ob#ektah, a takzhe ob#ektah, predstavljajushhih povyshennuju opasnost' dlja zhizni i zdorov'ja ljudej i dlja okruzhajushhej prirodnoj sredy» [On approval of requirements to ensure the protection of information in automated production and process control systems to mission-critical sites, potentially dangerous objects and objects that represent an increased danger to life and health and to the environment] // Rossijskaja gazeta. – 2014. – 6 avgusta [in Russian]
2. Analiz zashhishhennosti promyshlennyh sistem (ASU TP, SCADA) [Analysis of the security of industrial systems (PCS, SCADA)] // Digital Security. URL: <https://dsec.ru/services/audit/asutp> [in Russian]
3. Gricaj G., Timorin A., Gol'cev Ju., Il'in R., Gordejchik S., Karpin A. Bezopasnost' promyshlennyh sistem v cifrah v2.1* / G. Gricaj, A. Timorin, Ju. Gol'cev, R. Il'in, S. Gordejchik, A. Karpin [Safety of industrial systems at a Glance v2.1*] // Positive Technologies. URL: <https://goo.gl/Ux9DzP> [in Russian]
4. Obespechenie informacionnoj bezopasnosti avtomatizirovannyh sistem upravlenija tehnologicheskimi processami (ASU TP) [Ensuring information security of automated process control systems (PCS)] // ООО «УЦСБ». URL: [http:// https://goo.gl/rxVDyk](http://https://goo.gl/rxVDyk) [in Russian]
5. Shahnovskij G. Bezopasnost' Sistem SCADA i ASUTP [Safety Systems SCADA and PCS] // Most Bezopasnosti. URL: http://www.security-bridge.com/biblioteka/stati_po_bezopasnosti/bezopasnost_sistem_scada_i_asutp [in Russian]
6. Kirsanov S.V. Metod ocenki ugroz informacionnoj bezopasnosti ASU TP gazovoj otrasli [The method of evaluation of information security threats ACS gas industry] // Doklady TUSUR [Reports TUSUR]. – 2013. – # 2(28). – S. 112-115 [in Russian]



Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструмент ScienceIndex.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.002

Гурьева В.А.¹, Бутримова Н.В.², Дорошин А.В.³, Дубинецкий В.В.⁴, Вдовин К.М.⁵¹ORCID:0000-0003-1871-2527, Доктор технических наук, Оренбургский государственный университет²ORCID:0000-0002-7804-5554, Кандидат педагогических наук,

Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ

³ORCID:0000-0001-7468-1353, Аспирант, Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ⁴ORCID:0000-0002-3116-9496, Аспирант, Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ⁵ORCID:0000-0003-2400-8042, Аспирант, Оренбургский государственный университет**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ
НЕФТЕШЛАМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА****Аннотация**

Целью нашего исследования было изучить нефтяные промышленные отходы месторождений Оренбуржья и разработка на их основе ресурсосберегающих технологий строительных материалов. Исследованы минералогический и гранулометрический составы техногенного сырья – бурового шлама Пашийского месторождения и глинистого сырья Бузулукского месторождения, гидрохимический анализ воды. В результате проведения экспериментов в зависимости от состава сырьевой смеси и различной температуры обжига выявлены закономерности изменения основных свойств строительной керамики: водопоглощение, плотность, предела прочности при сжатии.

Ключевые слова: гидрохимический анализ воды, буровой шлам, двухкомпонентная шихта, строительная керамика.

Gurieva V.A.¹, Butrimova N.V.², Doroshin V.A.³, Dubinetsky V.V.⁴, Vdovin K.M.⁵¹ORCID:0000-0003-1871-2527, PhD in Engineering, Orenburg state University²ORCID:0000-0002-7804-5554, PhD in Pedagogy, Buzuluk humanitarian-technological Institute (branch) OSU³ORCID:0000-0001-7468-1353, Postgraduate student, Buzuluksky Humanities Institute of technology (branch) OSU⁴ORCID:0000-0002-3116-9496, Postgraduate student, Buzuluksky Humanities Institute of technology (branch) OSU⁵ORCID:0000-0003-2400-8042, postgraduate, Orenburg state University**ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFECTS
OF SLUDGE IN THE PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS****Abstract**

The aim of our study was to investigate the oil fields of the Orenburg industrial waste and the development of their resource-based building materials technologies. Studied mineralogy and particle size distribution of technogenic raw material - cuttings Pashiysky deposits and clay raw materials Buzuluksky deposits, hydro-chemical analysis of water. As a result of experiments, depending on the composition of the raw mix and different patterns of change in the basic properties of building ceramics firing temperature identified: water absorption, density, tensile compressive strength.

Keywords: hydrochemical analysis of water, drill cuttings, a two-component mixture, of construction ceramics.

В ходе производственной деятельности предприятий нефтяной промышленности образуются промышленные отходы - нефтяные шламы, которые накапливаются в открытых амбарах-накопителях. Накопление и хранение нефтешламов происходит десятилетиями, и на протяжении всего этого времени они оказывают негативное воздействие на воздух, почву, подземные воды и локальные биоценозы.

Шламы представляют собой уникальный техногенный продукт, особенность которого технологическая пригодность к производству строительных материалов широкой номенклатуры общестроительного и специального назначения. Химико-минералогический состав нефтешламов в рамках одного месторождения имеет постоянную стабильность, так как процесс нефтеперегонки и сбора состоит из аналогичных по назначению и принципу действия операций.

Наиболее распространенными загрязнителями поверхностных вод являются нефтяные углеводороды (нефтепродукты), фенолы, аммонийный и нитритный азот, соединения тяжелых металлов и другие вещества. Они вызывают изменение физических и органолептических свойств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличение содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей, сокращение растворенного в воде кислорода [1].

Проведя исследования водной среды на территории Первомайского района Оренбургской области, где располагается Зайкинское нефтяное месторождение, определен уровень концентрации типичных загрязняющих веществ в поверхностных водах (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты гидрохимического анализа вод рек в зоне влияния Зайкинского нефтяного месторождения Оренбургской области

Показатели	Получившиеся значения, (мг/дм ³)					
	ПДК	р. Солянка (устье)	р. Грязнушка		р. Чаган	
			среднее течение	устье	до впадения р. Грязнушка	после впадения
Сухой остаток	1000	930,0±0,82	1726±0,82	1550±0,82	1137±0,082	1200±0,82
Жесткость	–	9,6±0,07	9,9±0,07	8,8±0,08	7,4±0,07	7,4±0,08
Хлориды	300	51,7±0,33	258,0±0,81	177,2±0,08	77,6±0,36	116,4±0,59
СПАВ	0,1	0,03±0,0068	0,02±0,0068	0,02±0,0068	0,01±0,0068	0,011±0,0068
ХПК, мгО ₂ /дм ³	<15	3,2±0,14	19,2±0,08	21,5±0,16	21,6±0,57	21,6±0,73
Нефтепродукты	0,05	0,03±0,02	0,08±0,01	0,07±0,01	0,05±0,01	0,06±0,02
Сульфаты	100	38,8±0,2	426,8±0,3	184,4±0,4	283,6±0,2	298,1±0,08

По результатам исследования уровень загрязненности поверхностных вод в районе месторождения считается умеренно загрязненным, что свидетельствует об ухудшении экологии и качества воды.

В ходе исследований изучен элементный состав сырья для производства керамического кирпича и возможность утилизации бурового шлама, как промышленного отхода нефтяной отрасли. Минеральный состав бурового шлама является сложным. Большую его часть составляют частицы кальция в виде карбоната. Относительно меньше содержание в шламе доломита, барита, аргонита, слюд, магнезита, так же присутствуют полевые шпаты, барит, гипс, слюда, гидрослюды, глинистые минералы в виде каолинита. Анализ элементного состава буровых нефтешламов и глины, был произведен на растровом электронном микроскопе JEOL-6390A (табл. 2).

Таблица 2 – Элементный состав буровых нефтешламов и глины Бузулукского месторождения

Химический элемент	Масса бурового шлама, %	Масса глины, %
C	13,16	5,19
O	11,61	28,68
Mg	0,26	2,19
Al	0,94	12,61
Si	2,22	32,82
S	10,12	10,12
Cl	2,48	-
K	3,94	3,48
Ca	49,32	7,32
Fe	5,94	5,94

Эксперименты проводились на основе двухкомпонентной и трехкомпонентной системы. В качестве исходных компонентов исследования использовались сырьевые материалы - нефтяные отходы Бузулукского района: буровой шлам Пашийского месторождения с горизонта 3700-3850 м, находящийся на исследуемых территориях; глинистое сырье из карьера г. Бузулука, которое используется в настоящее время на заводе для производства кирпича; бытовой отход в виде стеклотары. Для использования последнего в эксперименте в качестве плавня стеклотара подвергалась тонкому помолу до остатка на сите 0063 не более 1-3% [2].

На первом этапе в соответствии с методикой эксперимента проводилась разработка составов двухкомпонентной системы в зависимости от состава сырьевой шихты «глина – буровой шлам» и режима обжига. Оптимизации шихты проводилась приготовлением смесей в виде формовочных масс, в которых количество техногенного сырья составляло от 0 до 100 %. Сырьевые материалы, смеси, образцы подготавливались по стандартной методике. На основании математической обработки полученных результатов получены уравнения регрессии, по которым построены графические зависимости в координатах «состав – температура обжига – свойство» (рис.1).

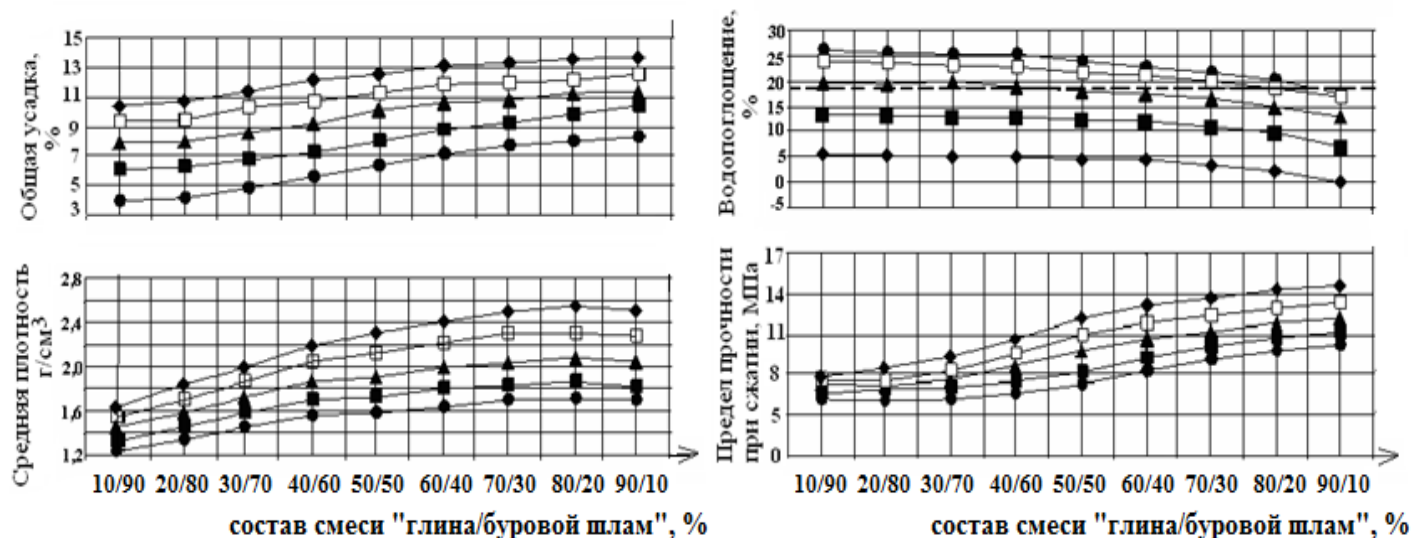


Рис.1 – Изменение свойств в системе «состав – температура обжига – свойство» на основе нефтешлама в зависимости от температуры обжига:

-●- - 1000 °C; -■- - 1050 °C; -▲- - 1100 °C; -□- - 1150 °C; -◆- - 1200 °C

Качественной характеристикой процесса спекания принят определенный диапазон водопоглощения, который для изделий строительной керамики (стенные, отделочные, кровельные и т.д.) в соответствии с нормативными документами характеризуется интервалом в пределах 18 - 20 %. На графиках пунктиром отмечено значение водопоглощения менее 20 %. Данное значение является контрольной точкой при оптимизации керамической шихты и позволяет определить с учетом полученных значений усадочных деформаций, среднюю плотность и прочность при сжатии рационального диапазона изменения техногенного сырья (бурового шлама) в двухкомпонентной шихте - на основе легкоплавкой глины - до 50 % при определенной температуре обжига.

Для формирования образцов нефтяной шлам предварительно высушивался. Сырьевые материалы трехкомпонентной системы (нефтяной шлам, стеклобой и глина) дозировались в различном процентном отношении согласно матрице планирования эксперимента.

Анализ результатов физико-механических свойств керамических образцов, в которых содержание нефтешламов увеличено до 50% по массе, показывает снижение предела прочности при сжатии до 16,31 МПа (табл.3).

Таблица 3 – Физико-механические свойства керамических масс в зависимости от состава шихты

№	Состав сырьевой смеси, %			Усадка, %		Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Средняя плотность, кг/м ³
	Глина	Нефтешлам	Стеклобой	Воздушная	Огневая			
1	41	18	41	8,88	26,65	20,38	11,3	1781,49
2	63	10	27	8,15	24,71	28,74	12,5	1756,63
3	67,8	18,1	14,1	8,74	21,7	24,46	17,5	1699,52
4	65	30	5	7,33	19,41	12,23	18,4	1640,31
5	44	42	14	8,82	16,72	3,67	15,6	1373,98
6	22,5	50	27,5	8,91	16,67	1,63	33,1	937,96

По результатам эксперимента видно, что трехкомпонентная система более эффективна, так как прочность керамики выше на 50% по сравнению с массами без стеклобоя.

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать, что применение нефтешламов в качестве вторичного сырья при производстве керамического кирпича позволит не только улучшить экологическую обстановку на месторождениях Оренбургской области, но и получить экономический эффект, который обуславливают следующие кластеры:

1. Высвобождение территорий, отводимых для амбаронакопителей (экономия приведенных затрат на создание амбаров для хранения);
2. Сокращение воздействия химических компонентов нефтешламов на грунтовые и поверхностные воды (снижение затрат на водоохранные мероприятия);
3. Получение новой продукции (керамического кирпича) с меньшими затратами на добычу из недр сырья (глины) и сохранение его природных запасов по сравнению с традиционным способом.

Список литературы/ References

1. Новиков, Ю. В. Методы исследования качества воды водоемов / Ю. В. Новиков, К. О. Ластикина, З. Н. Болдина. – М.: Медицина, 1990. – 400 с. – ISBN 5-225-00352-4.
2. Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы» №4 / В.А. Гурьева, В.В. Дубинетский, К.М. Вдовин–2015. – 93 с. -ISSN0585-430X.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Novikov, Yu. V. Methods of study the water quality of water bodies / Y. V. Novikov, K. O. Plasticine, Z. N. Boldin.[Methods of study water quality of reservoirs]– М.: Medicine, 1990. – 400 S. – ISBN 5-225-00352-4. [in Russian]
- 2.Scientific-technical and production journal «Building materials», No. 4 / [Building materials]V. A. Gurieva, V. V. Dubinetsky, K. M. Vdovin -2015. – 93 p. - ISSN 0585-430X. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.180

Зубов Д.И.¹ Суворов Д.М.² Татарнинова Н.В.³¹ORCID: 0000-0002-8501-0608, магистрант;²ORCID: 0000-0001-7415-3868, кандидат технических наук, доцент;³ORCID: 0000-0003-2640-9085, кандидат технических наук, доцент;

Вятский государственный университет (ВятГУ)

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРОВАЗОВОЙ УСТАНОВКИ**Аннотация**

В статье рассмотрены положительные и отрицательные аспекты разработки математической модели паровозовой установки в среде Microsoft Excel. Указаны проблемы, которые возникли при работе в этой среде, модули, которые невозможно в ней реализовать. Приведен обзор работы математической модели паровой турбины Т-50-130 с примерами работ, выполненных с её использованием, на основе которого составлен ряд требований к разрабатываемой модели. Предложены альтернативные программные инструменты для разработки.

Ключевые слова: паровозовая установка, математическое моделирование, языки программирования.

Zubov D.I.¹ Suvorov D.M.² Tatarinova N.V.³¹ORCID: 0000-0002-8501-0608, undergraduate student;²ORCID: 0000-0001-7415-3868, PhD in Engineering, associate professor;³ORCID: 0000-0003-2640-9085, PhD in Engineering, associate professor;

Vyatka State University (VyatSU)

THE PROBLEM OF SELECTING A TOOLKIT FOR DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL COMBINED-CYCLE POWER PLANT**Abstract**

The article deals with the positive and negative aspects of the development of a mathematical model of combined-cycle plant in Microsoft Excel environment. Indicated problem, which have arisen during the work in this environment, the modules that are impossible to implement it. An overview of the work the mathematical model of the T-50-130 steam turbine with examples of works carried out with the use of it, on the basis of which made a set of requirements to the developed model. Proposed alternative software development tools.

Keywords: combined-cycle plant, mathematical modeling, programming languages.

После введения в эксплуатацию в 2014 году блока ПГУ-220 на Кировской ТЭЦ-3 встали задачи оптимизация режимов её работы, в частности – максимизация выработки электрической мощности при поддержании заданного температурного графика. Принимая во внимание эти задачи, а также учитывая неполноту предоставленных заводом нормативных характеристик, было принято решение создать математическую модель блока ПГУ-220 Кировской ТЭЦ-3, которая позволит приступить к решению поставленных задач [1].

Решение этой задачи было начато с разработки математической модели паротурбинной установки Т-63/76-8,8. В качестве среды для разработки была выбрана программа Microsoft Excel, входящая в пакет Microsoft Office. В ходе работы была создана рабочая модель, которая позволяла рассчитывать режимы работы установки при одноступенчатом подогреве сетевой воды с достаточной точностью при нагрузке блока, близкой к номинальной [1].

Таким образом, в ходе работы была создана математическая модель паротурбинной части блока, которая предназначена для узкого круга задач. Она потеряет актуальность после их решения. Такой результат не устраивает разработчиков из-за несоответствия объёма затраченных временных ресурсов и полученных полезных данных. После переосмысления целей исследования было решено двигаться в направлении создания полной математической модели блока ПГУ-220, которая станет универсальным инструментом для расчёта различных режимов работы и их экономических показателей. Одним из важных критериев стала возможность использования данной модели людьми, не принимавшими участия в её разработке, то есть создания самостоятельного приложения с интуитивно понятным интерфейсом.

Для решения вышеуказанных задач было принято решение о поиске нового инструмента разработки, так как одним из главных недостатков Microsoft Excel, как инструмента для разработки математической модели, мы считаем невозможность создания в ней отдельного приложения, которое можно было бы установить и использовать на любом персональном компьютере под управлением операционной системы MS Windows. Кроме того, для выполнения полноценных расчётов на полученной математической модели необходимо наличие на персональном компьютере не

только программы Microsoft Excel, но и различных надстроек от сторонних разработчиков, необходимых для вычислений свойств воды и водяного пара.

Новый инструмент для разработки модели должен удовлетворять следующим минимальным условиям:

- синтаксис инструмента должен позволять выполнять широкий спектр математических вычислений;
- возможность подключения сторонних библиотек и инструментов;
- возможность создания самостоятельного приложения для персонального компьютера под управлением ОС Windows;

– выбранный инструмент должен быть бесплатным и не требовать значительных временных затрат для освоения (это не обязательный пункт).

В качестве образца конечного результата разработки было решено выбрать математическую модель паровой турбины Т-50-130, разработанную в ВятГУ. Принцип её работы заключается в объединении ряда формул, уравнений и зависимостей, которые отражают наиболее важные параметры и свойства турбоагрегата.

При работе с программой пользователь задаёт ряд параметров (всего задаваться или определяться расчетом могут 15 параметров, из них обязательно указываются давление и температура свежего пара, давление в деаэраторе). Из оставшихся 12 параметров для расчёта режима необходимо указать 6, оставшиеся параметры будут рассчитаны программой.

При работе с программой можно изменять схему турбоустановки, в частности переключать питание деаэратора (второй, третий отбор турбины или сторонний источник), изменять точку сброса дренажа с ПВД-5 (деаэратор или каскадный слив ПНД-4), изменять положение различных запорных и регулирующих органов.

Давление в конденсаторе можно задавать или определяться расчетом по характеристике конденсатора, для чего должны быть заданы расход циркуляционной воды, ее температура на входе в конденсатор и величина присосов воздуха в вакуумную систему. Если фактическое давление в конденсаторе задано, то в результате расчета определяется степень загрязнения конденсатора, приводящая в данном режиме к такому давлению.

Интерфейс программы позволяет составлять список данных, которые затем можно сохранять в отчёт, выводимый либо в табличной форме Microsoft Excel, либо в текстовой форме.

Вышеуказанная математическая модель активно используется в ВятГУ для решения различных проблем. Например, при оценке точности упрощённых подходов при оценке эффективности теплофикации на нашей кафедре была проведена работа, в ходе которой сравнивались результаты расчётов по методике [3] с результатами расчётов с использованием математической модели паровой турбины Т-50-130. Выполненные расчеты показали, что применение упрощенной методики оценки энергетического эффекта теплофикации без использования реальных тепловых схем и реальных энергетических характеристик теплофикационных турбин, включая прежде всего мощностные характеристики отсеков проточной части, может привести к существенно завышенным значениям величины этого эффекта, а неверный учет распределения тепловых нагрузок между верхним и нижним сетевыми подогревателями при двухступенчатом подогреве – к дополнительным погрешностям [4].

Ещё одним примером может служить разработанная на кафедре теплотехники и гидравлики ВятГУ методика, которая позволяет уточнить возможное влияние на экономические и энергетические показатели работы турбоустановки детального учета процессной влаги разного качества. Огромным преимуществом использования математической модели в данном вопросе является то, что при экспериментальных исследованиях проблематично с достаточной степенью точности определить значения коэффициентов влажности в каждом отсеке турбины и коэффициент сепарации пара. Зато во время расчетного исследования появляется возможность без труда присваивать им любые действительные значения в интервале от нуля до единицы включительно в произвольной комбинации. Следовательно, появляется инструмент качественной и количественной оценки границ диапазона вероятного их воздействия на показатели работы турбины как в предельных, так и в промежуточных сочетаниях. Полученные результаты представляют несомненный интерес при рассмотрении вопроса о целесообразности учета влияния процессной влаги тем или иным образом на показатели работы турбины во время проведения сравнительных и оптимизационных расчетов турбоустановки в целом [5].

Таким образом, кроме необходимой точности, разрабатываемая математическая модель парогазовой установки должна:

- обеспечивать гибкость в выборе параметров для расчёта режима работы блока;
- предусматривать возможность изменения тепловой схемы блока;
- предусматривать возможность корректировки заложенных в ней характеристик оборудования;
- иметь возможность сохранения и выгрузки расчётных данных в удобной форме.

На данном этапе, в качестве инструмента для создания математической модели парогазовой установки были выбраны три варианта:

- C++ – язык программирования общего назначения, обладает широкими возможностями, имеет свободные среды разработки, но сложен в изучении;
- Delphi – обладает менее широкими возможностями, но проще C++ в освоении;
- GNU Octave – система для математических вычислений, бесплатный аналог MATLAB, не имеет возможности создавать самостоятельные приложения, кроме того, на данный момент времени имеется довольно мало документации на русском языке.

Список литературы/ References

1. Зубов Д.И., Суворов Д.М. Разработка математической модели паровой турбины Т-63/76-8,8 и её верификация для расчёта режимов с одноступенчатым подогревом сетевой воды// Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. - №1. – С. 28-32.

2. Байбаков С.А. О расчете экономии топлива и оценке эффективности комбинированной выработки электрической и тепловой энергии // Электрические станции. – 2011. – №6. – С. 38-45.
3. Суворов Д.М. Об упрощённых подходах при оценке энергетической эффективности теплофикации // Электрические станции. – 2013. – №2. – С. 2-10.
4. Tatarinova N.V., Suvorov D.M. Results of Mathematical Modeling to Study the Influence of Accounting the Process Moisture on Energy Indicators of Cogeneration Steam Turbines // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 792. – P. 370-374. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.792.370

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zubov D.I., Suvorov D.M. Razrabotka matematicheskoy modeli parovoy turbiny T-63/76-8,8 I eyo verifikaciya dlya raschyota rezhimov s odnostupenchatym podogrevom setevoy vody [Development of mathematical model of the steam turbine t-63/76-8.8 and its verification for calculation regimes with single stage heating of delivery water] // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International research Journal]. – 2016. – #1. – P. 28-32. [In Russian]
2. Bajbakov S.A. O raschete ekonomii topliva i ocenke effektivnosti kombinirovannoy vyrabotki elektricheskoy i teplovoj energii [About computation fuel economy and assess the effectiveness of the combined production of electricity and heat] // Elektricheskie stancii [Power stations]. – 2011. – #6. – P. 38-45. [In Russian]
3. Suvorov D.M. Ob uproshchyonnyh podhodah pri ocenke energeticheskoy effektivnosti teplofikacii [About the simplified approach in assessing energy efficiency of district heating] // Elektricheskie stancii [Power stations]. – 2013. – #2. – P. 2-10. [In Russian]
4. Tatarinova N.V., Suvorov D.M. Results of Mathematical Modeling to Study the Influence of Accounting the Process Moisture on Energy Indicators of Cogeneration Steam Turbines // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 792. – P. 370-374. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.792.370

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.201

Иноземцев А.С.¹, Королев Е.В.²

¹ORCID: 0000-0001-7807-688X, кандидат технических наук, младший научный сотрудник;

²ORCID: 0000-0003-0815-4621, доктор технических наук, профессор,
директор НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОЛЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИКРОСФЕРАХ

Аннотация

Представлен метод многокритериальной оптимизации для оценки технико-экономической эффективности модифицирования высокопрочных легких бетонов, учитывающий изменения как технических (реологических, физико-механических и эксплуатационных) свойств материала, так экономических особенностей его производства (себестоимость). Показана эффективность исследуемых методов модифицирования (использование наномодификатора и полидисперсной фибры) по сравнению с базовым составом высокопрочного легкого бетона.

Ключевые слова: высокопрочный легкий бетон, полые микросферы, нанотехнологии, оптимизация, эффективность, критерии.

Inozemtcev A.S.¹, Korolev E.V.²

¹ ORCID: 0000-0001-7807-688X, PhD in Engineering, researcher,

² ORCID: 0000-0003-0815-4621, PhD in Engineering, professor, director of the research and educational center
«Nanomaterials and nanotechnology», National Research University Moscow State University of Civil Engineering

MULTICRITERIA OPTIMIZATION FOR EVALUATE OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF MODIFICATION THE HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON HOLLOW ALUMINOSILICATE MICROSPHERES

Abstract

The method of multi-criteria optimization for evaluate of the technical and economic efficiency of modification of high-strength lightweight concrete is presented. This method takes into account changes in technical (rheological, mechanical and operational) properties of the material and economic characteristics of its production (cost). The efficiency of the modification methods (nanomodification and polydispersed fiber) compared to the base composition of high-strength lightweight concrete is shown.

Keywords: high-strength lightweight concrete, hollow microspheres, nanotechnology, optimization, efficiency, criteria.

Качество строительных материалов является комплексной характеристикой, оцениваемой по показателям свойств, устанавливаемых потребителем (или заказчиком). Для новых материалов значения показателей отдельных свойств могут быть установлены на основе нормативных документов (стандартов, технических условий) или анализа качества современной продукции. При решении оптимизационных задач строительного материаловедения для качества материала невозможно найти скалярное представление, позволяющее перейти к задаче математического программирования [1-5]. Качество материала можно характеризовать только множеством свойств (скалярных, или индивидуальных показателей качества; критериальных функций)

$$q_j, j = \overline{1, m} \quad (1)$$

(где m – размерность критериального пространства), которые, в зависимости от выбранного метода скаляризации, могут включать значения контрольных показателей.

Критериальные функции составляют векторный критерий качества

$$\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m). \quad (2)$$

Методика скаляризации критерия (2) выбирается исходя из целей оптимизационной задачи. В простейшем случае аналитическое выражение для скалярного критерия качества F_k (целевой функции) представляет собой линейную комбинацию критериальных функций:

$$F_k = \sum_{j=1}^m \beta_j q_j, \beta_j > 0, q_j \geq 0, \quad (3)$$

возрастание каждой из которых соответствует повышению качества.

Весовые коэффициенты β_j линейной свертки определяются в результате неформальных процедур (например, методом экспертных оценок). Такое представление допустимо при решении задач сокращения размерности факторного пространства (исключении незначимых управляющих переменных) и/или уменьшении области факторного пространства (предварительной оценке оптимальных уровней управляющих переменных). Как правило, именно представление (3) используется в том случае, когда размерность критериального пространства невелика.

На значения коэффициентов весовости обычно накладывают условие нормировки:

$$\sum_{j=1}^m \beta_j = 1. \quad (4)$$

В целом, качество модифицированных высокопрочных легких бетонов [6-8] (в соответствии с декомпозицией системы критериев качества) оценивается по следующим свойствам: подвижность бетонной смеси, средняя плотность, пористость, прочность при сжатии и изгибе (удельная прочность), модуль упругости, коэффициент интенсивности напряжений (трещиностойкость), водопоглощение, коэффициент стойкости в воде, коэффициенты тепло- и температуропроводности, удельная теплоемкость, морозостойкость и стойкость к циклическому увлажнению-высушиванию. На основе эмпирических значений показателей свойств в соответствии с соотношениями (5)...(17) были вычислены значения критериальных функций.

Критерий подвижности

$$k_{D_p} = \frac{D_p}{D_{p,0}}, \quad (5)$$

где D_p – диаметр расплыва конуса модифицированного ВПЛБ; $D_{p,0}$ – диаметр расплыва конуса для высокопрочных легких бетонов ($D_{p,0} = 155$ мм).

Критерий прочности при изгибе:

$$k_{R_{изг}} = \frac{R_{изг}}{R_{max}}, \quad (6)$$

где $R_{изг}$ – прочность при изгибе модифицированного ВПЛБ; R_{max} – максимальная прочность при изгибе ВПЛБ.

Критерий прочности при сжатии:

$$k_{R_{сж}} = \frac{R_{сж}(1 - \Pi)}{R_{max}}, \quad (7)$$

где $R_{сж}$ – прочность при сжатии модифицированного ВПЛБ; R_{max} – максимальная прочность при сжатии бетона ВПЛБ; Π – пористость бетона модифицированного ВПЛБ.

Критерий призмной прочности:

$$k_{R_{пр}} = \frac{R_{пр}}{0,8 \cdot R_{сж}}, \quad (8)$$

где $R_{изг}$ – призмная прочность модифицированного ВПЛБ; $R_{сж}$ – прочность при сжатии ВПЛБ;

Критерий удельной прочности:

$$k_{R_{уд}} = \frac{R_{уд}}{R_{уд0}}, \quad (9)$$

где $R_{уд}$ – удельная прочность НМВПЛБ; $R_{уд0}$ – удельная прочность ВПЛБ (30 МПа).

Критерий трещиностойкости:

$$k_{тр} = \frac{R''}{R'}, \quad (10)$$

где R' – предел прочности при сжатии (изгибе) образцов в водонасыщенном состоянии, МПа; R'' – предел прочности при сжатии (изгибе) образцов в воздушно-сухом состоянии.

Критерий упругости:

$$k_{\text{упр}} = \frac{E_{\text{упр}}}{E_{\text{упр0}}}, \quad (11)$$

где $E_{\text{упр}}$ – модуль упругости модифицированного ВПЛБ; $E_{\text{упр0}}$ – модуль упругости ВПЛБ ($E_{\text{упр0}} = 10$ ГПа).

Критерий хрупкости:

$$k_{\text{хр}} = \frac{\mu}{\mu_0}, \quad (12)$$

где μ – коэффициент Пуассона модифицированного ВПЛБ; μ_0 – величина коэффициента Пуассона, менее которой ВПЛБ считается хрупким ($\mu_0 = 0,1$).

Критерий водопоглощения:

$$k_W = \frac{W_0 - W}{W_0}, \quad (13)$$

где W – водопоглощение модифицированного ВПЛБ; W_0 – водопоглощение тяжелого бетона по ГОСТ 25246-82** (не более 6 %).

Критерий водостойкости:

$$k_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{k_{\text{H}_2\text{O}}}{k_{\text{H}_2\text{O},0}}, \quad (14)$$

где $k_{\text{H}_2\text{O}}$ – коэффициент водостойкости модифицированного ВПЛБ; $k_{\text{H}_2\text{O},0}$ – коэффициент водостойкости тяжелого бетона по ГОСТ 25246-93 ($k_{\text{H}_2\text{O},0} \geq 0,8$ для высокостойких бетонов).

Критерий теплопроводности:

$$k_{\lambda} = \frac{k_{\lambda,0}}{k_{\lambda}}, \quad (15)$$

где k_{λ} – коэффициент теплопроводности модифицированного ВПЛБ; $k_{\lambda,0}$ – коэффициент теплопроводности тяжелого бетона ($k_{\lambda,0} = 1,25$ Вт/м·К).

Критерий температуропроводности:

$$k_{\alpha} = \frac{k_{\alpha,0}}{k_{\alpha}}, \quad (16)$$

где k_{α} – коэффициент температуропроводности модифицированного ВПЛБ; $k_{\alpha,0}$ – коэффициент температуропроводности тяжелого бетона ($k_{\alpha,0} = 1,40 \cdot 10^{-7}$ м²/с).

Критерий удельной теплоемкости:

$$k_c = \frac{k_c}{k_{c,0}}, \quad (17)$$

где k_c – коэффициент удельной теплоемкости модифицированного ВПЛБ; $k_{c,0}$ – коэффициент тяжелого бетона (0,85 кДж/кг·К).

Критерий морозостойкости:

$$k_F = \frac{F}{F_0}, \quad (18)$$

где F – марка по морозостойкости модифицированного ВПЛБ; F_0 – марка по морозостойкости ВПЛБ (не менее 300 циклов).

Скаляризация векторного критерия качества

$$\mathbf{q} = (k_{\text{Др}}, k_{R_{\text{изг}}}, k_{R_{\text{сж}}}, k_{R_{\text{пр}}}, k_{R_{\text{уд}}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{упр}}, k_{\text{хр}}, k_W, k_{\text{H}_2\text{O}}, k_{\lambda}, k_{\alpha}, k_c, k_F) \quad (19)$$

включала две стадии.

На первой стадии, исходя из области применения разрабатываемого материала, были найдены значения критериальных функций второго уровня (20)...(22), характеризующих технологические, физико-механические (среднюю плотность, пористость, прочность при изгибе и сжатии, призмная прочность, удельную прочность, коэффициент трещиностойкости, модуль упругости, коэффициент Пуассона) и эксплуатационные (коэффициенты теплопроводности, температуропроводности, удельная теплоемкость, водопоглощение, коэффициент водостойкости и морозостойкость) свойства:

$$K_T = k_T; \quad (20)$$

$$K_{\text{фм}} = \sqrt[7]{k_{R_{\text{изг}}} k_{R_{\text{сж}}} k_{R_{\text{пр}}} k_{R_{\text{уд}}} k_{\text{тр}}} k_{\text{упр}}} k_{\text{хр}}; \quad (21)$$

$$K_{\text{эк}} = \sqrt[6]{k_W k_\lambda k_{\text{H}_2\text{O}} k_F k_\alpha k_c}. \quad (22)$$

На втором этапе была выполнена линейная свертка критериальных функций второго уровня:

$$F_K = \alpha_1 K_T + \alpha_2 K_{\text{фм}} + \alpha_3 K_{\text{эк}}. \quad (23)$$

Выбор значений весовых коэффициентов $\alpha_1 \dots \alpha_3$ также был осуществлен исходя из области применения разрабатываемых модифицированных ВПЛБ.

Расчеты

На основании проведенных исследований с целью обоснования эффективности применения наномодифицированных высокопрочных легких бетонов были проведены сравнительные расчеты критерия технико-экономической эффективности для составов ВПЛБ и модифицированных ВПЛБ средней плотностью 1400 кг/м³.

Вычисление критерия технико-экономической эффективности проводилось по формуле [1-2]:

$$k_{\text{ef}} = \left| \frac{\delta F}{\delta C} \right|, \quad (24)$$

где δF – относительное изменение качества материала, δC – относительное изменение цены материала:

$$\delta F = \frac{F_n - F_b}{F_b}, \quad (25)$$

где F_n и F_b – значения обобщенного критерия качества для нового и базового материала (технологии), соответственно;

$$\delta C = \frac{C_n - C_b}{C_b}, \quad (26)$$

где C_n и C_b – цена нового и базового материала (технологии), соответственно.

Условием технико-экономической эффективности является достижение максимального значения при $k_{\text{ef}} > 1$.

Анализ технико-экономической эффективности проводили для наномодифицированного высокопрочного легкого бетона. В качестве базового материала был принят высокопрочный легкий бетона без модификаторов (ВПЛБ). Дополнительно был проведен анализ технико-экономической эффективности наномодифицированного высокопрочного легкого бетона (НМВПЛБ) и высокопрочного легкого фибробетона (ВПЛФБ).

Основные свойства и цены рассматриваемых видов бетона сведены в таблицу 1. Значения критериальных функций второго уровня (частных критериев качества) приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Основные эксплуатационные свойства и экономические характеристики бетонов

№	Наименование показателя	Вид бетона		
		ВПЛБ	НМВПЛБ	ВПЛФБ
1	Подвижность, мм	180	155	170
2	Средняя плотность, кг/м ³	1430	1455	1475
3	Прочность при изгибе, МПа	3,8	4,2	5,1
4	Прочность при сжатии, МПа	50,3	55,2	62,6
5	Призменная прочность, МПа	44,2	49,7	57,7
6	Удельная прочность, МПа	35,2	37,9	42,4
7	Коэффициент трещиностойкости	0,076	0,076	0,081
8	Модуль упругости, ГПа	7,25	7,8	9,61
9	Коэффициент Пуассона	0,122	0,136	0,134
10	Водопоглощение, %	2,7	1,5	1,65
11	Водостойкость	0,9	0,96	0,94
12	Марка по морозостойкости	300	300	300
13	Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,67	0,68	0,70
14	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	1,17	1,16	1,16
15	Температуропроводность, ·10 ⁻⁷ м ² /с	4,04	4,04	4,25
16	Цена, руб./м ³	10000	10300	10800

Значение обобщенного критерия качества зависит от соотношения коэффициентов весомости. Их выбор, как правило, производится на основе сформированных на практике требований. Очевидно, что показатели физико-механических свойств для бетонов конструкционного назначения являются доминирующими. Поэтому значение коэффициента весомости для данной группы свойств принято равным $\alpha_2 = 0,55$.

Таблица 2 – Значения частных критериев

№	Наименование показателя	Вид бетона		
		ВПЛБ	НМВПЛБ	ВПЛФБ
1	Критерий подвижности	1,16	1,00	1,10
2	Критерий прочности при изгибе	0,76	0,84	1,02
3	Критерий прочности при сжатии	0,88	0,90	0,95
4	Критерий призмной прочности	1,10	1,13	1,15
5	Критерий удельной прочности	1,17	1,26	1,41
6	Критерий трещиностойкости	1,00	1,01	1,08
7	Критерий упругости	0,73	0,78	0,96
8	Критерий хрупкости	1,22	1,36	1,34
9	Критерий водопоглощения	0,56	1,00	0,91
10	Критерий водостойкости	1,13	1,20	1,18
11	Критерий морозостойкости	1,00	1,00	1,00
12	Критерий теплопроводности	1,87	1,84	1,79
13	Критерий удельной теплоемкости	1,38	1,36	1,36
14	Критерий температуропроводности	0,35	0,35	0,33

Для двух других критериальных функций второго уровня, связанных с технологическими и эксплуатационными свойствами, приняты следующие значения коэффициентов весомости: $\alpha_1 = 0,15$ и $\alpha_3 = 0,30$. С учетом данных таблиц 1 и 2 вычислены значения обобщенного критерия качества и значения относительного изменения стоимости материала:

– для НМВПЛБ: $F_k = 1,04$, $\delta C = 1,03$;

– для ВПЛФБ: $F_k = 1,11$, $\delta C = 1,08$;

Отсюда значения критерия технико-экономической эффективности:

– для НМВПЛБ: $k_{ef} = 1,21$;

– для ВПЛФБ: $k_{ef} = 1,32$.

Найденные значения критерия технико-экономической эффективности свидетельствуют о том, что модифицированные высокопрочные легкие бетоны по сравнению с базовым составом имеют более высокие показатели качества ($F_k = 1,04$ и $F_k = 1,11$ для высокопрочного легкого бетона модифицированного наноразмерной добавкой и микродисперсной фиброй, соответственно), при этом для обеспечения указанного повышения качества расходуется незначительное количество ресурсов, что обеспечивает высокое значение обобщенного критерия технико-экономической эффективности. Как следствие, применение наномодифицированного высокопрочного легкого бетона и высокопрочного легкого фибробетона эффективно ($k_{ef} = 1,21 > 1$ и $k_{ef} = 1,32 > 1$, соответственно) по сравнению с использованием состава без модификаторов.

Таким образом, представленный метод технико-экономической эффективности может быть эффективным для оценки качественных параметров новых технологий и материалов наряду с традиционными [9-10] методами.

Список литературы/ References

1. Королев Е.В. Техничко-экономическая эффективность и перспективные строительные материалы // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 9-14.
2. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. Technical and economical efficiency for application of nanomodified high-strength lightweight concretes // Advanced Materials Research. – 2014. – Т. 1040. – С. 176-182.
3. Гладких В.А., Королев Е.В. Техничко-экономическая эффективность применения сероасфальтобетонов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 4. – С. 76-83.
4. Береговой А.М., Дерина М.А., Петрянина Л.Н. Техничко-экономическая эффективность энергосберегающих решений в архитектурно-строительном проектировании // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 2 (23). – С. 144-148.
5. Голунов С.А., Пустовгар А.П., Пашкевич С.А., Дудяков Е.В. Оценка эффективности современных композиционных фасадных систем с тонкими штукатурными слоями и утеплителем из минеральной ваты // Строительные материалы. – 2010. – № 11. – С. 21-27.
6. Королев Е.В., Смирнов В.А., Альбакасов А.И., Иноземцев А.С. Некоторые аспекты проектирования составов многокомпонентных композиционных материалов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2011. – № 6. – С. 32-43.
7. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. A method for the reduction of deformation of high-strength lightweight cement concrete // Advances in Cement Research. – 2016. – Т. 28. – № 2. – С. 92-98.
8. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Деформации высокопрочных легких бетонов на полых микросферах и способ их снижения // Строительные материалы. – 2015. – № 9. – С. 23-30.
9. Северова Е.А., Пашкевич С.А., Адамцевич А.О. Энергетическая эффективность строительной отрасли в России – аспекты развития // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 1 (6). – С. 18-21.
10. Говоров В.Е., Чичиль А.В. Оценка эффективности системы преобразования энергии по технико-экономическому критерию эффективности // Журнал научных и прикладных исследований. – 2015. – № 11. – С. 105-109.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Korolev E.V. Tehniko-jekonomicheskaja jeffektivnost' i perspektivnye stroitel'nye materialy [Technical and economic efficiency and perspective building materials] // Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and construction]. – 2013. – № 3. – P. 9-14. [in Russian].
2. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. Technical and economical efficiency for application of nanomodified high-strength lightweight concretes // Advanced Materials Research. – 2014. – T. 1040. – P. 176-182.
3. Gladkikh V.A., Korolev E.V. Tehniko-jekonomicheskaja jeffektivnost' primeneniya seroasfal'tobetonov [Technical and economic efficiency of sulfur asphalt] // Vestnik MGSU [Bulletin MSUCE]. – 2013. – № 4. – P. 76-83. [in Russian].
4. Beregovoj A.M., Derina M.A., Petrjanina L.N. Tehniko-jekonomicheskaja jeffektivnost' jenergosberegajushhih reshenij v arhitekturno-stroitel'nom proektirovanii [Technical and economic efficiency of energy-saving solutions in the architectural and building design] // Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and construction]. – 2015. – № 2 (23). – P. 144-148. [in Russian].
5. Golunov S.A., Pustovgar A.P., Pashkevich S.A., Dudjakov E.V. Ocenka jeffektivnosti sovremennyh kompozicionnyh fasadnyh sistem s tonkimi shtukaturnymi slojami i uteplitelem iz mineral'noj vaty [Evaluating the effectiveness of modern composite facade systems with thin layers of plaster and insulation of mineral wool] // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2010. – № 11. – P. 21-27. [in Russian].
6. Korolev E.V., Smirnov V.A., Al'bakasov A.I., Inozemtcev A.S. Nekotorye aspekty proektirovanija sostavov mnogokomponentnyh kompozicionnyh materialov [Some aspects of the design of multicomponent composite materials] // Nanotehnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal [Nanotechnologies in construction: a scientific online magazine]. – 2011. – № 6. – P. 32-43. [in Russian].
7. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. A method for the reduction of deformation of high-strength lightweight cement concrete // Advances in Cement Research. – 2016. – T. 28. – № 2. – P. 92-98.
8. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. Deformacii vysokoprochnykh legkih betonov na polyh mikrosferah i sposob ih snizhenija [Deformation of high-strength lightweight concrete hollow microspheres and a method of reducing them] // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2015. – № 9. – P. 23-30. [in Russian].
9. Severova E.A., Pashkevich S.A., Adamcevic A.O. Jenergeticheskaja jeffektivnost' stroitel'noj otrasli v Rossii – aspekty razvitiya [The energy efficiency of the construction industry in Russia - aspects of development] // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2013. – № 1 (6). – P. 18-21. [in Russian].
10. Govorov V.E., Chichil' A.V. Ocenka jeffektivnosti sistemy preobrazovaniya jenergii po tehniko-jekonomicheskomu kriteriju jeffektivnosti [Evaluating the effectiveness of the energy conversion system of the technical and economic criteria of efficiency] // Zhurnal nauchnyh i prikladnyh issledovanij [Journal of Scientific and Industrial Research]. – 2015. – № 11. – P. 105-109. [in Russian].

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.233

Казаков А.В.¹, Калимуллин Р.Ф.², Якунин Н.Н.³¹Старший преподаватель, ²ORCID: 0000-0003-4016-2381, кандидат технических наук, доцент;³доктор технических наук, профессор, Оренбургский государственный университет**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СМАЗОЧНОГО ПРОЦЕССА
В ПОДШИПНИКАХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ****Аннотация**

В статье приведено описание новой информационно-измерительной системы оценки смазочного процесса в подшипниках двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены теоретические предпосылки работы данной системы. Описаны принципы разработки основных элементов системы. Направлениями использования системы являются оценка качества приработки подшипников коленчатого вала; диагностирование подшипников коленчатого вала; определение малоизносных режимов работы при пуске; определение малоизносных режимов работы под нагрузкой.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, оценка, смазочный процесс, подшипники, двигатели.

Kazakov A.V.¹, Kalimullin R.F.², Jakunin N.N.³¹Senior lecturer, ²ORCID: 0000-0003-4016-2381, PhD in Engineering, Associate professor,³PhD in Engineering, Professor, Orenburg State University**INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF THE EVALUATION OF LUBRICATION IN BEARINGS
OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES****Abstract**

The article presents the description of new information-measuring system of the evaluation of lubrication in bearings of internal combustion engines. The theoretical operation of the system. Describes the principles of developing the basic elements of the system. Directions of use of the system is to evaluate the quality of the running of the crankshaft bearings; diagnosis crankshaft bearings; determining the wear little operating modes at the start; determination of the wear modes little load.

Keywords: information-measuring system, evaluation, process lubricant, bearings, engines.

Важным инструментом при разработке, модернизации и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания является экспериментальное исследование смазочных процессов в подвижных сопряжениях.

Известные методы исследования в большинстве своем требуют разборки и сборки двигателя, установки специальных датчиков или обработки деталей, что ведёт к повышенным материальным, трудовым и временным

затратам. К тому же, ряд методов требует дорогостоящего оборудования, специальных средств защиты и высококвалифицированного персонала.

Необходим такой экспериментальный метод, который позволял бы достоверно и оперативно оценивать смазочный процесс в подвижных сопряжениях штатных двигателей, а не специально подготовленных к испытаниям. Новый метод может базироваться известных электрофизических методах и средствах трибомониторинга [1].

В Оренбургском государственном университете разработана информационно - измерительная система «Автоматизированная система оценки смазочного процесса» (АСОСП), позволяющая оперативно, достоверно и с малыми затратами ресурсов получать, отображать и хранить информацию о смазочном процессе. Техническая новизна разработки защищена охранными документами на результаты интеллектуальной деятельности [2].

Оценка смазочного процесса проводится по параметру относительной продолжительности существования смазочного слоя E_g . Структурная схема измерения представлена на рис. 1.

Устройство для контроля состояния подшипников 14 образуют два функциональных модуля – генератора сигналов 1 и детектора импульсов 15. Модуль генератора сигналов вырабатывает входной электрический сигнал с частотой $f_{ген}$ и амплитудой напряжения $U_{ген}$, который подается на блок цилиндров 5.

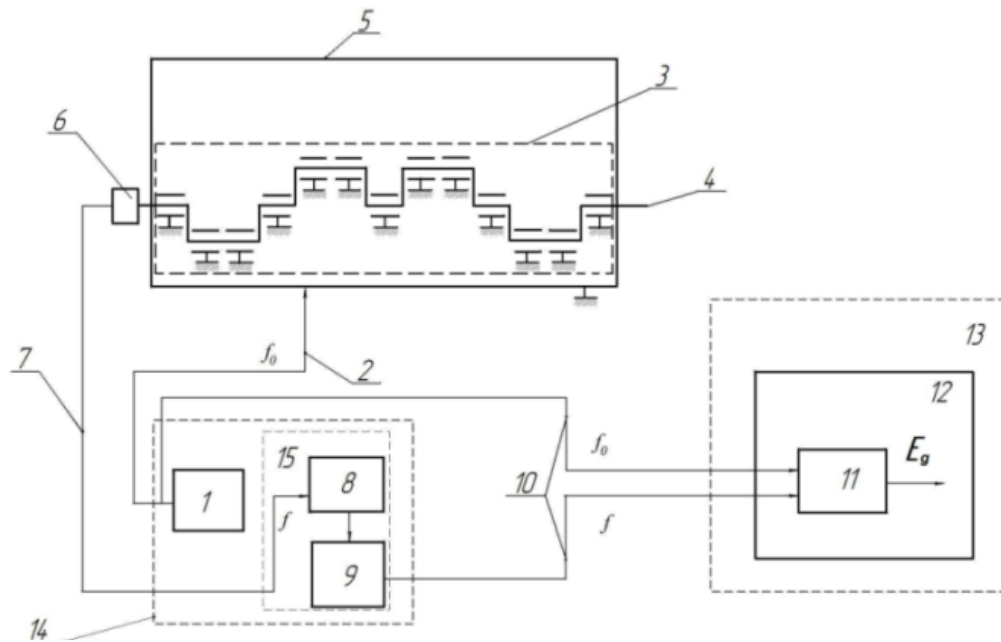


Рис. 1 – Структурная схема замера параметра E_g АСОСП:

- 1 – модуль генератора сигналов; 2, 7, 10 – информационные шины; 3 – подшипники; 4 – коленчатый вал;
5 – блок цилиндров двигателя; 6 – токосъемник; 8 – первичный преобразователь; 9 – частотный фильтр;
11 – блок счёта импульсов; 12 – устройство сопряжения; 13 – компьютер;
14 – устройство для контроля состояния подшипников; 15 – модуль детектора импульсов

Параметры выходного электрического сигнала зависят от смазочного процесса в каждом из подшипников вала. Если во всех подшипниках существует режим жидкостной смазки, и между трущимися поверхностями образуется диэлектрический смазочный слой, то сигналы проходят через подшипники без изменения своей частоты и амплитуды. При нарушении режима жидкостной смазки между трущимися поверхностями образуется металлический контакт, и теряется часть импульсов. При этом, общее количество потерянных за единицу времени импульсов f_{ϕ}^{Σ} пропорционально суммарной продолжительности нарушения режима жидкостной смазки в отдельных подшипниках. В итоге, импульсы, прошедшие через токосъемник 6, коленчатый вал 4, подшипники 3 и блок цилиндров 5, поступают на модуль детектора импульсов 15. На основе поступивших сигналов через устройство сопряжения 12 с компьютером 13 при помощи разработанного программного обеспечения определяется величина параметра $E_g = 1 - f_{\phi}^{\Sigma} / f_{ген}$, которая в реальном времени τ записывается с частотой 0,1 с в файл, и выводится на монитор в виде зависимости

Структурная схема показана АСОСП на рис. 2.

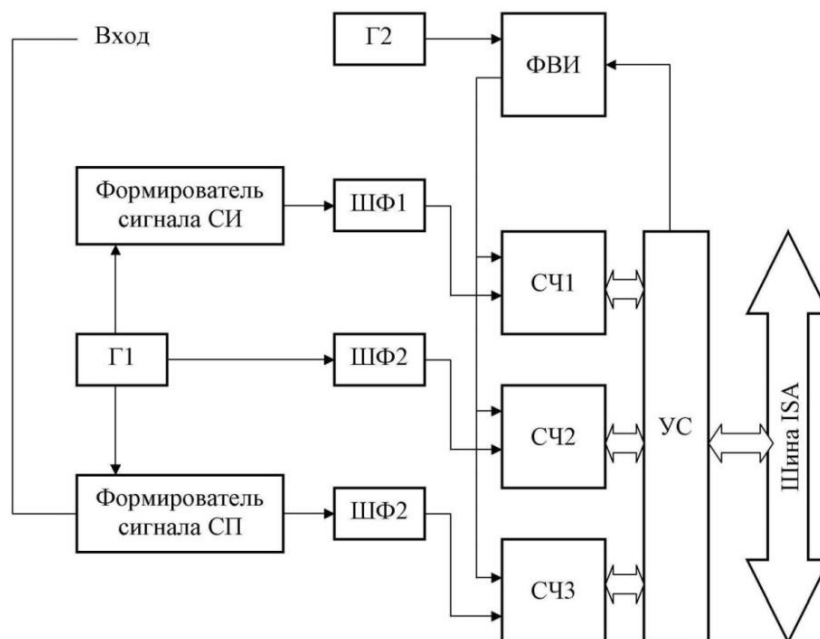


Рис. 2 – Структурная схема АСОСП

Модуль генератора сигналов (ГС) состоит из формирователя сигнала СИ, формирователя сигнала СП и генератора Г1. Опорную частоту системы вырабатывает генератор прямоугольных импульсов.

Для передачи данных и сопряжении ГС и входом частотомера имеется буфер, выполняющий функцию сопряжения и усилителя мощности - шинный формирователь (ШФ1, ШФ2 и ШФ3).

Поскольку частота определяется путем счета импульсов за единицу времени, то в схеме присутствуют счетчики (СЧ1, СЧ2 и СЧ3), которые программируются через ISA шину и УС. Счетчики имеют частоту счета более, чем 500 КГц и управляются формирователем временного интервала (ФВИ).

Формирователь временного интервала (ФВИ) вырабатывает временные интервалы, длительностью соответствующей точности измерения. Для формирования временных интервалов ФВИ имеется генератор с максимальной стабильностью частоты Г2.

Для сопряжения системы с шиной ISA служит устройство сопряжения (УС), которое обеспечивает обмен данных между ПК и системой. Обращение к системе через УС представляет собой обращение к порту, при этом, поскольку уже существуют используемые порты, номера портов уникальны (выбраны порты с адресами 0368 – 036F, так как эти порты не используются стандартными контролерами и платами расширения). Так как система не требует сверхбыстрой обработки принимаемых данных (асинхронного обмена), то прерывания ПК и прямой доступ к памяти не используется. Таким образом, УС включает в себя схему выбора адреса, формирователи шин адреса, данных и управления, к которым подключаются счетчики и формирователь временного интервала.

Принцип работы системы следующий. Генератор Г1 вырабатывает прямоугольные импульсы с частотой 500 КГц, которые поступают на схемы формирователя сигнала СИ и формирователя сигнала СП. С выходов формирователей сигналов и генератора сигналы поступают на входы шинных формирователей.

С выходов ШФ1, ШФ2 и ШФ3 сигналы поступают на входы счетчиков СЧ1, СЧ2 и СЧ3. На входы разрешения счета поступает импульс с ФВИ, длительность которого равна времени подсчета импульсов. Счетчики за временной интервал отсчитывают количество импульсов приходящее на их вход. Доступ к счетчикам с системной шиной осуществляется посредством УС. УС осуществляет запись данных и считывание информации счетчиков. Номер счетчика определяется УС в зависимости от сигналов системной шины. Управление ФВИ осуществляется также УС.

Для достижения большей чувствительности системы к входному сигналу, сигнализирующему наличие или отсутствие контакта в паре терния, увеличена частота генератора опорной частоты до 1 МГц. При этом формирователь СИ выполнен на триггере, выполняющем роль делителя пополам при отсутствии контакта.

Разработано УС компьютера с анализатором режимов трения [2]. В качестве системной магистрали выбрана ISA. Принято во внимание сочетание программных средств компьютера и жесткой логики УС с перенесением сложной обработки на компьютер. УС со встроенным частотомером выполнено на отдельной плате, и вставляется в слот ЭВМ.

Программное обеспечение написано на языках высокого уровня C++ 3.0 и Ассемблера.

Описанная информационно-измерительная система «Автоматизированная система оценки смазочного процесса» является основой разрабатываемой системы управления смазочными процессами в подвижных сопряжениях двигателей внутреннего сгорания.

Система может быть использована для решения комплекса задач ресурсосберегающей эксплуатации автомобилей. Так, разработан комплекс методик повышения долговечности автомобильных двигателей внутреннего сгорания в эксплуатации: оценки качества приработки подшипников коленчатого вала [3]; диагностирования подшипников коленчатого вала [4]; определения малоизносных режимов работы при пуске [5, 6]; определения малоизносных режимов работы под нагрузкой [7], определения малоизносных скоростных режимов движения автотранспортного средства [8].

Список литературы/ References

1. Подмастерьев, К.В. Универсальные электронные средства трибомониторинга / К.В. Подмастерьев, Е.В. Пахолкин, В.В. Мишин // Гидродинамическая теория смазки – 120 лет: Труды Международного научного симпозиума. - Орел: ОрелГТУ. - 2006. - С.267 - 277.
2. Патент RU №66046 U1, МПК G 01 M 13/04. Устройство для контроля состояния подшипников / Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко, С.Б. Цибизов, М.Р. Янучков (РФ). – №2007112656/22. – Заявлено 04.04.2007 – Решение о выдаче патента от 04.04.2007 г. – Оpubл. 27.08.2007 г., Бюл. №24. – 3 с.: ил.
3. Калимуллин, Р.Ф. Совершенствование методики оценки качества приработки подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин, А.П. Фот, Н.Н. Якунин // Вестник Оренбургского государственного университета, 2006. – № 9. – С.335 – 342.
4. Калимуллин, Р.Ф. Разработка диагностического обеспечения подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 5 (64). – С. 101 – 108.
5. Калимуллин, Р.Ф. Оценка приспособленности автомобильных двигателей к режимам пуска и прогрева по параметрам смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала / Н.Н. Якунин, Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко // Транспорт Урала. – 2008. – № 2. – С. 110 – 114.
6. Калимуллин, Р.Ф. Эффективность предпускового подогрева автомобильного двигателя / Р.Ф. Калимуллин // Вестник Сибирской автомобильно-дорожной академии. – 2015. – №1. – С. 11 – 17.
7. Калимуллин, Р.Ф. Методика оценки режимов работы автомобильного двигателя по критерию износостойкости подшипников коленчатого вала / Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко, И.В. Тюняев, С.Б. Цибизов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. - № 1(69). – С. 216 – 222.
8. Калимуллин, Р.Ф. Метод малоизносной эксплуатации автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко // Вестник Южно-Уральского государственного технического университета. Серия «Машиностроение». - 2016. - Т. 16. - № 1. - С. 16-27.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Podmaster'ev, K.V. Universal'nye jelektronnye sredstva tribomonitoringa [Universal electronic tools tribomonitoring] / K.V. Podmaster'ev, E.V. Paholkin, V.V. Mishin // Gidrodinamicheskaja teorija smazki – 120 let: Trudy Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. - Orel: OrelGTU. - 2006. - S.267 - 277. [in Russian]
2. Patent RU №66046 U1, MPK G 01 M 13/04. Ustrojstvo dlja kontrolja sostojanija podshipnikov [Device for condition monitoring of bearings]/ R.F. Kalimullin, S.Ju. Kovalenko, S.B. Cibizov, M.R. Januchkov (RF). – №2007112656/22. – Zajavleno 04.04.2007 – Reshenie o vydache patenta ot 04.04.2007 g. – Opubl. 27.08.2007 g., Bjul. №24. – 3 s.: il. [in Russian]
3. Kalimullin, R.F. Sovershenstvovanie metodiki ocenki kachestva prirabotki podshipnikov kolencatyh valov avtomobil'nyh dvigatelej [improving the methodology for assessing the quality of the running bearings of crankshafts of automobile engines] / R.F. Kalimullin, A.P. Fot, N.N. Jakunin // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg state University], 2006. – № 9. – S.335 – 342. [in Russian]
4. Kalimullin, R.F. Razrabotka diagnosticheskogo obespechenija podshipnikov kolencatyh valov avtomobil'nyh dvigatelej [Development of diagnostic assurance of the bearings of crankshafts of automobile engines] / R.F. Kalimullin // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Irkutsk state technical University]. – 2012. – № 5 (64). – S. 101 – 108. [in Russian]
5. Kalimullin, R.F. Ocenka prisposoblennosti avtomobil'nyh dvigatelej k rezhimam puska i progreva po parametram smazochnogo processa v podshipnikah kolencatogo vala [Evaluation of fitness of automobile engines to the modes of start-up and warm-up according to the parameters of lubrication in bearings of cranked shaft] / N.N. Jakunin, R.F. Kalimullin, S.Ju. Kovalenko // Transport Urala [The Transport Of The Urals]. – 2008. – № 2. – S. 110 – 114. [in Russian]
6. Kalimullin, R.F. Jefferktivnost' predpuskovogo podogreva avtomobil'nogo dvigatelja / R.F. Kalimullin [The efficiency of preheating an automotive engine] // Vestnik Sibirskoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii [The Bulletin of the Siberian automobile-road Academy]. – 2015. – №1. – S. 11 – 17. [in Russian]
7. Kalimullin, R.F. Metodika ocenki rezhimov raboty avtomobil'nogo dvigatelja po kriteriju iznosostojkosti podshipnikov kolencatogo vala [The method of estimating the operation modes of the engine according to the criterion of wear resistance of bearings of a cranked shaft] / R.F. Kalimullin, S.Ju. Kovalenko, I.V. Tjunjaev, S.B. Cibizov // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of Saratov state technical University]. – 2013. - № 1(69). – С. 216 – 222. [in Russian]
8. Kalimullin, R.F. Metod maloiznosnoj jekspluatcii avtomobil'nyh dvigatelej [Method without wear operation of automotive engines] / R.F. Kalimullin, S.Ju. Kovalenko // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija «Mashinostroenie» [Bulletin of the South Ural state technical University. Series "Engineering"]. - 2016. - T. 16. - № 1. - S. 16-27. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.193

Калимуллин А.Т.¹, Лесков И.А.², Троценко В.М.³, Темников Е.А.⁴¹Аспирант, ассистент кафедры Электроснабжение промышленных предприятий,²студент, Энергетический факультет, ³студент, Энергетический факультет,⁴студент, Энергетический факультет, Омский Государственный Технический Университет**АНАЛИЗ ПКЭ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА. КОМПЕНСАЦИЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПБВ И РПН****Аннотация**

В статье рассмотрены такие актуальные вопросы, как расчет и анализ показателей качества электрической энергии в литейном цехе. Показатели качества электроэнергии, выходя за допустимые пределы, в совокупности с другими факторами приводят к экономическим потерям. На качество электрической энергии может влиять большое количество факторов, один из которых - потребитель с переменной нагрузкой (дуговые сталеплавильные печи, сварочные аппараты и т.д.). В данной статье показано как индукционные плавильные печи влияют на напряжение, в результате чего требуется компенсация. Регулирование отклонения напряжения производится с помощью установок ПБВ и РПН цеховых трансформаторов.

Ключевые слова: показатели качества электроэнергии, индукционные печи, отклонение напряжения, качество электроэнергии.

Kalimullin A.T.¹, Leskov I.A.², Trotsenko V.M.³, Temnikov E.A.⁴¹Postgraduate student, assistant of the department of power supply for industrial enterprises, ²student, Energy Department,³student, Energy Department, ⁴student, Energy Department, Omsk State Technical University**ANALYSIS PQP FOUNDRIES. DEFLECTION COMPENSATION VOLTAGE USING OFF-LOAD TAP CHANGER AND ON-LOAD TAP CHANGER****Abstract**

The article deals with topical issues such as the calculation and analysis of indicators of quality of electric energy in the foundry. Power quality, going beyond the limits, in combination with other factors result in economic losses. The quality of electric power may affect a large number of factors, one of which - the consumer with a variable load (electric arc furnaces, welding machines, etc.).

This article shows how the induction-melting furnace affect the voltage, thereby requiring compensation. Regulation of voltage deviation is performed by off-load tap changer transformer load tap changer shop.

Keywords: power quality indicators, induction furnaces, voltage deviation, measuring power quality, power quality.

Electrical energy is one of the main components of the production process. In connection with the development of market relations in the power of electricity to be regarded not only as a physical phenomenon, but as a commodity, which must comply with certain quality and market requirements. Power quality has a significant impact on the reliability of the electrical equipment and the technical and economic indicators. Power quality, going beyond the limits, in combination with other factors result in economic losses.

High quality electricity and its uninterrupted supply, so-called, reliability, these are the main components of the power supply. The quality of electrical power may affect a large number of factors, which break it and lead to deterioration. Grid itself can be a source of various kinds of violations, their variety is very great. This may be a thunderstorm strikes, switching and switching equipment.

All the main indicators of quality of electric energy and their tolerances and variations collected in GOST 32144-2013 "Of electrical energy. Compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems" [1]. Consumers with variable load makes a tangible contribution to the reduction of power quality. For the role of the variable load may extend drives reversible rolling mills, electric arc furnaces, welding machines, etc. In this article, we are interested in induction melting furnaces and assess their impact on the deviation of voltage and consequently, the SCE.

Voltage tolerance is directly related to the natural diurnal, seasonal fluctuations and technological electrical load of household and industrial customers connected to the network. Among other factors affecting the appearance of voltage fluctuation, it is necessary to allocate the regulation voltage generators of power, the use of RPN, including reactors and synchronous condensers in substations power systems. Also, changes in the power system voltage nodes cause the switching circuits in the electrical networks, which are the consequence of the change of its parameters.

Each power receiver is designed to operate at rated voltage and should ensure the normal operation when the voltage deviation from the nominal value by a predetermined GOST. When changing the voltage within this operating range can vary the values of the output power setting of the receiver, for example, the temperature in the electro-thermal installation, the illumination from the lighting installation, the useful power to the motor shaft, etc.

Along with the change in the output parameters, and in some cases even when the output parameters do not change, the change in voltage leads to a change in power consumption of the receiver power.

Work electrothermal installations with a significant decrease in the voltage deteriorates significantly, as it increases the duration of the process. Induction melting furnace of industrial frequency and high frequency are the three-phase electrical load "quiet" mode. increased frequency furnaces are powered by frequency converters gate to which is applied an alternating current voltage of 0.4 kV. Induction furnaces have low power factor of 0.1 to 0.5.

The basis of the analysis taken by the foundry plant JSC "Credo". The analysis of the SCE plant and determine whether the voltage adjustment is required.

Driving foundry plant is show in Figure 1.

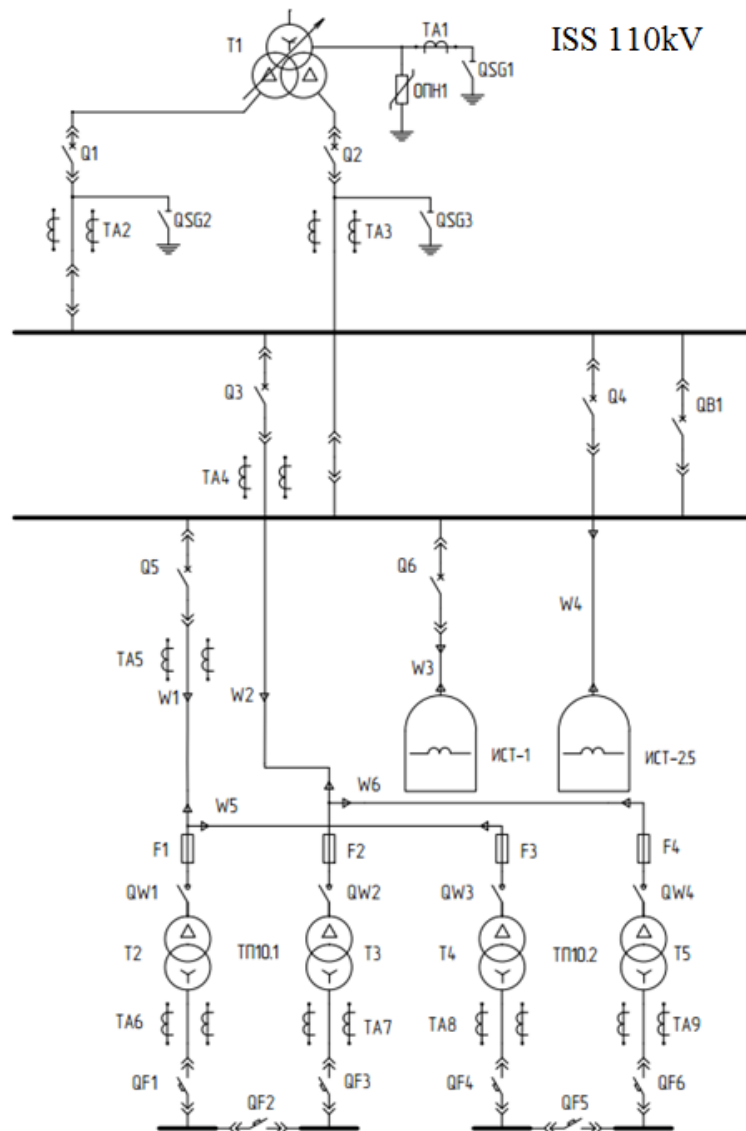


Fig. 1 – The scheme for calculating voltage variations on tires 0.4 kV transformer substation

Payment voltage deviation is performed by installation guild transformers WSP devices that have changed the transformation ratio. All transformers in the shop have a 5-speed switching by 2.5 % each, which allows you to adjust the voltage within ± 5 %. Transformers TPДН-25000/110 115/11 kV voltage have $\pm 16\%$ on-load tap changer device (9 steps by 1.78 %) [2].

For the calculation of a given level or voltage deviation at point 1 (point section of industrial enterprises and power grid networks):

- $\delta U_1'$ in the period of maximum plant load = 0
- $\delta U_1''$ during low load plant = 2,5

Define the voltage deviation during peak load $\delta U_2'$ and minimum load $\delta U_2''$ on tires 0.4 kV transformer substations of the following expressions plant [2]

$$\delta U_2' = \delta U_1' - \Delta U_{T, ГПП}' + \delta U_{T, ГПП}' - \Delta U_{КЛ, i}' - \Delta U_{T, ТП, i}' + \delta U_{T, ТП, i}';$$

$$\delta U_2'' = \delta U_1'' - \Delta U_{T, ГПП}'' + \delta U_{T, ГПП}'' - \Delta U_{КЛ, i}'' - \Delta U_{T, ТП, i}'' + \delta U_{T, ТП, i}'';$$

where $\Delta U_{T, ГПП}'$, $\Delta U_{T, ГПП}''$ – voltage drop in the transformer GPP between maximum and minimum loads, %;

$\Delta U_{T, ТП, i}'$, $\Delta U_{T, ТП, i}''$ – voltage drop in the transformer i-th TP between maximum and minimum loads, %;

$\delta U_{T, ГПП}'$, $\delta U_{T, ГПП}''$ – additives voltage generated by the transformer load tap changer switch GPP between maximum and minimum loads, %;

$\delta U_{T, ТП, i}'$ – additive voltage generated by the i-th transformer TP, %;

$\Delta U_{КЛ, i}'$, $\Delta U_{КЛ, i}''$ – voltage loss in the cable line from the GPP to the i-th TP between maximum and minimum loads.

When calculating the voltage drops in transformers and cables, for a minimum load is taken equal to the load $0,25P_p$ or $0,25I_{pi}$.

Define the voltage loss on all parts of the circuit from the transformer to the GPP tires 0.4 kV package transformer substation.

1) Voltage losses in transformers GPP

The load of the GPP

$$\begin{aligned}P_{\max} &= 32702,02 \text{ kVt}; \\Q_{\max} &= 11934,06 \text{ kVar}; \\S_{\max} &= 34811,54 \text{ kVA}.\end{aligned}$$

On 1 transformer GPP

$$\begin{aligned}P_{\max} &= \frac{32702,02}{2} = 16351,01 \text{ kVt}; \\Q_{\max} &= \frac{11934,06}{2} = 5967,03 \text{ kVar}; \\S_{\max} &= \frac{34811,54}{2} = 17405,77 \text{ kVA}; \\\Delta U_{\text{m.iss}}' &= \frac{P_p \cdot r_m + Q_p \cdot x_m}{10U_{\text{nom}}^2} = 3,25\%; \\\Delta U_{\text{m.iss}}'' &= \frac{0,25(P_p \cdot r_m + Q_p \cdot x_m)}{10U_{\text{nom}}^2}; \\\Delta U_{\text{m.iss}}''' &= \frac{0,25(P_p \cdot r_m + Q_p \cdot x_m)}{10U_{\text{nom}}^2} = 0,81\%.\end{aligned}$$

Resistance transformer ТРДН-25000/110

$$\begin{aligned}r_B &= \frac{0,120 \cdot 115^2}{2 \cdot 25^2} = 1,27 \text{ Om}; \\r_{H1} &= r_{H2} = 2r_B; \\r_{H1} &= 2 \cdot 1,27 = 2,54 \text{ Om}; \\x_B &= \frac{u_{kBH} U_{\text{cp,nom}}^2}{100S_{\text{nom,T}}^2} \left(1 - \frac{K_p}{4}\right); \\x_{H1} = x_{H2} &= \frac{u_{kBH} U_{\text{cp,nom}}^2 K_p}{100S_{\text{nom,T}}^2 \cdot 2} = \frac{10,5 \cdot 115^2 \cdot 3,62}{100 \cdot 25 \cdot 2} = 100,5 \text{ Om}; \\x_B &= \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} \cdot \left(1 - \frac{3,62}{4}\right) = 5,3 \text{ Om}; \\K_p &= 4 \left(\frac{u_{kBH1}}{u_{kBH2}} - 1\right) = 4 \left(\frac{20}{10,5} - 1\right) = 3,62.\end{aligned}$$

2) Voltage drop in the cable lines

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{кли}}' &= \frac{\sqrt{3}P_{\text{pi}}L(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_{\text{nom}}} 100\%; \\\Delta U_{\text{кли}}'' &= \frac{\sqrt{3} \cdot 0,25P_{\text{pi}}L(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_{\text{nom}}} 100\%,\end{aligned}$$

Calculation results are listed in Table 1.

3) Resistance of shop transformers

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{T.tmi}}''' &= \frac{\sqrt{3} \cdot 0,25P_{\text{pi}}L(r_T \cos \varphi + x_T \sin \varphi)}{U_{\text{nom}}} 100\%; \\r_T &= \frac{\Delta P_k U_{\text{cp,nom}}^2}{S_{\text{nom,T}}^2}; \\z_T &= \frac{u_k U_{\text{cp,nom}}^2}{100S_{\text{nom,T}}}; \\x_T &= \sqrt{z_T^2 - r_T^2}.\end{aligned}$$

TM3-400/10

$$\begin{aligned}r_T &= \frac{5,9 \cdot 10,5^2}{400^2} \cdot 10^3 = 4,07 \text{ Om}; \\z_T &= \frac{4,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 400} \cdot 10^3 = 12,4 \text{ Om}; \\x_T &= \sqrt{12,4^2 - 4,07^2} = 11,7 \text{ Om}.\end{aligned}$$

Calculation results are listed in Table 2.

Table 1 – Voltage loss in the cable lines

Appointment of the cable line	I_p , A	L, km	r_0 , Om/km	x_0 , Om/km	$\cos\varphi$, o.e.	$\sin\varphi$, o.e.	$\Delta U'_{cl}$, %	$\Delta U''_{cl}$, %
ISS-TP10.1	28,050	0,480	0,592	0,085	0,750	0,670	0,111	0,028
TP10.1-TP10.2	28,050	0,160	0,592	0,085	0,790	0,610	0,038	0,010
Bulk Breaking Point (BBP) -IST1 850 kVt	46,730	0,020	0,592	0,085	0,900	0,430	0,009	0,002
BBP -IST2,5 1500 kVt	82,470	0,025	0,592	0,085	0,900	0,430	0,019	0,005

Table 2 – Loss of voltage transformers in shop

№ ISS	$S_{nom,TP}$, kVA	$K_{3.T}$, o.e.	I_p , A	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	R_T , Om	X_T , Om	$\Delta U'_{T,TP}$ %	$\Delta U''_{T,TP}$ %
TP10.1	400,00	0,70	15,40	0,85	0,53	4,07	11,70	2,45	0,61
TP10.2	400,00	0,70	15,40	0,85	0,53	4,07	11,70	2,45	0,61

Table 3 – Calculation of the voltage deviation between the maximum and minimum loads

TP	$\delta U_1'$, %	$\Delta U_{T.ISS}'$, %	$\delta U_{доб.ISS}'$, %	$\Delta U_{CL}'$, %	$\Delta U_{TP}'$, %	$\delta U_{доб.TP}'$, %	$\delta U_2'$, %
During the period of maximum load							
TP 10.1	0,00	3,25	5,00	0,11	2,45	5,00	4,19
TP 10.2	0,00	3,25	5,00	0,15	2,45	5,00	4,15
IST-1	0,00	3,25	5,00	0,01	0,00	0,00	1,74
IST-2,5	0,00	3,25	5,00	0,02	0,00	0,00	1,73
TP	Between the minimum load						
TP 10.1	2,50	0,81	5,00	0,03	0,61	5,00	11,05
TP 10.2	2,50	0,81	5,00	0,01	0,61	5,00	11,07
IST-1	2,50	0,81	5,00	0,00	0,00	0,00	6,69
IST-2,5	2,50	0,81	5,00	0,01	0,00	0,00	6,69

According to the Standard, at the receiver end is permitted voltage deviation within $\pm 5\%$ of U_{nom} for 95 % of the time of day and $\pm 10\%$ of U_{nom} within 5 % of the time of day [1].

The analysis of the results, we can conclude that at 0.4 kV buses voltage deviations during peak load, correspond to GOST 32144-2013, so the regulation is not required. A voltage deviation during low load does not match the guests, so you need to change the control level transformers.

Compensation voltage deviation is made by adjusting the setting of the off-load tap changer transformers at the appropriate level $\delta U_{T,TP,доб}+0\%$ and on-load tap changer transformers ISS on stage: $-1 \cdot 1,78 = -1,78\%$.

$$\delta U_{T,TP,доб1} = 5\% - 1,78\% = 3,22\%.$$

The resulting voltage deviation compensation value, GOST 32144-2013, with no need for daily voltage regulation [3]. The results after adjustment values shown in Table 4.

Table 4 – The values of voltage deviation between the maximum and minimum loads for the selected control steps

TP	$\delta U_1'$, %	$\Delta U_{T.ISS}'$, %	$\delta U_{доб.ISS}'$, %	$\Delta U_{CL}'$, %	$\Delta U_{TP}'$, %	$\delta U_{доб.TP}'$, %	$\delta U_2'$, %
During the period of maximum load							
TP 10.1	0,00	3,25	3,22	0,11	2,45	0,00	-2,59
TP 10.2	0,00	3,25	3,22	0,15	2,45	0,00	-2,63
IST-1	0,00	3,25	3,22	0,01	0,00	0,00	-0,04
IST-2,5	0,00	3,25	3,22	0,02	0,00	0,00	-0,05
TP	Between the minimum load						
TP 10.1	2,50	0,81	3,22	0,03	0,61	0,00	4,27
TP 10.2	2,50	0,81	3,22	0,01	0,61	0,00	4,29
IST-1	2,50	0,81	3,22	0,00	0,00	0,00	4,91
IST-2,5	2,50	0,81	3,22	0,01	0,00	0,00	4,91

Performing simple calculations, you can estimate the quality of the power of a single shop of the plant and adjust beyond GOST PQP consequently, reduce the losses of the enterprise as a whole.

Список литературы/ References

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Расчет показателей качества электроэнергии [Электронный ресурс] – Режим доступа - URL: <http://www.studfiles.ru/preview/2604973/> (дата обращения: 25.08.2016).
3. Нозик А. А. Улучшение качества электроэнергии в трехфазных сетях с нелинейными нагрузками. // Промышленная электроника. / А. А. Нозик, Сазонов А. С., Шехтель Л. П. – 2012. – № 2. – С. 24-27.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 32144-2013. Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehničeskikh sredstv jelektromagnetnaja. Normy kachestva jelektricheskoi jenergii v sistemah jelektronsnabzhenija obshhego naznachenija [GOST 32144-2013. Electric Energy. Compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems] [in Russian]
2. Calculation of power quality [Raschet pokazatelej kachestva jelektronejergii] [Electronic resource] – URL: <http://www.studfiles.ru/preview/2604973/> (accessed: 08.25.2016). [in Russian]
3. Nozick A.A. Uluchshenie kachestva jelektronejergii v trehfaznyh setjah s nelinejnymi nagruzkami [Improving power quality in three-phase systems with non-linear loads] // Promyshlennaja jelektronika [Industrial Electronics] / A.A. Nozick, Sazonov S. L., Shekhtel P. - 2012. - № 2. - P. 24-27. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.021

Каменчуков А. В.¹, Ярмолинский В. А.², Лопашук В. В.³¹ORCID: 0000-0001-7997-3195, Кандидат технических наук,

Тихоокеанский государственный университет,

²доктор технических наук,

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),

³кандидат технических наук, Тихоокеанский государственный университет

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-38-00067

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**Аннотация**

В статье рассмотрены вопросы оценки изменения прочности дорожной одежды вследствие сезонных колебаний влажности грунтов земляного полотна и дисперсных слоев основания дорожной одежды. Представлены материалы полевых испытаний и анализ динамики уменьшения прочности при постепенном увеличении нагрузки. Сопоставлены данные практического и теоретического эксперимента для расчетной и фактической влажности слоев конструкции. Рассмотрены причины и тенденции изменения прочности слоев основания. Это позволит внести соответствующие изменения модель работы дорожных одежд и повысить их надежность.

Ключевые слова: дорожная одежда, прочность, влажность, транспортно-эксплуатационное качество.

Kamenchukov A.V.¹, YArmolinskiy V.A.², Lopashuk V.V.³¹ORCID: 0000-0001-7997-3195, PhD in Engineering,

Pacific National University,

²PhD in Engineering,

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University

³PhD in Engineering, Pacific National University,

This work was supported by RFBR grant №16-38-00067

SEASONAL CHANGES IN STRENGTH PAVEMENT**Abstract**

In article questions of evaluation of changes in pavement strength due to seasonal fluctuations in humidity subgrade soil and disperse layers of pavement base. Materials of field tests and analysis of the dynamics of reduced strength while gradually increasing the load. Comparing the data of practical and theoretical experiment for the calculation and the actual moisture content design layers. The causes of and trends in the strength of the base layers. This will make the appropriate changes model of road pavements and to improve their reliability

Keywords: pavement, durability, moisture, transport and operational quality, service life.

Автомобильная дорога, как комплекс линейных инженерно-технических сооружений, должна на протяжении всего срока службы отвечать требованиям нормативной и технической документации, удовлетворять требованиям качества и безопасности движения. Опыт проектирования и строительства дорог на территории юга Дальнего Востока показал, что фактический межремонтный срок службы дорог значительно меньше общепринятых стандартов [1, 2].

Достоверно установлено, что важнейшим аспектом жизненного цикла дороги является стабильность работы системы «рабочий слой земляного полотна – дорожная одежда» [3, 4]. При этом основными природно-климатическим и техногенными факторам, влияющими на работоспособность системы являются: неравномерный температурный режим работы; периодическое увлажнение поверхностными и грунтовыми водами; глубокое сезонное промерзание; не равномерное оттаивание конструктивных слоев дорожной одежды; динамическое и статическое воздействие транспортной нагрузки; усталостные изменения материалов конструкции.

Ранее были выполнены работы по дифференцированию режимы работы системы «рабочий слой земляного полотна – дорожная одежда» [5] и систематизации принципы и методы ремонта автомобильных дорог, для получения

максимального эксплуатационного и экономического эффекта, в зависимости от транспортно-эксплуатационного состояния покрытия автомобильной дороги [6 – 8]. На основе ранее выполненных исследований было установлено, что за один год работы дорожная конструкция проходит три группы характерных состояний, только одно из которых соответствует расчетному состоянию:

1. Расчетное состояние конструкции со стабильными характеристиками слоев дорожной одежды;
2. Упрочнение конструкции вследствие зимнего замерзания с образованием линз и прослоек льда, изменяющих структурную целостность конструкции;
3. Весеннее разупрочнение конструкции вследствие оттаивания мерзлых водонасыщенных слоев и нарушения их структурной целостности.

Кроме этого было установлено, что наиболее подходящим периодом ремонта, с позиции обеспечения максимальной эксплуатационной эффективности работ при оптимальной минимизации затрат на выполнение работ является тот момент, когда покрытие дороги находится в относительно хорошем состоянии (по методике ОДН 218.0.006-2002) [6 – 8].

Проектирование нежестких дорожных одежд ведется по методике ОДН 218.046-01 исходя из расчетного состояния конструкции, которое в теории обеспечивает стабильную работу конструкции автомобильной дороги в самый неблагоприятный период. Для дорог, работающих на территории юга Дальнего Востока, в условиях большого интервала колебания температур и глубокого сезонного промерзания, таким периодам, несомненно, является весенняя распутица. На практике же стабильность работы дорожной одежды в период весенней распутицы не обеспечивается, что приводит к развитию значительных дефектов и деформаций во всех конструктивных слоях дорожной одежды и земляном полотне. Это связано с тем, что несущая способность дисперсных грунтов (особенно связных) напрямую зависит от влажности материала.

Ряд теоретических расчетов показал, что расчетная влажность грунтов основания дорожной одежды, является среднестатистической величиной для каждой дорожно-климатической зоны, не дает минимального значения прочности конструкции дорожной одежды в целом. К тому же прочность дорожной одежды уменьшается не пропорционально уменьшению модуля деформируемости дисперсных грунтов основания при увеличении их влажности [5]. Характер теоретического изменения прочности дорожной одежды представлен в таблице 1.

Так как расчетная влажность грантов основания дорожной одежды, при проектировании автомобильных дорог на большинстве территории юга Дальнего Востока, изменяется в пределах от 65 до 75 % от влажности на границе текучести, то возникает необходимость оценить общую картину изменения прочности дорожных одежд в течение одного годового цикла работы (за исключением зимнего периода, когда влажность слоев основания не влияет на снижение прочности).

Полевые исследования прочности дорожной одежд проводились в расчетный и нерасчетные периоды работы конструкции с 08.04.2014 по 31.08.2016 на автомобильных дорогах III категории:

- Дорога 1 – г. Хабаровск – с. Ильинка – с. Ракитное – с. Гаровка – пос. им. Горького;
- Дорога 2 – Обход с. Ракитное.

При проведении линейных испытаний прочности дорожных одежд модуль упругости определялся методом статического нагружения круглым жестким штампом немецкой фирмы «Tasting» с пошаговым нагружением в диапазоне 0,01 – 0,60 МПа.

Таблица 1 – Теоретические изменения прочности дорожной одежды

Конструкция дорожной одежды	Общий модуль упругости дорожной одежды, МПа, при влажности основания				
	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
Дорога 1 Покрытие из плотного мелкозернистого асфальтобетона h – 5 см; Верхний слой основания из пористого крупнозернистого асфальтобетона h – 7 см; Нижний слой основания из ЩГПС обработанной битумом h – 20 см; Дополнительный слой основания – щебеночная смесь С-4 h – 38 см; Земляное полотно – супесь легкая.	308	276	228	206	174
Дорога 2 Покрытие из плотного мелкозернистого асфальтобетона h – 5 см; Верхний слой основания из пористого крупнозернистого асфальтобетона h – 8 см; Нижний слой основания из ПГС обработанной битумом h – 18 см; Дополнительный слой основания – щебеночная смесь С-6 h – 36 см; Земляное полотно – супесь пылеватая.	258	224	204	192	164



Рис. 1 – Статическое нагружение штампа фирмы «Tasting»

Прогиб под штампом вычислялся по формуле:

$$S = S_m \frac{h_p}{h_{hi}} \quad (1)$$

где S – истинный прогиб, мм; S_m – показатель индикатора, мм; h_p – расстояние по горизонтали от центра вращения стрелы до конца измерительного пальца м; h_{hi} – расстояние по горизонтали от центра вращения стрелы до точки измерения индикатора, м.

Модуль упругости определяется на основе первичного и вторичного нагружения по усредненному положению линии Давление–Прогиб с помощью полинома второй степени (пример для одного испытания показан на рис. 2) по уравнению:

$$S = a_0 + a_1 \sigma_0 + a_2 \sigma_0^2 \quad (2)$$

где σ_0 – среднее давление под штампом, МН/м²; a_0 – коэффициент полинома второй степени, мм; a_1 – коэффициент полинома второй степени, мм/(МН/м²); a_2 – коэффициент полинома второй степени, мм/(МН²/м⁴).

Коэффициенты уравнения (2) находят с помощью метода наименьших квадратов. Кривая первого нагружения характеризует модуль деформации конструкции дорожной одежды, вторая – модуль упругости:

$$E = 1.5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \sigma_{0max}} \quad (3)$$

где r – радиус штампа, мм; σ_{0max} – максимальное давление под штампом, МН/м².

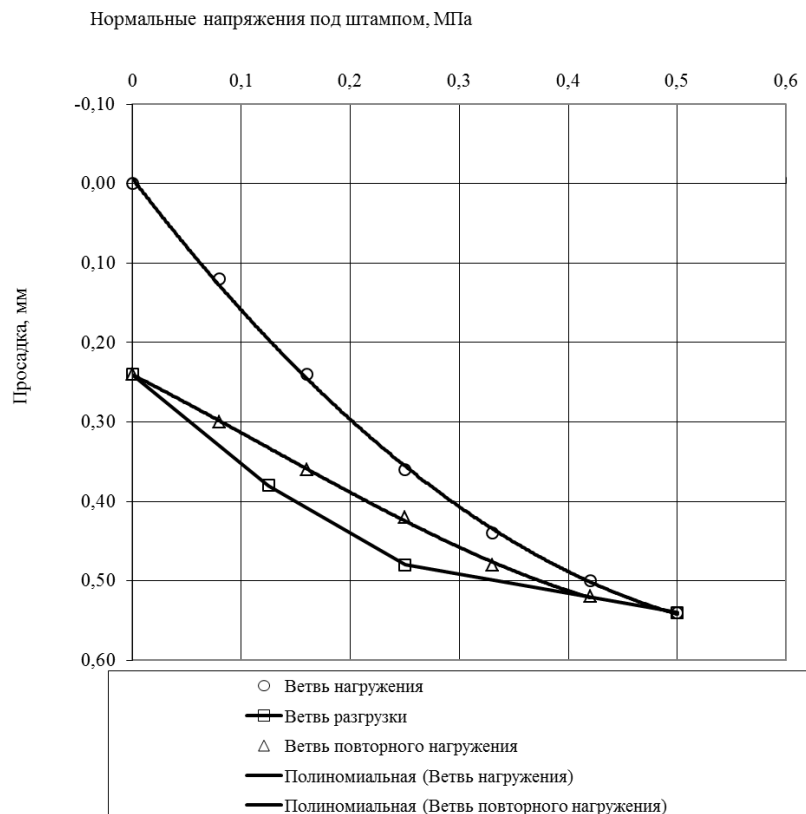


Рис. 2 – График зависимости прогиба S от напряжения под штампом P для разных условий нагружения (для одного испытания)

Конструкция дорожной одежды для дорог 1 и 2 приведена в таблице 1

Результаты сопоставления полевых испытаний и теоретических расчетов прочности дорожной одежды приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты полевых и экспериментальных исследований

ПК участка	Характеристика исследуемого участка: модуль упругости E, МПа; влажность W в долях от WT								Теоретический модуля упругости
	E, МПа	W	E, МПа	W	E, МПа	W	E, МПа	W	
	Дорога 1								
Дата обследования	14.04.2016		28.05.2016		27.07.2016		28.08.2016		-
ПК 3+70 право	254,33	0,62	168,98	0,80	281,85	0,61	280,23	0,62	206
ПК 6+55 лево	207,69	0,75	129,72	0,85	222,20	0,65	216,67	0,67	174
ПК 9+11 право	203,45	0,75	133,32	0,85	225,51	0,65	221,98	0,67	174
ПК 12+68 право	302,79	0,60	181,41	0,80	324,39	0,62	320,49	0,63	206
ПК 15+39 лево	250,03	0,65	153,92	0,80	279,75	0,62	270,84	0,62	206
ПК 18+70 право	349,32	0,60	209,63	0,75	373,89	0,60	371,52	0,60	228
ПК 22+11 лево	171,91	0,80	119,49	0,90	188,64	0,72	181,43	0,72	152
ПК 25+36 право	195,30	0,80	128,47	0,85	207,93	0,68	207,27	0,68	174
ПК 29+70 лево	286,02	0,65	193,04	0,75	300,27	0,65	294,19	0,65	228
Среднее значение	246,76	0,69	157,55	0,82	267,16	0,64	248,45	0,65	194,22
Дорога 2									
Дата обследования	08.04.2016		30.05.2016		15.07.2016		29.08.2016		-
ПК 3+50 право	345,47	0,60	236,08	0,75	374,13	0,60	363,21	0,60	204
ПК 7+80 лево	217,82	0,72	150,15	0,80	235,98	0,70	234,55	0,70	192
ПК 10+40 право	220,78	0,72	131,90	0,85	239,25	0,70	230,97	0,70	164
ПК 13+00 право	234,66	0,72	144,84	0,80	257,35	0,70	256,87	0,70	192
ПК 15+44 лево	154,90	0,80	108,40	0,90	169,73	0,74	167,00	0,74	144
ПК 19+14 право	246,30	0,65	170,69	0,80	266,15	0,67	261,74	0,67	192
ПК 20+44 лево	283,14	0,65	182,65	0,80	304,33	0,65	293,00	0,65	192
ПК 27+90 лево	262,91	0,62	171,99	0,80	282,56	0,62	272,83	0,62	192
ПК 30+11 право	222,30	0,80	142,95	0,85	238,19	0,70	235,77	0,70	164
Среднее значение	243,14	0,70	159,96	0,82	263,07	0,68	257,33	0,68	181,78

Из анализа таблицы 2 видно, что теоретическое значение прочности дорожной одежды, определенное для максимальной наблюдаемой влажности, в среднем на 20 % выше минимального значения модуля упругости. Следует отметить тот факт, что большая прочность дорожной одежды в начальный период весенней распутицы обусловлена наличием мерзлых слоев основания, т. е. тем, что глубина оттаивания дорожной одежды в первые 10-15 дней распутицы не превышает 15-20 см и основание дороги находится в мерзлом состоянии.

Существенное снижение прочности дорожной одежды наблюдается при оттаивании конструкции на глубину более 40 см, когда происходит постепенное оттаивание дисперсных грунтов с консолидацией влаги возле границы оттаивания. Этот процесс проходит постепенно, до максимума снижения прочности дорожной одежды, когда фронт оттаивания уходит за пределы дополнительного слоя основания в рабочий слой земляного полотна (глубина оттаивания дорожной одежды 60-70 см) и влажность слоев основания постепенно снижается до расчетного значения.

Так как процесс дестабилизации основания дорожной одежды напрямую зависит от интенсивности притока влаги, необходимо большое значение отдавать своевременному ремонту и поддержанию целостности покрытия дороги, отчистки откосов земляного полотна от снега и стабильной работы дорожного водоотвода. Рекомендации по выбору оптимальных методов ремонта дорожных одежд приведены в следующих работах [6 – 8].

Дальнейшая работа авторов заключается в подборе закономерностей изменения прочности дорожной одежды, адаптированной к условиям юга Дальнего Востока.

Список литературы/ References

1. Каменчуков А.В. Оценка надёжности работы нежестких дорожных одежд / А.В. Каменчуков // Четвертый Всероссийский дорожный конгресс «Перспективные технологии в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог»: сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 2015. – С. 127-131.
2. Каменчуков А.В. Оценка качества отдельных работ по ремонту покрытий автомобильных дорог / А.В. Каменчуков // Дальний Восток: Проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – Вып. 15. (Научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского). – С. 29-33.
3. Ярмолинский В.А. Особенности расчета водно-теплого режима земляного полотна автомобильных дорог Дальнего Востока в условиях глубокого сезонного промерзания / В. А. Ярмолинский // Транспортное строительство. – 2009. - №2. – С.18-20.
4. Ярмолинский А.И. Эффективность ремонта автомобильных дорог Хабаровского края / А.И. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: труды

Всероссийской молодежной научно-практической конференции (10-13 апреля 2012 года) : в 3 т./ под ред. Б.Е. Дынькина, А.Ф. Серенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012 – Т.1. С. 176-181.

5. Каменчуков А.В. Причины нестабильной работы дорожных одежд [Электронный ресурс] / А.В. Каменчуков, В.А. Ярмолинский // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник трудов Восемнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (27–29 апреля 2016 г., Москва) / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. – Электрон. дан. и прогр. (46,6 Мб). – Москва : МГСУ, 2016.- С.229-232.

6. Каменчуков А. В. Методика оценки эффективности ремонта покрытий автомобильных дорог / А.В. Каменчуков, В.А. Ярмолинский // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : международный сборник научных трудов / под ред. А. И. Ярмолинского – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – № 13. – С. 47 – 52.

7. Разработка методики выбора эффективных методов ремонтных работ в зависимости от их стоимости и фактического транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия / В.А. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Транспортное строительство. 2014. - № 8 – С.23-26.

8. Каменчуков А.В. Выбор оптимальных методов ремонта покрытия автомобильных дорог Хабаровского края / В.А. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Третий Всероссийский дорожный конгресс «Модернизация и научные исследования в дорожной отрасли»: сб. науч. тр. / МОО «Дорож. Конгресс», МАДИ. – М.: ТехПолиграф-Центр, 2013. – С. 60-69.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kamenchukov A.V. Ocenka nadjozhnosti raboty nezhestkih dorozhnyh odezhd [Evaluation of reliability of the nonrigid pavements] / A.V. Kamenchukov // Chetvrtiy Vserossiyskiy dorozhnyy kongress «Perspektivnye tehnologii v stroitel'stve i jekspluatacii avtomobil'nyh dorog »: sb. nauch. tr. [Fourth Russian Road Congress "Advanced technologies in the construction and operation of highways": a collection scientific works] – М.: МАДИ, 2015. – P. 127-131 . [in Russian]

2. Kamenchukov A.V. Ocenka kachestva otdel'nyh rabot po remontu pokrytij avtomobil'nyh dorog [Evaluation of the quality of finishing work on the repair of highways pavement] / A.V. Kamenchukov // Dal'nij Vostok: Problemy razvitiya arhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksa : materialy mezhdunarodnyj nauchno-prakticheskoy konferencii [Far East: Problems of development of architectural-building and road-transport complex: Proceedings of the international scientific-practical conference]. – Habarovsk : Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2015.- Vol. 15. (Nauchnye chtenija pamjati professora M.P. Danilovskogo). – P. 29-33. [in Russian]

3. Jarmolinskij V.A. Osobennosti rascheta vodno-teplovogo rezhima zemljanogo polotna avtomobil'nyh dorog Dal'nego Vostoka v usloviyah glubokogo sezonnogo promerzaniya [Features of the calculation of water and thermal regime of the subgrade of roads of the Far East in the conditions of deep seasonal freezing] / V. A.. Jarmolinskij // Transportnoe stroitel'stvo [Transportation construction]. – 2009. – No 2. – P. 18-20. [in Russian]

4. Jarmolinskij A.I. Jefferktivnost' remonta avtomobil'nyh dorog Haba-rovskogo kraja [The effectiveness of road repair Khabarovsk Krai] / A.I. Jarmolinskij, A.V. Kamenchukov // Nauchno-tehnicheskie problemy transporta, promyshlennosti i obrazovaniya: trudy Vserossiyskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (10-13 aprilja 2012 goda) : v 3 t. [Scientific and technical problems of transport, industry and education: the works of the All-Russian Youth Scientific and Practical Conference (10-13 April 2012): in 3 vol.]/ pod red. B.E. Dyn'kina, A.F. Serenko. – Habarovsk : Izd-vo DVGUPS, 2012 – Vol. 1. P. 176-181. [in Russian]

5. Kamenchukov A.V. Prichiny nestabil'noj raboty dorozhnyh odezhd [Causes of unstability of pavements] [Electronic resource] / A.V. Kamenchukov, V.A. Jarmolinskij // Stroitel'stvo – formirovanie sredy zhiznedejatel'nosti : sbornik trudov Vosemnadcatoy Mezhdunarodnoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchenykh (27–29 aprilja 2016 g., Moskva) [Construction - the formation of living environment: Proceedings of the Eighteenth International interuniversity scientific-practical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists (27-29 April 2016, Moscow)] / M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federacii, Mosk. gos. stroit. un-t. – Jelektron. dan. i progr. (46,6 Mb). – Moskva : MGSU, 2016.- P. 229-232. [in Russian]

6. Kamenchukov A. V. Metodika ocenki jefferktivnosti remonta pokrytij avtomobil'nyh dorog [Method of evaluating the effectiveness of road repair pavements] / A.V. Kamenchukov, V.A. Jarmolinskij // Dal'nij Vostok. Avtomobil'nye dorogi i bezopasnost' dvizheniya : mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov [Far East. Roads and traffic safety: an international collection of scientific papers] / pod red. A. I. Jarmolinskogo – Habarovsk : Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2013. – No 13. – P. 47 – 52. [in Russian]

7. Razrabotka metodiki vybora jefferktivnyh metodov remontnyh rabot v zavisimosti ot ih stoimosti i fakticheskogo transportno-jekspluacionnogo sostojaniya dorozhnogo pokrytija [Develop procedures for the selection of effective methods of repair depending on their value and the actual transport and operating condition of pavements] / V.A. Jarmolinskij, A.V. Kamenchukov // Transportnoe stroitel'stvo [Transportation construction]. 2014. - No 8 – P. 23-26. [in Russian]

8. Kamenchukov A.V. Vybora optimal'nyh metodov remonta pokrytija avto-mobil'nyh dorog Habarovskogo kraja [The choice of optimal methods for repair coating roads of Khabarovsk Territory] / V.A. Jarmolinskij, A.V. Kamenchukov // Tretij Vserossiyskiy dorozhnyy kongress «Modernizacija i nauchnye issledovaniya v dorozhnoj otrasli»: sb. nauch. tr. [Third All-Russian Road Congress "Modernization and scientific research in the road sector": a collection scientific works] / MOO «Dorozh. Kongress», МАДИ. – М.: TehPoligraf-Centr, 2013. – P. 60-69. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.150

Косов Я.И.

ORCID: 0000-0001-7993-2799, аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ЛИГАТУР****Аннотация**

Обсуждается проблема создания и разработки новых типов лигатур для придания изделиям из алюминиевых сплавов уникальных свойств. Микролегирование редкоземельными элементами – один из эффективных методов улучшения микроструктуры, механических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов. Себестоимость алюминиевых сплавов со скандием тесно связана с ценой на лигатуру и способом ее производства. Проведен обзор текущего состояния фундаментальных и прикладных исследований по влиянию редкоземельного металла – эрбия на структуру и свойства деформируемых и литейных алюминиевых сплавов. Эрбий является эффективным заменителем скандия в сплавах упрочняемых дисперсными выделениями фаз вида Al_3Me с ГЦК структурой с целью снижения стоимости сплава.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, лигатуры, микролегирование РЗМ, скандий, эрбий.

Kosov Ya.I.

ORCID: 0000-0001-7993-2799, postgraduate student,
Saint Petersburg Mining University,**ADVANCED COMPOSITION OF ALUMINUM ALLOYS AND MASTER ALLOYS****Abstract**

The problem of creating and developing new types of master alloys for giving the alloy product of unique properties was discussed. Microalloying by rare earth has shown to be one of the effective methods to improve the microstructure, mechanical properties and performance characteristics of aluminum alloys. Manufacturing cost of aluminum alloys with scandium is closely dependent on the price of a master alloys and method of its production. The literature review of the current status of fundamental and applied research, which deal with the influence of rare earth metal - erbium on the structure and properties of wrought and cast aluminum alloys was performed. It has been found that erbium is an effective substitute for scandium in aluminum alloys, which precipitation strengthening by Al_3Me precipitates with FCC structure in order to reduce the cost of the alloy.

Keywords: aluminum alloys, master alloys, REM microalloying, scandium, erbium.

Алюминиевые сплавы получили широкое применение благодаря ценному для техники комплексу механических, физических и коррозионных свойств. Микролегирование – один из эффективных методов улучшения микроструктуры, механических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов. В настоящее время, самым эффективным легирующим элементом является скандий [1], который благодаря формированию аномально пересыщенного твердого раствора при кристаллизации и последующего его распада с выделением дисперсных вторичных интерметаллидов Al_3Sc , которые по размерно-структурным параметрам почти полностью соответствуют структурной решетке алюминия, обеспечивает мелкозернистость структуры и как следствие высокие механические свойства деформированных полуфабрикатов. Как известно, интерметаллические соединения (ИМС) состава Al_3M , имеющие кубическую гранецентрированную структуру (ГЦК) $L1_2$ приобретают все больший интерес для исследователей [2], ввиду их характеристик: низкая плотность (около 75 ат.% Al), высокие удельная прочность, температура плавления и коррозионная стойкость. Хорошо исследованным термодинамически стабильным ИМС является триалюминид скандия, однако применение сплавов на его основе ограничено.

Главный фактор, сдерживающий широкое применение алюминиевых сплавов со скандием это их высокая стоимость. Себестоимость алюминиевых сплавов со скандием тесно связана с ценой на скандийсодержащую лигатуру и способом ее производства. Способ производства лигатур определяется его рентабельностью и качеством получаемого материала. В современном литейном производстве при производстве алюминиевых лигатур предпочтение отдано прямому сплавлению чистых легирующих компонентов, как наиболее простому с точки зрения организации технологического процесса и как наиболее затратному, поскольку он имеет большие безвозвратные потери, обусловленные высокими значениями температур плавления дорогостоящих легирующих компонентов (алюминия до 10% и легирующих компонентов до 25%) [3].

Алюминотермическое восстановление из оксидов и галогенидов и других веществ и восстановление в электролизере – это два альтернативных способа получения лигатур различного назначения. Все способы имеют свои достоинства и недостатки. Например, при получении лигатур в электролизерах содержание второго компонента не превышает 3% из-за установления равновесия в системе, а также требует большого расхода солей. С экономической точки зрения наибольший интерес представляют способы восстановления легирующих металлов из их соединений (оксидов или галогенидов), растворенных в солевом расплаве алюминием и магнием [3,4].

Таким образом, разработка физико-химических основ технологий производства новых лигатур позволит создавать новые материалы на основе алюминия. Обоснование выбора композиции лигатуры определяется детальной проработкой физико-химических механизмов процессов при синтезе лигатур и производстве сплавов.

В последнее время в зарубежной [5-7] и отечественной [8, 9] литературе изучаются перспективы создания экономнолегированных скандием сплавов за счет ввода элементов, которые либо растворяются в фазе Al_3Sc , в количестве не приводящим к уменьшению стабильности ГЦК решетки последней, либо триалюминиды которые имеют стабильную кубическую гранецентрированную решетку и могут быть введены в сплав без скандия. К первой группе относятся такие легирующие элементы, как титан, цирконий, гафний, ванадий, ниобий и тантал, ко второй – редкоземельные элементы: эрбий, тулий, иттербий, лютеций.

Металлы первой группы, в составе триалюминидов имеют стабильную тетрагональную структуру типа $D0_{22}$ и $D0_{23}$ (см. таблица 1.) при определенных условиях (при высоких скоростях охлаждения перегретого расплава) могут формировать кубическую структуру $L1_2$ типа (ГЦК), причем вероятность преобразования или трансформации выше у титана, циркония, гафния в виду того, что на d- орбитали у этих металлов находится меньшее количество электронов. С увеличением числа электронов на внешнем энергетическом уровне (d - орбитали) стабильность $D0_{22}$ / $D0_{23}$ относительно $L1_2$ увеличивается. Это положение было выдвинуто на основании первопринципных расчетов и позже доказано экспериментально зарубежными учеными Carlsson и Meschter [10].

Цирконий заменяет скандий на подрешетке структуры $L1_2$ в ИМС алюминия с формированием выделения вида Al_3 ($Sc_{1-x}Zr_x$), которые из-за очень малого коэффициента диффузии Zr в $\alpha-Al$ (твердый раствор) показывают сниженную кинетику роста фаз по сравнению с бинарной фазой Al_3Sc , [11]. Гафний и титан также снижают скорость огуления фазы Al_3Sc теми же механизмами [12].

Известно, что в ряду редкоземельных металлов (РЗМ) существует монотонное уменьшение радиуса атомов – «лантаноидное сжатие», которое, как было показано в работе [7], сильно влияет на стабильность, структуру и состав интерметаллических соединений, образующихся в системах Al-РЗМ. С уменьшением атомного радиуса РЗМ, структура соответствующего триалюминидного соединения проявляет все более кубический характер. У металлов с большим атомным радиусом ($Z = 57-64$: La Ce Pr, Nd Pm Sm, или Gd), была найдена гексагональная $D0_{19}$ структура (Ni_3Sn типа). Металлы с радиусом промежуточного размера ($Z = 65 - 67$: Tb Dy, Ho) имеют ромбоэдрическую и гексагональную (Ba_3Pb -, Ni_3Ti - и Al_3Ho типа, соответственно) структуры, в которых формирование кубической и гексагональной структуры носит смешанный характер. Как было упомянуто выше, для самых маленьких атомных радиусов РЗМ ($Z = 68-71$: Er, Tm, Yb, Lu) наблюдается кубическая $L1_2$ (Cu_3Au типа) структура.

По сравнению с указанными переходными металлами, тяжелые редкоземельные элементы Er, Tm, Yb, и Lu имеют большую растворимость в выделениях фазы Al_3Sc [6], и, таким образом, могут заменить значительное количество более дорогого Sc. Эти элементы также увеличивают несоответствие параметров решетки между выделениями Al_3 ($Sc_{1-x}RZM_x$) и алюминиевой матрицей, повышая упругие взаимодействия с дислокациями при пластической деформации. Несоответствие параметров решеток для триалюминидов РЗМ представлено в таблице.

Таблица 1 - Несоответствие параметров решетки ИМС вида Al_3RZM

Металл	Порядковый номер в таблице Д.И. Менделеева	Параметр решетки триалюминидов a, Å	Рассогласование с Al, %	Равновесная структура
Ti	22	3,967	2,025*	$D0_{22}$
Nb	41	3,991	1,432*	$D0_{22}$
V	23	4,045	0,099*	$D0_{22}$
Zr	40	4,085	0,889*	$D0_{23}$
Sc	21	4,101	1,284	$L1_2$
Er	68	4,167	2,914	$L1_2$
Lu	71	4,187	3,408	$L1_2$
Yb	70	4,202	3,779	$L1_2$
Tm	69	4,203	3,803	$L1_2$
U	92	4,267	5,384	$L1_2$

Примечание: * - рассогласование при условии образования метастабильной $L1_2$ структуры

Для эрбия величина рассогласования составляет около 3,0%, а для скандия всего 1,4%. Чем выше структурное соответствие зародышеобразующих фаз и $\alpha-Al$, тем выше эффект модифицирования. Тонкая зеренная структура уменьшает размеры дефектов (микропоры, выделения вторичных фаз по границам зерен) и ликвацию, тем самым снижает анизотропию свойств по ширине и высоте слитка и приводит к улучшению технологических и механических свойств полуфабрикатов.

Из четырех указанных РЗМ эрбий самый дешевый, его цена составляет 1/40 цены на скандий (данные 2003 год). Известно его положительное влияние на структуру и свойства алюминия.

За рубежом эрбий используется в алюминиевых сплавах для измельчения размеров зерен и, как следствие, увеличения прочности при комнатной температуре [5].

В работе [13] исследовано влияние легирующего элемента – эрбия на структуру и свойства чистого алюминия и сплавов следующих систем легирования: Al-Mg, Al-Cu, Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Li. Так, выявлено что в чистом алюминии и алюминий-магний-медь сплаве эрбий измельчает структуру зерна, повышает твердость, прочность и термическую стабильность за счет выделения фазы Al_3Er . В алюминиевых сплавах с медью добавка Er снижает разветвленность структуры, повышает температуру рекристаллизации без изменения уровня прочности. Также образуется легкоплавкая эвтектика Al_8Cu_4Er , которая к тому же уменьшает количество основной упрочняющей фазы $CuAl_2$ этих сплавов. В сплавах системы Al-Zn-Mg эрбий увеличивает предел прочности и текучести с незначительным уменьшением пластичности. Аналогично его влияние и на сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu. На сплав системы Al-Li

введение эрбия в количестве 0,6% по массе увеличивает прочность и относительное удлинение на 7 и 30% соответственно, и снижает текучесть на 20%.

В работе [14] проведено исследование опытного сплава состава Al-0,06Sc-0,02 Er (ат.%) которое показывает, что Er может заменить весьма существенное количество скандия (до 30 ат.%) в фазе $Al_3(Sc_{1-x}Er_x)$. Авторы измеряли скорость роста (коагуляции) этих выделений, из которых определяли основные термодинамические и кинетические свойства - свободную энергию межфазных превращений и коэффициент диффузии, которые сравнивали со свойствами сплавов бинарных систем Al-Sc и Al-Er (При исследовании лигатуры Al-1%Er получали в электродуговой печи с нерасходуемым электродом из чистых компонентов).

В работе [15] определены механические свойства, рекристаллизация и упрочнение старением сплава состава Al-6Zn-2Mg-0,4Er. Результаты исследований показывают, что эрбий оказывает сильный модифицирующий эффект на структуру алюминиевого сплава, повышает прочность за счет дисперсных вторичных выделений фазы Al_3Er . Сплав Al-6Zn-2Mg с добавкой Er при меньшем времени старения имеет больший эффект упрочнения старением. Замедляет рекристаллизацию и повышает температуру рекристаллизации за счет взаимодействия (зацепления) дисперсных выделений Al_3Er с дислокациями и границами субзерен при пластической деформации. (При приготовлении сплава использовалась лигатура Al-6,2Er).

В работе [16] проведены сравнительные исследования структуры и твердости сплавов систем Al-Er, Al-Zr, Al-Er-Zr с целью выявления синергетического эффекта двух легирующих элементов. Так выяснено, что цирконий в сплаве Al-Er замедляет рост (коагулирование) вторичных выделений фазы Al_3Er , а также замедляет распад твердого раствора. Сплав состава Al-0,04Er-0,08Zr(ат.%) после термической обработки имеет твердость 560 МПа по шкале Викерса, против 400 МПа для сплава состава Al-0,04Er(ат.%). Сплавы такого состава могут быть рекомендованы для производства термостойких трубопроводов. Совместное влияние Zr и Er на алюминиевые сплавы, освещенное в работах [16,17], подтверждают факт, что вторичные фазы эрбия выпадают по границам зерен и играют роль своеобразного скелета, который замедляет миграцию границ зерен и предотвращает дальнейший рост зерен алюминия. Частицы $Al_3(Er-Zr)$ имеют меньшую склонность к коагулированию, чем - Al_3Er . В присутствии эрбия, с увеличением количества циркония фаза Al_3Zr имеет более кубический характер.

Известно влияние различного количества (0,3%; 0,5%; 0,8%) эрбия на структуру и механические свойства заэвтектического силумина Al-20%Si [18]. Так показано что Er существенно улучшает структуру кристаллов Si трансформируя последние из звездчатой и иглообразной формы в более компактную. Содержание 0,5% Er в сплаве позволяет снизить размер зерен кремния до размеров 41 μm , дальнейшее увеличение содержания тяжелого редкоземельного элемента приводит к росту фаз Si. Благодаря эффекту измельчения зерна и модифицирования эвтектики предел прочности и относительное удлинение заэвтектического силумина с 0,5% Er увеличивается на 72,5 и 72% соответственно.

В работе [19] исследовано дисперсионное упрочнение сплавов систем Al-Er, Al-Hf и Al-Er-Hf. Так выявлено, что совместная добавка 0,045 ат.% Er и 0,18 ат.% Hf в Al дает максимальное значение микротвердости сплава 640 МПа, который не достижим для бинарных систем этих компонентов. Однако, авторы утверждают, что синергетический эффект противоречив, так как с одной стороны Er стимулирует распад твердого раствора гафния в алюминии, а с другой Hf замедляет распад твердого раствора эрбия. Эти же авторы в работе [20] продолжили исследование комплексного влияния уже трех элементов Er, Zr и Hf на дисперсионное упрочнение и сопротивление рекристаллизации микролегируемых этими элементами алюминиевых сплавов.

Таким образом, проведенный анализ текущего состояния фундаментальных и прикладных исследований по влиянию редкоземельного металла – эрбия на структуру и свойства деформируемых и литейных алюминиевых сплавов показывает, что комплексное легирование позволяет измельчать структуру, повышать механические характеристики сплавов и снижать их стоимость

Эрбий – является эффективным заменителем скандия в сплавах упрочняемых дисперсными выделениями вида Al_3Me с ГЦК структурой.

За счет комплексного легирования алюминиевых сплавов такими металлами как Er, Zr, Hf, имеющих стоимость ниже Sc, можно добиться снижения стоимости сплавов со скандием за счет уменьшения содержания последнего.

Себестоимость алюминиевых сплавов со скандием тесно связана с ценой на лигатуру и способом ее производства. При создании новых сплавов микролегируемых комплексно особое внимание необходимо уделять шихте, а именно многокомпонентным лигатурам и технологии их получения. При эффективном способе производства лигатур в них будет формироваться равномерная структура с однородным химическим составом и распределением фаз, которые смогут при несколько больших затратах при производстве лигатур, по итогу сэкономить на производстве сплавов за счет снижения времени процесса растворения лигатур и наследственного влияния низкокачественных лигатур на структуру слитков и отливок. Главными факторами, определяющими выбор способа, будут являться рентабельность и качество получаемого материала.

Список литературы/ References

1. Yi Zhang Determination of Er and Yb solvuses and trialuminide nucleation in Al–Er and Al–Yb alloys /Yi Zhang, Kunyuan Gao, Shengping Wena, Hui Huang, Wei Wang, Zhaowei Zhu, Zuoren Nie, Dejing Zhou// Journal of Alloys and Compounds 590 (2014) pp. 526–534
2. Yi Zhang The study on the coarsening process and precipitation strengthening of Al_3Er precipitate in Al–Er binary alloy /Yi Zhan Kunyuan Gao, Shengping Wena, Hui Huang, Zuoren Nie a, Dejing Zhou // Journal of Alloys and Compounds 610 (2014) pp. 27–34
3. Напалков В.И. Лигатуры для производства алюминиевых и магниевых сплавов / В.И. Напалков [и др.]. М. Металлургия, 1983. 160 с.
4. Bazhin V.Yu. Synthesis of aluminum based scandium–yttrium master alloys / V.Yu. Bazhin, Ya.I. Kosov, O.L. Lobacheva, N.V. Dzhevaga // Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2015, No. 7, pp. 516–520.

5. R.A. Karnesky Evolution of nanoscale precipitates in Al microalloyed with Sc and Er / R.A. Karnesky, D.C. Dunand, D. N. Seidman // *Acta Materialia* 57 (2009) pp. 4022–4031.
6. M. E. van Dalen , Erbium and ytterbium solubilities and diffusivities in aluminum as determined by nanoscale characterization of precipitates /M. E. van Dalen ,R. A. Karnesky, J. R. Cabotaje, D. C. Dunand a, D. N. Seidman// *Acta Materialia* 57 (2009) pp. 4081–4089.
7. Knipling K.E. Criteria for developing castable, creep-resistant aluminum-based alloys- A review / K.E. Knipling D.C. Dunand, D.N. Seidman // *International Journal of Materials Research*. 2006;97(3), pp. 246-265.
8. Захаров В.В. О возможности создания экономнолегированных скандием алюминиевых сплавов / В.В. Захаров, И.А. Фисенко, *Технология легких сплавов* №4, 2015 сс. 40-44.
9. Захаров В.В. Экономнолегированный скандием сплав на основе системы Al-Mg / В.В. Захаров, И.А. Фисенко, *Технология легких сплавов* №1, 2016 сс. 62-67.
10. Carlsson A.E. "Relative Stability of Li_2 , DO_{22} , and DO_{23} Structures in MAI_3 Compounds A.E. Carlsson, P.J. Meschter: *J.Mater Res.* 4 (1989) pp. 1060.
11. Riddle YW, Saunders Jr TH. *Metall Mater Trans A* 2004;35:341-50
12. Harada Y. Dunand D. *Intermetallics* 2009;17: pp. 17-24
13. Nie Z.R. Advanced Aluminum Alloys Containing Rare-earth Erbium /Z.R. Nie, J.B. Fu, J.X. Zou, T.N. Jin, J.J. Yang, G.F. Xu, H.Q. Ruan, T.Y. Zuo// *MATERIALS FORUM VOLUME 28 - 2004*, pp.197-201.
14. Karnesky R.A. Evolution of nanoscale precipitates in Al microalloyed with Sc and Er / R.A. Karnesky, D.C. Dunand , D. N. Seidman // *Acta Materialia* 57 (2009) pp. 4022–4031.
15. XU Guo-fu Effect of trace rare earth element Er on Al-Zn-Mg alloy/ XU Guo-fu, MOU Shen-zhou, YANG Jun-ju, JIN Tou-nan // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 16(2006) pp. 598-603.
16. Wen S.P.Synergetic effect of Er and Zr on the precipitation hardening of Al–Er–Zr alloy/, K.Y. Gao, Y. Li, H. Huang and Z.R. Nie//*Scripta Materialia* 65 (2011) pp. 592–595
17. Wen S.P. Precipitation evolution in Al–Er–Zr alloys during aging at elevated temperature/ S.P. Wen, K.Y. Gao, H. Huang, W. Wang, Z.R. Nie// *Journal of Alloys and Compounds* 574 (2013) pp. 92–97
18. Qinglin Li Effects of rare earth Er addition on microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al–20% Si alloy /Qinglin Li, Tiandong Xia, Yefeng Lan, Pengfei Li, Lu Fana//*Materials Science & Engineering A*588 (2013) pp. 97–102
19. H. Wu Effect of Er additions on the precipitation strengthening of Al–Hf alloys /H. Wu, S.P. Wen, K.Y. Gao, H. Huang, W. Wang and Z.R. Nie// *Scripta Materialia* 87 (2014) pp. 5–8
20. H. Wu A study of precipitation strengthening and recrystallization behavior in dilute Al–Er–Hf–Zr alloys / H. Wu, S.P. Wen, X.L. Wu, K.Y.Gao, H.Huang, W.Wang, Z.R.Nie // *Materials Science & Engineering A*639 (2015) pp. 307–313

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yi Zhang Determination of Er and Yb solvuses and trialuminide nucleation in Al–Er and Al–Yb alloys /Yi Zhang, Kunyuan Gao, Shengping Wena, Hui Huang, Wei Wang, Zhaowei Zhu, Zuoren Nie, Dejing Zhou// *Journal of Alloys and Compounds* 590 (2014) pp. 526–534
2. Yi Zhang The study on the coarsening process and precipitation strengthening of Al_3Er precipitate in Al–Er binary alloy /Yi Zhan Kunyuan Gao, Shengping Wena, Hui Huang, Zuoren Nie a, Dejing Zhou // *Journal of Alloys and Compounds* 610 (2014) pp. 27–34
3. Napalkov V. I. Ligatory dlya proizvodstva alyuminievyh i magnievyh spлавov [Master alloys for the production of aluminum and magnesium alloys] / V.I. Napalkov [and etc.] M. Metallurgiya [Moscow, Metallurgy], 1983. 160 p. [in Russian]
4. Bazhin V.Yu. Synthesis of aluminum based scandium–yttrium master alloys / V.Yu. Bazhin, Ya.I. Kosov, O.L. Lobacheva, N.V. Dzhevaga // *RussianMetallurgy (Metally)*, Vol. 2015, No. 7, pp. 516–520.
5. Karnesky R. A. Evolution of nanoscale precipitates in Al microalloyed with Sc and Er / R.A. Karnesky, D.C. Dunand , D. N. Seidman // *Acta Materialia* 57 (2009) pp. 4022–4031.
6. M. E. van Dalen Erbium and ytterbium solubilities and diffusivities in aluminum as determined by nanoscale characterization of precipitates /M. E. van Dalen ,R. A. Karnesky, J. R. Cabotaje, D. C. Dunand a, D. N. Seidman// *Acta Materialia* 57 (2009) pp. 4081–4089.
7. Knipling K.E. Criteria for developing castable, creep-resistant aluminum-based alloys- A review / K. E. Knipling D. C. Dunand, D. N. Seidman // *International Journal of Materials Research*. 2006;97(3), pp. 246-265.
8. Zaharov V.V. O vozmozhnosti sozdaniya ehkonomnolegированных skандием alyuminievyh сплавов [On the possibility of the creation of economically alloyed by scandium aluminum alloy]/ V.V. Zaharov, I.A. Fisenko, *Tekhnologiya legkih сплавов [Technology of Light Alloys]* №4, 2015 pp.. 40-44. [in Russian]
9. Zaharov V.V. EHkonomnolegированныj skандием сплав на osнове sistemy Al-Mg [Economically by scandium alloyed Al-Mg alloy]/ V. V. Zaharov, I. A. Fisenko, *Tekhnologiya legkih сплавов [Technology of Light Alloys]* №1, 2016 pp. 62-67. [in Russian]
10. Carlsson A.E. Relative Stability of Li_2 , DO_{22} , and DO_{23} Structures in MAI_3 Compounds A.E. Carlsson, P. J. Meschter: *J.Mater Res.* 4 (1989) 1060.
11. Riddle YW, Saunders Jr TH. *Metall Mater Trans A* 2004;35:341-50
12. Harada Y. Dunand D. *Intermetallics* 2009;17: pp. 17-24
13. Nie Z. R. Advanced Aluminum Alloys Containing Rare-earth Erbium /Z.R. Nie, J.B. Fu, J.X. Zou, T.N. Jin, J.J. Yang, G.F. Xu, H.Q. Ruan, T.Y. Zuo// *MATERIALS FORUM VOLUME 28 - 2004*, pp.197-201.
14. Karnesky R.A. Evolution of nanoscale precipitates in Al microalloyed with Sc and Er / R.A. Karnesky, D.C. Dunand , D. N. Seidman // *Acta Materialia* 57 (2009) pp. 4022–4031.
15. XU Guo-fu Effect of trace rare earth element Er on Al-Zn-Mg alloy/ XU Guo-fu, MOU Shen-zhou, YANG Jun-ju, JIN Tou-nan // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 16(2006) pp. 598-603.

16. Wen S.P. Synergetic effect of Er and Zr on the precipitation hardening of Al–Er–Zr alloy/, K.Y. Gao, Y. Li, H. Huang and Z. R. Nie//Scripta Materialia 65 (2011) pp. 592–595
17. Wen S.P. Precipitation evolution in Al–Er–Zr alloys during aging at elevated temperature/ S. P. Wen, K.Y. Gao, H. Huang, W. Wang, Z.R. Nie// Journal of Alloys and Compounds 574 (2013) pp. 92–97
18. Qinglin Li Effects of rare earth Er addition on microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al–20% Si alloy /Qinglin Li, Tiandong Xia, Yefeng Lan, Pengfei Li, Lu Fana//Materials Science & Engineering A588 (2013) pp. 97–102
19. H. Wu Effect of Er additions on the precipitation strengthening of Al–Hf alloys /H. Wu, S.P. Wen, K.Y. Gao, H. Huang, W. Wang and Z.R. Nie// Scripta Materialia 87 (2014) pp. 5–8
20. H. Wu A study of precipitation strengthening and recrystallization behavior in dilute Al–Er–Hf–Zr alloys / H. Wu, S.P. Wen, X.L. Wu, K.Y.Gao, H.Huang, W.Wang, Z.R.Nie // Materials Science & Engineering A639 (2015) pp. 307–313

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.217

Летенков О.В.¹, Филиппов Д.А.²¹ORCID: 0000-0001-5315-5659, Кандидат технических наук,²ORCID: 0000-0002-4359-7770, Доктор физико-математических наук,

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части государственного задания, проект № 177

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПРИВОДА: ПРУЖИНА ИЗ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ – КОНТРПРУЖИНА

Аннотация

В статье предложен метод расчета привода системы, состоящей из термочувствительного элемента, изготовленного из материала с эффектом памяти формы и упругого контртела, выполненных в виде пружин сжатия. Данная система может быть использована в качестве рабочих элементов в механизмах поступательного движения. При расчете использовались следующие параметры системы: жесткость пружины из материала с эффектом памяти формы в „низкотемпературном” (мартенситном) и „горячем” (аустенитном) состояниях, жесткость упругой контрпружины, величина предварительной усадки привода и величина рабочего хода исполнительного звена при термоциклировании привода через температурный интервал мартенситного превращения. Показано, что варьирование отдельно взятыми величинами предварительной осадки термочувствительной пружины или контрпружины, дает возможность управлять не только величиной рабочего хода, но и температурой начала движения исполнительного звена.

Ключевые слова: эффект памяти формы, мартенситный переход, упругий элемент, контртело.

Letenkov O.V.¹, Filippov D.A.²¹ORCID: 0000-0001-5315-5659, PhD in Engineering,²ORCID: 0000-0002-4359-7770, PhD in Physical and Mathematical Sciences,

Yharoslav-the-Wise Novgorod State University

CALCULATION OF THE SYSTEM DRIVE: SPRING FROM MATERIAL WITH SHAPE MEMORY EFFECT – COUNTER SPRING

Abstract

Method for calculating a drive system consisting of a heat-sensitive element made of a material with shape memory effect and an elastic opposing member made in the form of compression springs is presented. This system can be used as working elements in the translational motion mechanisms. At the calculation was used the following system parameters: the stiffness of the material of the spring with shape memory in the "low temperature" (martensitic) and "hot" (austenitic) states, the hardness of elastic counter spring, the magnitude of the drive pre-shrinkage and the amount of stroke actuator when the drive system make the cyclical transitions through the temperature martensitic transformation range. It is shown that the variation of individual values SME of pre-precipitation heat-sensitive spring or counter spring, makes it possible to control not only the magnitude of the stroke, but also the temperature of the beginning of the movement of an actuator.

Keywords: shape memory effect, martensitic transition, elastic member, counter spring.

Введение

Материалы с эффектом памяти формы (ЭПФ) – это материалы, обладающие способностью принимать свою первоначальную геометрическую форму при мартенситных переходах [1]. Это свойство материалов позволяет проектировать на их основе устройства, находящие широкое применение в различных областях науки и техники. На их основе созданы элементы аппаратуры, которые служат в системах автоматического пожаротушения, регулировки температуры, системах, контролирующих расход теплоносителей и т.д. Создание блока, содержащего элемент, изготовленный из материала с ЭПФ, сопряженный с кинематическим механизмом, позволяет создавать устройства, которые обладают большой величиной развиваемых усилий при требуемых перемещениях, и, в то же время, обладают простой компоновкой [2,3]. Особое положение в этой группе устройств занимают многократные приводы, действие которых основано на обратимых мартенситных переходах. Эти приводы представляют собой системы, состоящие из силового элемента, изготовленного из материала с ЭПФ и упругого контртела, представляющего собой, как правило, упругую пружину. В основе работы такого привода лежит тот факт, что изменение модуля сдвига силового элемента и контртела при мартенситном переходе будут различными. При прямом мартенситном переходе аустенит – мартенсит, который происходит при охлаждении в диапазоне температур ($M_K < T < M_H$), контртело деформирует силовой

элемент, а при обратном мартенситном переходе мартенсит - аустенит, который происходит при нагреве в области температур ($A_H < T < A_K$), вследствие наличия эффекта памяти формы, силовой элемент принимает свою первоначальную геометрическую форму. Здесь M_H , M_K – температуры начала и конца перехода аустенит – мартенсит, A_H , A_K – температуры начала и конца перехода мартенсит – аустенит, соответственно.

Проектирование такой системы привода направлено на расчет геометрических характеристик рабочих элементов и возвращаемой деформации силовым элементом, необходимых для работы конкретного механизма.

Несмотря на большой объем исследований, проведенных на сплавах, обладающих ЭПФ, остаются нерешенными вопросы расчета рабочих элементов на их основе. Это обусловлено тем, что поскольку сложность процессов, протекающих в устройствах, содержащих элемент из материала с ЭПФ, делает затруднительным переход от математической модели к реальному объекту [4,5].

Модель и основные уравнения

В данной работе предложен вариант модели, описывающей систему привода, состоящую из силового элемента, представляющего собой пружину из сплава с ЭПФ, а в качестве контртела используется упругая контрпружина [2]. Эти две пружины размещены на штоке и обе работают на сжатие.

Термоциклирование пружины с ЭПФ в интервале $M_K < T < A_K$ обеспечивает работу привода двунаправленного действия с поступательным движением штока. На рис. 1 представлена схема работы привода.

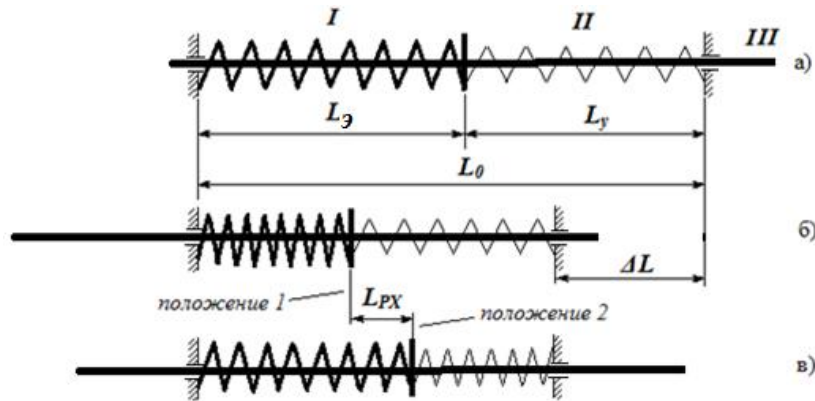


Рис.1. I – пружина с ЭПФ; II – упругая контрпружина; III – шток.

а – привод в начальном состоянии; б – в рабочем состоянии при температуре $T \leq M_K$, в – $A_K \leq T$ (в).

Расчет системы направлен на определение взаимосвязи геометрических параметров рабочих элементов с их предварительной осадкой ΔL для обеспечения заданной величины рабочего хода L_{PX} исполнительного звена.

Первоначальная длина привода L_0 , согласно рис. 1а определяется выражением:

$$L_0 = L_S + L_E \quad (1)$$

где L_S – длина пружины с ЭПФ и L_E – длина контрпружины, которые определяются с помощью следующих уравнений:

$$L_S = t_S n_S \quad (2)$$

$$L_E = t_Y n_Y \quad (3)$$

где t_S , n_S и t_E , n_E – шаг намотки и число витков пружины с ЭПФ и упругой контрпружины, соответственно.

Для установки привода в рабочее положение ему необходимо при охлаждении в диапазоне температур прямого мартенситного перехода, определяемого условием $M_K < T < M_H$ задать первоначальную осадку ΔL . В результате чего пружина с ЭПФ и упругая контрпружина получают соответствующие осадки λ_M и λ_E^M , а шток привода занимает в крайнее левое положение (рис. 1б положение 1). При этом для первоначальной осадки имеет место равенство:

$$\Delta L = \lambda_M + \lambda_E^M \quad (4)$$

При нагреву рабочего элемента в диапазоне температур обратного мартенситного перехода $A_H < T < A_K$ происходит проявление материалом ЭПФ. В этом случае осадка пружины с ЭПФ уменьшается, тем самым вызывая дальнейшее увеличение осадки и, как следствие, увеличение сил противодействия со стороны контрпружины, в результате чего система вновь переходит в состояние равновесия (рис. 1в, положение 2).

В аустенитном состоянии, при температуре $A_K \leq T$ осадки λ_A пружины с ЭПФ и λ_E^A контрпружины будут определяться выражениями:

$$\lambda_A = \lambda_M - L_{PX} \quad (5)$$

$$\lambda_E^A = \lambda_E^M + L_{PX} \quad (6)$$

где L_{PX} – рабочий ход штока. В этом случае предварительная осадка ΔL привода будет определяться выражением:

$$\Delta L = \lambda_A + \lambda_E^A \quad (7)$$

Поскольку суммарная осадка элементов привода всегда остается равной величине первоначальной осадки ΔL , то работу привода можно представить в виде диаграммы, изображенной на рис.2. Вследствие малости упругой деформации пружины с ЭПФ в мартенситном состоянии по сравнению с величиной деформации, вызванной проявлением ЭПФ, то ей можно пренебречь, причем для прямого превращения аустенит – мартенсит предполагается линейная зависимость между внешним усилием и деформацией [1].

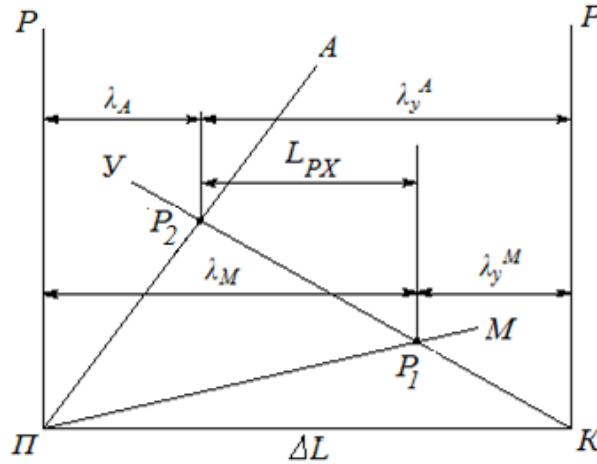


Рис. 2 – Диаграмма работы привода системы: пружина из материала с ЭПФ – контрпружина, P – сила, ΔL – предварительная осадка

Диаграмма является комбинацией трех диаграмм деформирования: пружины с ЭПФ в мартенситном (луч „М”) и аустенитном (луч „А”) состояниях и упругой контрпружины (луч „У”).

Угол Π диаграммы соответствует пружине с ЭПФ в исходном состоянии. Угол K диаграммы соответствует контрпружине в исходном состоянии. Расстояние между точками K и Π соответствует величине предварительной осадки ΔL (рис.1б) элементов привода. Например, в точке Π деформация пружины с ЭПФ отсутствует и вся предварительная деформация принадлежит контрпружине. При движении от точки Π в сторону точки K появляется деформация пружины с ЭПФ, которая увеличивается, а деформация контрпружины уменьшается. В точке K всю предварительную деформацию принимает на себя пружина с ЭПФ.

На диаграмме отмечены две характерные точки (P_1 , P_2). Точка пересечения лучей „У” и „М” соответствует равновесному состоянию привода с внутренним усилием P_1 при $T \leq M_K$ (рис.1б). В свою очередь, точка пересечения лучей „У” и „А” соответствует равновесному состоянию привода с внутренним усилием P_2 при $A_K \leq T$ (рис.1в). В этом случае расстояние между точками P_1 и P_2 по оси абсцисс будет соответствовать величине рабочего хода L_{PX} исполнительного звена.

Из диаграммы (рис.2) видно, что при $T \leq M_K$ в любом случае имеет место равенство:

$$\Delta L = \lambda_y^M + L_{PX} + \lambda_A \quad (8)$$

При этом, из условия равновесия элементов привода в точке P_1 следует:

$$P_1 = \lambda_y^M C_y = \lambda_M C_M = (\Delta L - \lambda_y^M) C_M, \quad (9)$$

где C_y и C_M – характеристики упругой контрпружины и пружины с ЭПФ при $T \leq M_K$, соответственно.

Учитывая это, для упругой деформации контрпружины получим следующее выражение:

$$\lambda_y^M = \frac{\Delta L C_M}{(C_y + C_M)} \quad (10)$$

Из условия равновесия привода в точке P_2 следует следующее соотношение:

$$P_2 = \lambda_A C_A = \lambda_y^A C_y = (\Delta L - \lambda_A) C_y, \quad (11)$$

где C_A – характеристика пружины с ЭПФ при $A_K \leq T$. Тогда для деформации пружины с ЭПФ в аустенитном состоянии получим следующее выражение:

$$\lambda_A = \frac{\Delta L C_y}{(C_y + C_A)} \quad (12)$$

Используя выражения (10 – 12) окончательно, для осадки ΔL получим следующее уравнение:

$$\Delta L = \frac{L_{PX}}{1 - \frac{C_M}{C_y + C_M} - \frac{C_y}{C_y + C_A}}, \quad (13)$$

где характеристики контрпружины (C_y), пружины с ЭПФ в мартенситном C_M и аустенитном C_A состояниях определяются следующими выражениями:

3. K. Ootsuka, K. Simizdu, Yu. Sudzuki I dr. Splavi s effectom pamyati formi Per. S yaponskogo pod red. A.M. Glesera. [Alloys with shape memory Translation from Japanese ed. A.M. Gleser] M.: Metallurgiya [M.:Metallurgy] 1990. – 225 c. [in Russian]

4. Kikvidze O.G. Uravnenie sostoyaniya splavov s effectom pamyati formi [The equation of state of alloys with shape memory effect]. // Problemi mashinostroeniya I nadezhnosti mashin. [The problems of mashine engineering and reliability of mashins] – 1996. – №2, P. 51-55. [in Russian]

5. Movchan A.A. Analiticheskoe reshenie zadach o pryamom I obratnom prevracshenii dlya splavov s pamyat'yu formi [The analytical solution of problem on the direct and inverse transformation for alloys with shape memory] // Prikladnaya mekhanika I tekhnicheskaya fizika [Applied Mechanics and Technical Physics]. – 1996. – №4. – P. 136-144. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.159

Литвинова Э.В.

ORCID: 0000–0002–6409–9834, Кандидат технических наук,

Академия строительства и архитектуры

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация

Предлагается методика оптимального проектирования строительных конструкций с точки зрения обеспечения заданной вероятности их функционирования. Исследование базируется на применении методов программирования, с использованием стохастических моделей загрузки строительства строительных конструкций, особенно при внешнем сейсмическом воздействии. Представляется, что предлагаемая методика оптимального проектирования строительных конструкций может дать существенный результат в экономии материальных ресурсов при проектировании и строительстве сооружений различного назначения.

Ключевые слова: нелинейное и стохастическое программирование, оптимальное решение, функциональные ограничения, ограничения по вероятности.

Litvinova E.V.

ORCID: 0000–0002–6409–9834, PhD in Engineering,

Academy of Construction and Architecture

Crimean federal university of the name V.I. Vernadskogo, Simferopol

METHODOLOGY OF OPTIMAL PLANNING OF BUILDING CONSTRUCTIONS

Abstract

Methodology of the optimal planning of building constructions is offered from the point of view of providing of the set probability of their functioning. Research is based on application of methods of programming, with the use of stochastic models of loading of building constructions, especially at external seismic effect. The offered methodology of the optimal planning of building constructions can give a substantial result in the economy of material resources at planning and building of building of different destiny.

Keywords: nonlinear and stochastic programming, optimal decision, functional limitations, limitations on probability.

Системный анализ и теория надежности представляют собой тот математический аппарат, который, кроме прочего, накладывает на проект ряд ограничений исходя из требований к обеспечению безопасной эксплуатации здания или сооружения в течение некоторого расчетного периода.

Системный анализ позволяет все процессы проектирования отдельных элементов строительных конструкций и всего здания в целом связать в единую технологическую цепочку: от рождения идеи о создании строительного объекта до дня прекращения его эксплуатации. Применение системного анализа к проектированию строительных объектов позволяет выделить одинаковые этапы работ для всех типов конструкций, направленные на наилучшее решение поставленных задач и максимально исключаящие необъективность [1, 2].

Рассмотрим класс задач, где наилучшее сочетание параметров элементов конструкций оказывается на границе функциональных ограничений (по нагрузкам, габаритам, по прочности и жесткости отдельных элементов конструкции, допустимым отклонениям варьируемых параметров, по стоимости и другие) [3–5].

Если оптимальное решение искать без учета помех методами нелинейного программирования, то это означает, что «практически в 50% случаев будет иметь место отказ системы» [1].

Таким образом, для прогноза развития аварийных процессов, которые могут привести к катастрофическим последствиям, следует применять детерминированные модели этих процессов. При их разработке необходимо стремиться выстраивать систему допущений таким образом, чтобы они приводили к ошибкам в оценках максимальных нагрузок на элементы конструкции в безопасную зону (в сторону их увеличения).

Это относится и к другим факторам, влияющим на безопасность.

В связи с этим актуальным является анализ каркасных конструкций с использованием стохастических моделей их загрузки, особенно при динамическом (внешнем сейсмическом) воздействии. Это позволит оптимизировать параметры элементов конструкций и их конфигурацию для любой заданной вероятности их безопасного функционирования.

Рассмотрим разработку методики оптимального проектирования элементов строительных конструкций с учетом случайных факторов, влияющих на надежность создаваемой конструкции.

Введем математические обозначения [6]: x – вектор варьируемых параметров; \bar{x} – оптимальный вектор детерминированной задачи; \tilde{x} – оптимальный вектор стохастической задачи; Θ – вектор случайных параметров; $f^i(x, \theta)$ – i -я функция ограничения задачи; D_x – область допустимых решений задачи.

Пусть необходимо минимизировать функцию

$$f^0(x), \quad (1)$$

при условиях:

$$f^i(x) \leq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$x \in X. \quad (3)$$

Найдём оптимальное решение \bar{x} , при котором выполняются условия (2) и (3). Если теперь в модель ввести помехи, то при ее реализации в точке \bar{x} ограничения (2) «для одних решений будут выполняться, для других нет» [6]. Таким образом, можно говорить о случайном разбросе функциональных границ вокруг своих номинальных значений.

Если, используя выборочные методы, имеется возможность установить законы распределения функциональных ограничений и оценки их параметров в данной точке \bar{x} , то, задаваясь вероятностью не нарушения границ, можно определить новые функциональные ограничения $F^i(x) \leq 0$, удовлетворяющие выбранному уровню вероятности безотказного функционирования рассматриваемой системы в реальных условиях.

В общем случае параметры распределения функций $f^i(x, \theta)$ зависят от векторов x и θ , поэтому их можно представить в точке оптимального решения следующим образом $f^i(\bar{x}, \theta) = u^i(x) + v^i(\theta)$.

Оценки параметров распределения функциональных ограничений можно получить, используя зависимости математической статистики [6]:

$$M[f^i(\bar{x}, \theta)] = \sum_{j=1}^n f^i(\bar{x}, \theta) / n, \quad (4)$$

$$\sigma^2[f^i(\bar{x}, \theta)] = \frac{n \sum_{j=1}^n [f^i(\bar{x}, \theta)]^2 - \left[\sum_{j=1}^n f^i(\bar{x}, \theta) \right]^2}{n(n-1)}. \quad (5)$$

Необходимо иметь в виду, что по формулам (4) и (5) мы определяем оценки параметров. В задачах, где требуется высокая точность вероятности не нарушения функциональных ограничений, необходим расчет соответствующего объема выборки.

Последовательность оптимизации выделенного класса задач проектирования с использованием их стохастических моделей включает три этапа [6]:

I этап – «поиск оптимального решения на детерминированной модели»;

II этап – «статистический анализ функциональных ограничений в окрестности оптимального решения и построение области допустимых решений задачи по вероятности»;

III этап – «поиск оптимального решения задачи для новой системы функциональных ограничений».

Для применения численных методов исследований сложных строительных конструкций и сооружений целесообразно применять программные комплексы общего назначения. Наряду с этим для расчета уникальных зданий и сооружений могут использоваться программные комплексы, в которых накладываются ограничения на возможность выбора расчетной схемы.

Выделим основные этапы методики оптимального проектирования [6]:

– «разработка математической модели прочности и жесткости элементов конструкции с целью оптимизация ее параметров при действии на нее детерминированной внешней нагрузки»;

– «разработка стохастической модели функционирования конструкции с учетом реальных разбросов (в пределах нормативных допусков) всех случайных параметров для оценки статистических параметров функциональных ограничений и их корректуре».

Рассмотрим пример системного подхода к исследованию каркаса зданий межвидового применения, что дает разнообразие конструктивных схем, воздействий и т.д. [7]. Для эффективного проектирования каркасных конструкций применим расчетную модель, позволяющую точно определить параметры напряженно-деформированного состояния её элементов.

Тогда выделим следующие этапы [7]:

I этап – «разработка расчетной модели каркаса здания, учитывающей факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние элементов»;

II этап – «выявление неизвестных параметров расчетной модели и проведение предварительных вычислений для получения расчетных уравнений»;

III этап – «проведение физических экспериментов для получения данных, необходимых для определения неизвестных параметров расчетной модели и проверки ее адекватности»;

IV этап – «уточнение расчетной модели и выполнение расчетов в необходимом объеме».

Причем результат расчета должен быть получен в виде, удобном для проектирования элементов, а сама расчетная модель должна быть четкой, удобной в работе.

После определения неизвестных параметров были выполнены расчеты модели фрагмента и проверена адекватность расчетной модели, которая показала достоверность разработанной расчетной модели.

На отлаженной расчетной модели были выполнены численные исследования и оценено влияние следующих факторов отклонения: в жесткостных характеристиках элементов, в изменении высоты этажа и граничных условий, в качестве замоноличивания стыков и т.д., на напряженно-деформированное состояние каркаса здания межвидового применения.

Таким образом, при проектировании каркасных сооружений для сейсмоопасных районов выбираются принципиальные конструктивные схемы сооружения; определяются характер и величина распределения усилий и геометрические размеры несущих конструкций от основных нагрузок; создается расчетная динамическая модель, и находятся возможные динамические усилия (в зависимости от интенсивности землетрясения) в наиболее опасных участках расчетной модели; учитывается возможность их проявления в местах, которые определяют прочность и надежность элементов и их соединений.

Список литературы/ References

1. Волков А.А. Информационная поддержка процессов оперативного влияния на динамику чрезвычайных ситуаций в строительных объектах / А.А. Волков. – Большой Российский каталог. Строительство. – М.: КATALOGI и справочники, 2000. – С. 38–40.
2. Volkov A.A. Aktive Sicherheit von Bauobjekten in aussergewöhnlichen Situationen // IKM 2000, ABSTRACTS: PROMISE AND REALITY. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2000. – 49 p.
3. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд. СПбГТУ, 1997. – 510 с.
4. Лямец В.И. Системный анализ / В.И. Лямец, А.Д. Тевяшев. – Харьков: ХТУРЭ, 1998. – 252 с.
5. Петров В.П. Общая теория систем / В.П. Петров, И.С. Сидоров, К.А. Козлов. – СПб.: Научная мысль, 2005. – 480 с.
6. Чемодуров В.Т. Моделирование систем / В.Т. Чемодуров. – Л.: ВМА, 1983. – 184 с.
7. Методические рекомендации по исследованию строительных конструкций с применением математического и физического моделирования. – К: НИИСК, 1987. – 68 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Volkov A.A. Informacionnaja podderzhka processov operativnogo vlijaniya na dinamiku chrezvychajnyh situacij v stroitel'nyh ob'ektah [Informative support of processes of operative influence on the dynamics of emergencies in building objects] / A.A. Volkov // Bol'shoj Rossijskij katalog. Stroitel'stvo. [Large Russian catalogue. Building]. – М.: KATALOGI i spravochniki [Catalogues and reference books], 2000. – P. 38–40. [in Russian]
2. Volkov A.A. Aktive Sicherheit von Bauobjekten in aussergewöhnlichen Situationen // IKM 2000, ABSTRACTS: PROMISE AND REALITY. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2000. – 49 p.
3. Volkova V.N. Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza [Bases of theory of the systems and analysis of the systems] / V.N. Volkova, A.A. Denisov. – SPb.: Izd. SPbGTU, 1997. – 510 p. [in Russian]
4. Ljamec V.I. Sistemnyj analiz [Analysis of the systems] / V.I. Ljamec, A.D. Tevjashev. – Har'kov: HTURJE, 1998. – 252 p. [in Russian]
5. Petrov V.P. Obshhaja teorija sistem [General theory of the systems] / V.P. Petrov, I.S. Sidorov, K.A. Kozlov. – SPb.: Nauchnaja mysl', 2005. – 480 p. [in Russian]
6. Chemodurov V.T. Modelirovanie system [Modeling of the systems] / V.T. Chemodurov. – L.: VMA, 1983. – 184 p. [in Russian]
7. Metodicheskie rekomendacii po issledovaniju stroitel'nyh konstrukcij s primeneniem matematicheskogo i fizicheskogo modelirovanija [Methodical recommendations on research of building constructions with the use of mathematical and physical modeling]. – K: NIISK, 1987. – 68 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.015

Ломазов В.А.¹, Прокушев Я.Е.²¹Доктор, физико-математических наук,²кандидат технических наук, Белгородский университет кооперации, экономики и права**КРИТЕРИИ ВЫБОРА СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ****Аннотация**

Исследуется задача оценивания программно-аппаратных средств защиты персональных данных в информационных системах. Разработана система оценочных критериев, для которых построены измерительные шкалы, ориентированные на применении экспертных оценок. Приведены примеры использования разработанных критериев для оценивания наиболее распространенных на российском рынке средств защиты информации. Разработанные критерии могут быть использованы для поддержки решений по выбору средств информационной безопасности.

Ключевые слова: информационная безопасность, критерии.

Lomazov V.A.¹, Prokushev Ya.E.²¹PhD in Physics and Mathematics, ²PhD in Engineering,

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law

SELECTION CRITERIA MEANS OF INFORMATION SECURITY OF PERSONAL DATA**Abstract**

The problem of estimating software and hardware protection of personal data in information systems is considered. It is constructed the system of estimation criteria, for which the measuring scales, oriented on the use of expert judgments, are established. Examples of use of the developed criteria for the estimation of the most widespread in the Russian market of information security are considered. The developed criteria can be used to support decisions on the selection of information security solutions.

Keywords: information security, criteria.

Введение

Обеспечение защиты персональных данных (ПД) является актуальной проблемой практически для всех организаций. Прежде всего, статья 19 Федерального Закона № 152 «О персональных данных» требует от оператора принятия «...необходимых правовых, организационных и технических мер для защиты персональных данных от неправомерного или случайного доступа к ним, а также от иных неправомерных действий...». Кроме того, выполнение мер по обеспечению защиты ПД от несанкционированного доступа (НСД) достаточно часто бывает продиктована потребностями самой организации – утечка сведений о клиентах и сотрудниках организации может привести к весьма серьезным имиджевым и материальным потерям. При этом требования нормативных документов оставляют организациям возможность самостоятельного выбора применяемых программно-аппаратных средств защиты информации (ПАСЗИ). Целью настоящей работы является выработка (и апробация на конкретных примерах) критериев такого выбора.

Критерии оценки возможностей средств защиты ПД

На российском рынке сертифицированных ПАСЗИ наиболее широкое распространение получили продукты (фирмы производители: КОД БЕЗОПАСНОСТИ, КОНФИДЕНТ, РУБИНТЕХ, ОКБ САПР), которые предлагается оценивать по следующим основным критериям:

1. Использование средств аппаратной поддержки.

Наличие специализированных плат, являющееся обязательным условием функционирования для СЗИ от НСД (ПО Аккорд) выпускаемых ОКБ САПР, и желательным для продуктов семейства Secret Net, позволяет, в частности, проводить аутентификацию пользователей до загрузки операционной системы и предотвращать загрузки с внешних носителей – одной из самых распространенных и легко реализуемых атак. При этом плата Secret Net предотвращает только альтернативную загрузку, однако аутентификацию самостоятельно не выполняет. Существенным недостатком отдельных продуктов этих производителей является завершение их работы после загрузки операционной системы (ОС), после чего защита информационной среды производится только средствами ОС.

СЗИ от НСД Dallas Lock и Страж NT не используют аппаратные платы и требуют специальной настройки BIOS, блокируя возможность альтернативной загрузки.

2. Шифрование пользовательской информации.

Возможность шифрования системных областей жестких дисков предусмотрена в СЗИ от НСД Страж NT 3.0, а также в Secret Net 7 в случае покупки модуля Trusted Boot Loader. Однако такого рода защита преодолима с помощью ряда утилит восстановления данных, а, следовательно, не обеспечивает гарантированной стойкости. СЗИ Dallas Lock 8K позволяет создавать криптографически защищенные файловые контейнеры, а Dallas Lock 8C дополнительно имеет возможность полного шифрования жестких дисков, что обеспечивает значительно более высокую защищенность, чем Страж NT 3.0. Также возможность шифрования данных появилась в качестве дополнительной опции в программном продукте Secret Net Studio.

Продукты ОКБ САПР, а также Secret Net 7 и ПАК Соболев шифрование пользовательской информации не поддерживают.

Следует учитывать, что шифрование обеспечивает защиту от ознакомления, но не от уничтожения данных. Если нарушитель успешно осуществит загрузку с альтернативного источника, то он сможет удалить информацию.

3. Осуществление аудита событий.

Эта опция на наш взгляд лучше всего реализована в DallasLock 8K или 8C, где есть несколько журналов, ведущих учет событий, сгруппированных по разным категориям. Изделия ОКБ САПР ведут журналы для каждой отдельно взятой сессии пользователя, записывая туда все события. В Страж NT 3.0 предусмотрено два журнала – печати и остальных событий. Для этих трех СЗИ от НСД характерно резервирование учтенных событий. При достижении определенного размера, журналы архивируются и очищаются. Ведение журнала событий в СЗИ Secret Net организовано несколько хуже, поскольку он автоматически не резервируется, как в СЗИ Dallas Lock, Аккорд или Страж NT, а перезаписывается. Создать резервную копию журнала в СЗИ Secret Net можно только вручную.

В последних версиях Secret Net и Dallas Lock реализован механизм теневого копирования, позволяющий отслеживать информацию, которая была распечатана или перенесена на съемные носители.

4. Контроль целостности ресурсов.

Достаточно легко настраивается во всех СЗИ от НСД. Средства защиты осуществляют контроль во время загрузки операционной системы или входа пользователей. В Dallas Lock 8K и 8C присутствует возможность контроля макропараметров защищаемой системы – списка пользователей, каталогов общего доступа, сетевых адаптеров и т.п.

Отдельно следует отметить возможность контроля объектов файловой структуры, веток реестра и перечня устройств до запуска операционной системы с помощью АМДЗ Аккорд и ПАК Соболев. Это дает возможность полностью исключить влияние вредоносного программного обеспечения на проверку целостности автоматизированной системы.

5. Возможность настройки замкнутой программной среды.

Является важнейшим механизмом обеспечения защиты и целостности информационной среды: предотвращает запуск несанкционированного программного обеспечения, значительно повышает антивирусную безопасность системы. В сравнении с другими продуктами, настройка ЗПС в программном обеспечении СЗИ Аккорд выполняется несколько сложнее чем, в других защитных программах.

6. Стоимость средств защиты.

Самым дорогими являются использующие платы аппаратной поддержки СЗИ ОКБ САПР и Secret Net. Другие СЗИ значительно дешевле.

7. Личные предпочтения администраторов безопасности, которые будут устанавливать и настраивать средства защиты информации, также играют определенную роль при выборе средств.

8. Наличие механизма дискреционного контроля доступа к объектам файловой структуры и устройствам. Все средства защиты реализуют свой отличный от Windows механизм, кроме ПАК Соболев и АМДЗ Аккорд.

9. Затирание информации.

Реализовано во всех анализируемых ПАСЗИ на достаточном для обеспечения защиты ПД уровне.

10. Поддержка аутентификации.

Во всех рассмотренных ПАСЗИ предусмотрена поддержка используемых для аутентификации устройств e-Token, ru-Token, I-Button.

Примеры использования разработанных критериев

Для формализации описания возможностей средств защиты информации и формирования условий выбора предпочтительней использовать усиленные порядковые шкалы, где вербальным терминам соответствует определенное балльное значение. Предлагается использовать шкалы, описываемые кортежами значений:

1) {отсутствует, 0; низкая, 1; средняя, 3; выше среднего, 4; высокая, 5};

2) {отсутствует, 0; слабая, 1; средняя, 3; сильная, 4; очень сильная, 5}.

Результаты оценивания (в соответствии с предложенными критериями) ПАСЗИ, основанные на опыте их использования, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Оценки программно-аппаратных средств защиты информации

Средства защиты	Оценочные критерии									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secret Net (с платой Secret net touch memory)	4	0	3	4	5	4	5	5	4	5
Secret Net (без платы Secret net touch memory)	1	0	3	4	5	3	3	5	4	5
Secret Net (с платой Соболев)	5	0	3	5	5	5	5	5	4	5
ПАК Соболев	5	0	1	5	0	5	3	0	0	5
АМДЗ Аккорд	5	0	1	3	0	4	3	0	0	5
ПАК Аккорд	5	0	4	5	3	5	3	5	4	5
Dallas Lock 8K	1	3	5	5	5	3	5	4	4	5
Dallas Lock 8C	1	5	5	5	5	4	4	4	4	5
Страж NT	1	1	5	5	5	3	4	5	4	5

Заключение

Предложенный набор оценочных критериев (с учетом их относительной значимости) может служить основой для построения иерархии критериев, являющейся инструментом поддержки принятия многокритериальных решений [1] по выбору ПАСЗИ.

Список литературы/ References

1. Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Академия, 2009. – 400 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Petrovskiy A.B. Teoriya prinyatiya resheniy [Decision Making Theory]. – М.: Akademiya, 2009. – 400 s. [In Russian].

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.146

Любомирский Н.В.¹, Бахтин А.С.², Бахтина Т.А.³, Николаенко Е.Ю.⁴, Николаенко В.В.⁵¹ORCID: 0000-0001-6298-5077, Доктор технических наук, профессор,²ORCID: 0000-0001-6255-8948, Кандидат технических наук, доцент,³ORCID: 0000-0002-5241-0074, Кандидат технических наук, доцент,⁴ORCID: 0000-0002-3378-2032, ⁵ORCID: 0000-0002-7095-7946,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

ВЛИЯНИЕ ГИДРОКАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ

Аннотация

Установлено, что гидрокарбонат кальция, возникающий в системе «известь и/или известняк – вода – углекислый газ», способствует повышению прочностных характеристик получаемого материала, а карбонаткальцевый наполнитель в искусственно карбонизируемых составах является активным компонентом, участвующим в процессах твердения, структурообразования и формирования физико-механических свойств получаемого материала в результате реакции карбонизации в условиях повышенного содержания CO_2 .

Ключевые слова: гидроксид кальция, известь, карбонизационное твердение, гидрокарбонат кальция, карбонат кальция, прочность

Lyubomirsky N.V.¹, Bakhtin A.S.², Bakhtina T.A.³, Nikolaenko E.Y.⁴, Nikolaenko V.V.⁵¹ORCID: 0000-0001-6298-5077, PhD in Engineering, professor,²ORCID: 0000-0001-6255-8948, PhD in Engineering, associate professor,³ORCID: 0000-0002-5241-0074, PhD in Engineering, associate professor,⁴ORCID: 0000-0002-3378-2032, ⁵ORCID: 0000-0002-7095-7946,

Academy of construction and architecture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University

THE EFFECT OF CALCIUM BICARBONATE ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF MATERIALS BASED ON LIME CARBONIZING HARDENING

Abstract

It is established that the calcium hydrocarbonate arising in the "lime and/or limestone-water-carbon dioxide" system promotes increasing of strength characteristics of the obtained material, and calcium carbonate as a filler in artificially carbonated structures is the active component participating in processes of curing, structurization and formation of physicomechanical properties of the obtained material as a result of reaction of carbonization in the conditions of the increased maintenance of CO_2 .

Keywords: calcium hydroxide, lime, carbonizing hardening, calcium hydrogen carbonate, calcium carbonate, strength.

Введение

Гидроксид кальция как основное вяжущее вещество в растворе извести, широко и успешно использовалось с древних времен. Это вяжущее вещество затвердевает в результате реакции карбонизации, которая изменяет микроструктуру и пористую структуру строительного раствора, улучшая его механические свойства и долговечность. Насыщение углекислотой в растворах извести происходит, когда CO_2 в воздухе распространяется через открытые поры раствора, растворяется в воде, находящейся внутри капиллярной поры, и реагирует с растворенным гидроксидом кальция. Это приводит к осаждению кристаллов карбоната кальция, выделению воды и тепла. Этот полный процесс выглядит следующим образом:



Это гетерогенная реакция (1), в которой твердая, жидкая и газообразная составляющие участвуют вместе. Образование карбоната кальция происходит в несколько этапов. Сначала происходит растворение гидроксида кальция, которое сопровождается выделением ионов Ca^{2+} и освобождением капиллярных пор от воды. В это же время углекислый газ диффундирует в виде раствора в открытые поры. При этом происходит его адсорбция, растворение и превращение в гидратную форму угольной кислоты (H_2CO_3), под действием которой в системе образуется бикарбонат ионы (HCO_3^-) и карбонат ионы (CO_3^{2-}). В конечном счете, реакция между ионами Ca^{2+} и CO_3^{2-} приводит к осаждению кристаллов карбоната кальция, путем образования ядра и последующего кристаллического роста.

Процесс превращения гидроксида кальция в карбонат кальция в естественных атмосферных условиях протекает десятилетия, главным образом, из-за низкого содержания в воздухе углекислого газа (~0,03 %). Интерес к процессу ускоренной карбонизации известковых вяжущих и получения в результате искусственного карбонатного камня возник в начале XX века и активно прорабатывался в середине прошлого столетия [1 – 7], однако, научные проработки не имели дальнейшего практического использования, так как совпали с бурным развитием цементных вяжущих и повсеместным использованием бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Не так остро на то время стояли экологические проблемы. В большинстве случаев научный интерес к процессу карбонизации сводился к проблеме,

как предотвратить активную карбонизацию свободного гидроксида кальция в бетоне, вызывающую карбонизационную усадку, и повысить долговечность строительных конструкций [8 – 11].

На сегодняшний день, экологические проблемы, связанные с глобальным потеплением на планете Земля, которое носит по мнению большинства ученых [12] антропогенный характер, вынуждает ученых искать различные эффективные методы снижения концентрации диоксида углерода в атмосфере – одного из самых сильных по воздействию на климат фактора. Одним из перспективных направлений в этой области являются разработки строительных материалов, способных накапливать диоксид углерода в течение жизненного цикла [13 – 15], и технологий их производства, в которых гидратационное твердение вяжущих заменяется карбонизацией [16, 17], за счет утилизации CO_2 из дымовых газов. В этой связи, в последние десятилетия значительно возрос интерес к материалам на основе извести с точки зрения организации их производства за счет искусственной карбонизации. Ряд исследований в этом направлении ведутся в мире [18 – 21].

Исследования, проведенные авторами настоящей статьи [22, 23], позволили установить химические, физико-химические особенности карбонизации известковых вяжущих веществ, оптимизировать технологические параметры искусственной карбонизации извести. Исходя из физико-химической природы карбонатного твердения извести, в процессе образования нерастворимого карбоната кальция непременно будет образовываться гидрокарбонат кальция ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), оказывающий определенное влияние на структурообразование материала.

Таким образом, вопрос перехода гидрокарбоната кальция в карбонат кальция является одним из определяющих при изучении процесса образования вторичного карбоната кальция и получения на его основе прочного искусственного карбонатного камня.

Целью настоящей работы является с помощью теоретических и экспериментальных исследований установить особенности влияния гидрокарбоната кальция в процессах структурообразования и формирования физико-механических свойств искусственного карбонатного камня, получаемого на основе извести, твердеющего в среде повышенных концентраций углекислого газа.

Методология

Для решения поставленной цели, прежде всего, теоретически был детально рассмотрен механизм карбонизации известкового теста с выделением этапа образования в системе гидрокарбоната кальция. Для исследования и графического представления механизма карбонизации известкового теста была использована известная форма представления гетерофазного химического процесса [24].

Установление участия гидрокарбоната кальция в процессах структурообразования и формировании прочности материала проводили экспериментально на примере карбонаткальциевых образцов, сформованных способом прессования. Опытные образцы представляли собой образцы-цилиндры $\varnothing 0,030$ м. Для изготовления опытных образцов использовали молотый мраморовидный известняк ОАО карьер «Мраморный» с. Мраморное (Симферопольский район, РК). Мраморовидный известняк является продуктом метаморфизации и химической дифференциации известняков. Химический состав мраморовидного известняка представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав мраморовидного известняка, % мас.

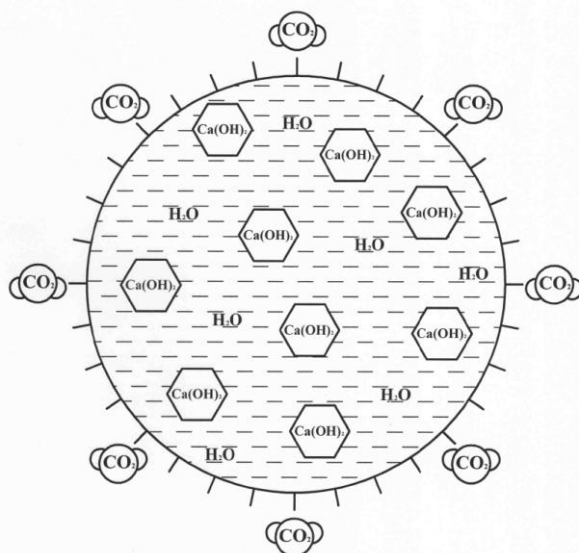
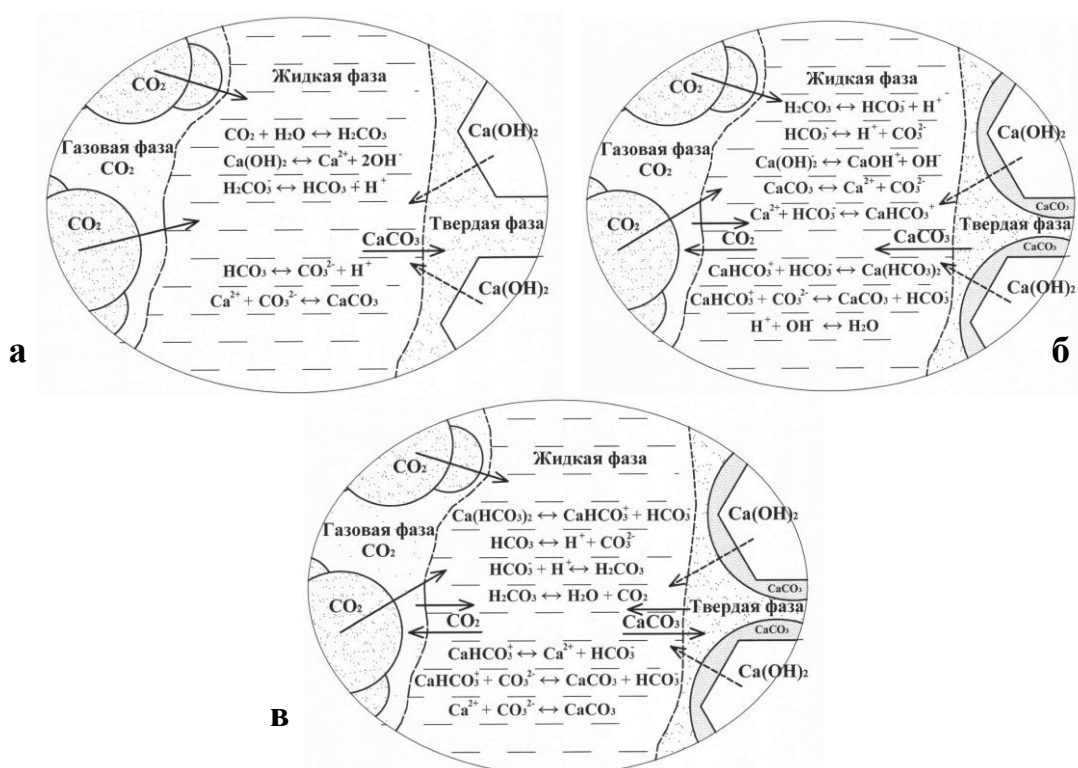
SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	п.п.п.
1,9	0,68	1,57	48,08	2,54	0,67	43,8

Удельная поверхность известняка для изготовления опытных образцов составляла около $300 \text{ м}^2/\text{кг}$. Усилие давления прессования и водосодержание смеси подбирали таким образом, чтобы получить образцы, обладающие достаточной прочностью для работы с ними (чтобы не крошились при переноске). Удельное давление прессования составляло 30 МПа, водосодержание сырьевой смеси варьировали в пределах 5 – 15 % мас. После формования образцы устанавливались в карбонизационную камеру [25], в которую подавали 100 % углекислый газ. После обработки углекислым газом (карбонизации) образцы подсушивались и испытывались на гидравлическом прессе для определения прочности на сжатие.

Микроструктуру опытных образцов исследовали с помощью электронной сканирующей микроскопии на сканирующем электронном микроскопе Philips XL 30S FEG.

Результаты и их обсуждение

Представим процесс искусственной карбонизации графически. На рис. 1 показан структурный элемент известкового теста до введения в систему углекислого газа и начала взаимодействия с ним. Известковое тесто представлено в виде двухфазной среды, каждая из фаз, как принято в механике насыщенных пористых сред, считается равномерно распределенной по объему. С момента подачи углекислого газа начинается процесс карбонизации. Процесс образования вторичного CaCO_3 в результате искусственной карбонизации известкового теста условно можно разделить на три стадии (рис. 2).

Рис. 1 – Структурный элемент известкового теста до взаимодействия с CO_2 Рис. 2 – Стадии образования вторичного карбоната кальция в системе « $\text{Ca(OH)}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ »:

а – образование CaCO_3 ; б – растворение CaCO_3 и образование в системе $\text{Ca(HCO}_3)_2$;
в – превращение $\text{Ca(HCO}_3)_2$ в CaCO_3

На первой стадии (см. рис. 2 а) в результате диссоциации Ca(OH)_2 и угольной кислоты образуется карбонат кальция, который образуется на поверхности контакта жидкой и твердой фаз, и осаждается в виде карбонатного слоя на поверхности зерен извести. При наличии в системе CO_2 новообразованный CaCO_3 растворяется и переходит в гидрокарбонат кальция (см. рис. 2 б). В присутствии в растворе жидкой фазы ионов CaOH^+ и гидрокарбоната кальция, который диссоциирует на CaHCO_3^+ и HCO_3^- ; известь переходит в карбонат кальция по уравнению (1), который, в свою очередь, уплотняет карбонизированный слой на поверхности зерен Ca(OH)_2 . Из-за блокирования зерен извести слоем карбоната кальция эта реакция протекает в малых количествах и, как было сказано, с увеличением содержания $\text{Ca(HCO}_3)_2$ практически прекращается.

Дальнейшее образование CaCO_3 происходит в жидкой фазе из гидрокарбоната кальция при взаимодействии $\text{Ca(HCO}_3)_2$ и H_2CO_3 . Превращение гидрокарбоната кальция в карбонат является типичным представителем гомогенного гетерофазного процесса [26]. Механизм превращения гидрокарбоната в карбонат из водного раствора представлен следующим образом (см. рис. 2 в). Зона нарушения состояния динамического равновесия системы обратимых химических реакций в растворе за счет необратимой массопередачи CO_2 из жидкой фазы в газовую является зона вблизи от поверхности контакта жидкой и все время обновляемой газовой фазы. Это и есть зона протекания рассматриваемого химического превращения, лимитирующей стадией которого является массопередача реакционного CO_2 из жидкой фазы в газовую.

Стадия образования карбоната кальция, обусловленная массопередачей CaCO_3 из жидкой фазы в твердую фазу, оказывает определенное воздействие на скорость процесса в целом, но лимитирующей стадией превращения гидрокарбоната кальция в карбонат она не является [24]. Таким образом, образование карбоната кальция в системе является не причиной превращения гидрокарбоната кальция в карбонат, а его следствием.

Для установления влияния $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ на прочностные свойства изделий на основе извести карбонизационного твердения была проведена серия опытов на спрессованных образцах из мраморовидного известняка. Мраморовидный известняк почти на 92 % мас. состоит из CaCO_3 (см. табл. 1). Согласно вышеизложенным теоретическим выкладкам, при обработке углекислым газом в жидкой фазе опытных образцов будет образовываться углекислая соль – гидрокарбонат кальция. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ может существовать только в растворенном состоянии, а при удалении (испарении) жидкости откладывается на поверхности в виде CaCO_3 [23, 24]. Таким образом, кристаллы CaCO_3 , новообразованные из $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, должны откладываться на поверхности зерен мраморовидного известняка, увеличивая площадь контакта между зернами, и повышать, тем самым, прочность образцов.

В табл. 2 и 3 приведены результаты лабораторных испытаний на прочность на сжатие опытных образцов из мраморовидного известняка, полученных прессованием при 30 МПа, в зависимости от формовочной влажности сырьевой смеси (водосодержания) и времени карбонизации. Графическое представление результатов табл. 3 представлено на рис. 3.

С увеличением водосодержания формовочной смеси с 5 до 15 % мас. прочность на сжатие образцов-цилиндров снижается. Так при 5 % мас. содержании воды прочность на сжатие составляет 5,38 МПа, что на 56,4 % выше прочности образцов-сырцов, а при водосодержании 15 % мас. предел прочности при сжатии составляет 2,93 МПа и превышает начальную прочность образцов всего на 1,6 %. Очевидно, что с увеличением количества воды в системе поры между зернами известняка заполнены водой, что затрудняет диффузию углекислого газа внутри образца.

Таблица 2 – Прочность на сжатие опытных образцов в зависимости от начального водосодержания формовочной смеси (время карбонизации 10800 с)

№ п/п	Начальное водосодержание смеси, % мас.	Прочность на сжатие образцов, МПа		Прирост прочности после карбонизации, %
		некарбонизированных, $R_{сж.}$	карбонизированных, $R_{сж.}^k$	
1	5,0	3,44	5,38	56,4
2	7,5	3,37	5,24	55,5
3	10,0	3,25	5,00	53,6
4	12,5	3,15	4,19	33,0
5	15,0	2,88	2,93	1,6

Таблица 3 – Прочность на сжатие опытных образцов в зависимости от времени карбонизации (начальное водосодержание сырьевой смеси 10 % мас.)

№ п/п	Время обработки углекислым газом, с	Прочность на сжатие, МПа	Прирост прочности после карбонизации, %
1	Не карбонизированные	3,25	0
2	900	6,00	84,6
3	1800	5,76	73,9
4	3600	5,23	53,6
5	5400	5,12	62,3
6	7200	5,08	52,2
7	9000	5,03	59,4
8	10800	5,00	53,6

Интересными являются данные изменения прочности на сжатие опытных образцов во времени (см. табл. 3 и рис. 3). Изменение прочности на сжатие с течением времени носит скачкообразный характер и снижается с увеличением продолжительности обработки образцов углекислым газом: после карбонизации образцов в течение 900 с прочность повышается на 84,6 %, а после 10800 с выдерживания в среде углекислого газа превышение прочности в сравнении с прочностью образцов-сырцов составляет 53,6 %.

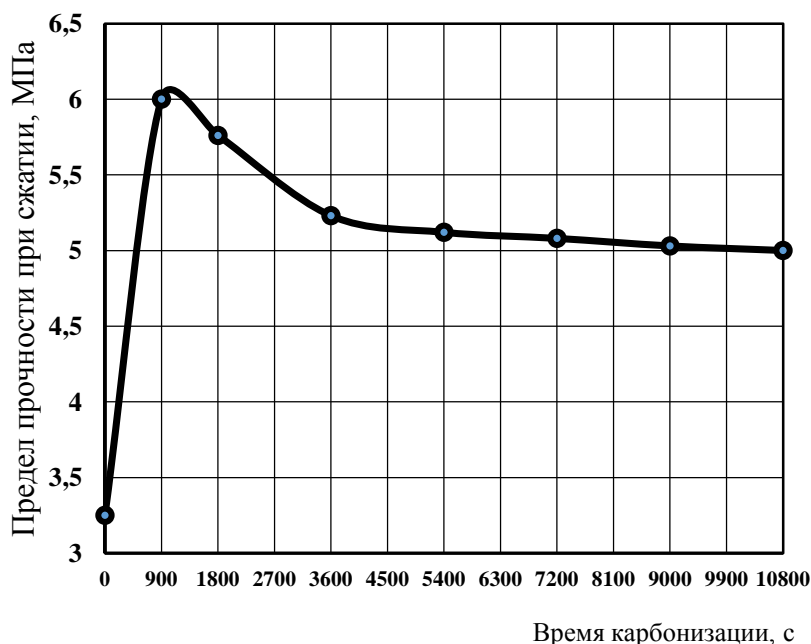


Рис. 3 – Зависимость изменения прочности на сжатие опытных известняковых образцов от времени обработки их углекислым газом

Спад прочности может быть объяснен следующим образом. В начальный период обработки известняка углекислым газом в системе «известняк – вода – углекислый газ» на поверхности частичек известняка образуется гидрокарбонат кальция, который адсорбируется на частичках известняка и при переходе в карбонат кальция при нагревании склеивает зерна известняка карбонатным гелем. При более длительном воздействии углекислого газа гидрокарбонат кальция реагирует с углекислотой с образованием карбоната кальция и воды, которая оказывается в избытке. Часть гидрокарбоната кальция растворяется в воде и вместе с ней по капиллярным порам удаляется из системы.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что гидрокарбонат кальция, возникающий на начальном этапе искусственного карбонизационного твердения известково-известняковых систем в значительном количестве, является одним из веществ, наиболее активно участвующим в структурообразовании и формировании свойств материалов на основе этих систем. Известняковый наполнитель и заполнитель, кроме того, что формирует пространственный каркас композита на основе извести, реализуя таким образом «физическую» часть своей структурообразующей роли [27], является активным участником физико-химических процессов формирования структуры и свойств материалов карбонизационного типа твердения. Активная роль известнякового наполнителя выражается в возникновении на его поверхности гидрокарбоната кальция и активизации поверхностного слоя его частиц за счет образования дополнительных поверхностей, возникающих в результате химического взаимодействия карбоната кальция известняка с углекислотой.

Для подтверждения последнего утверждения и установления влияния действия углекислого газа на изменения в структуре частиц известняка были проведены электронно-микроскопические исследования опытных образцов из мраморовидного известняка в зависимости от времени обработки их в среде 100 % концентрации углекислого газа (рис. 4).

Как видно из рис. 4, а, начальная (до обработки углекислым газом) структура мраморовидного известняка составлена крупными частицами в виде ромбоэдров, пространство между которыми заполнено известковым цементом. В результате выдерживание опытных образцов в среде CO_2 в течение 900 с на поверхности частиц появляются следы растворения в виде шелушения и появления гроздей шестиугольных и ромбоэдрических новообразованных кристалликов кальцита (см. рис. 4, б). Толщина лепестков шелушения составляет около 100 нм (см. рис. 4, в).

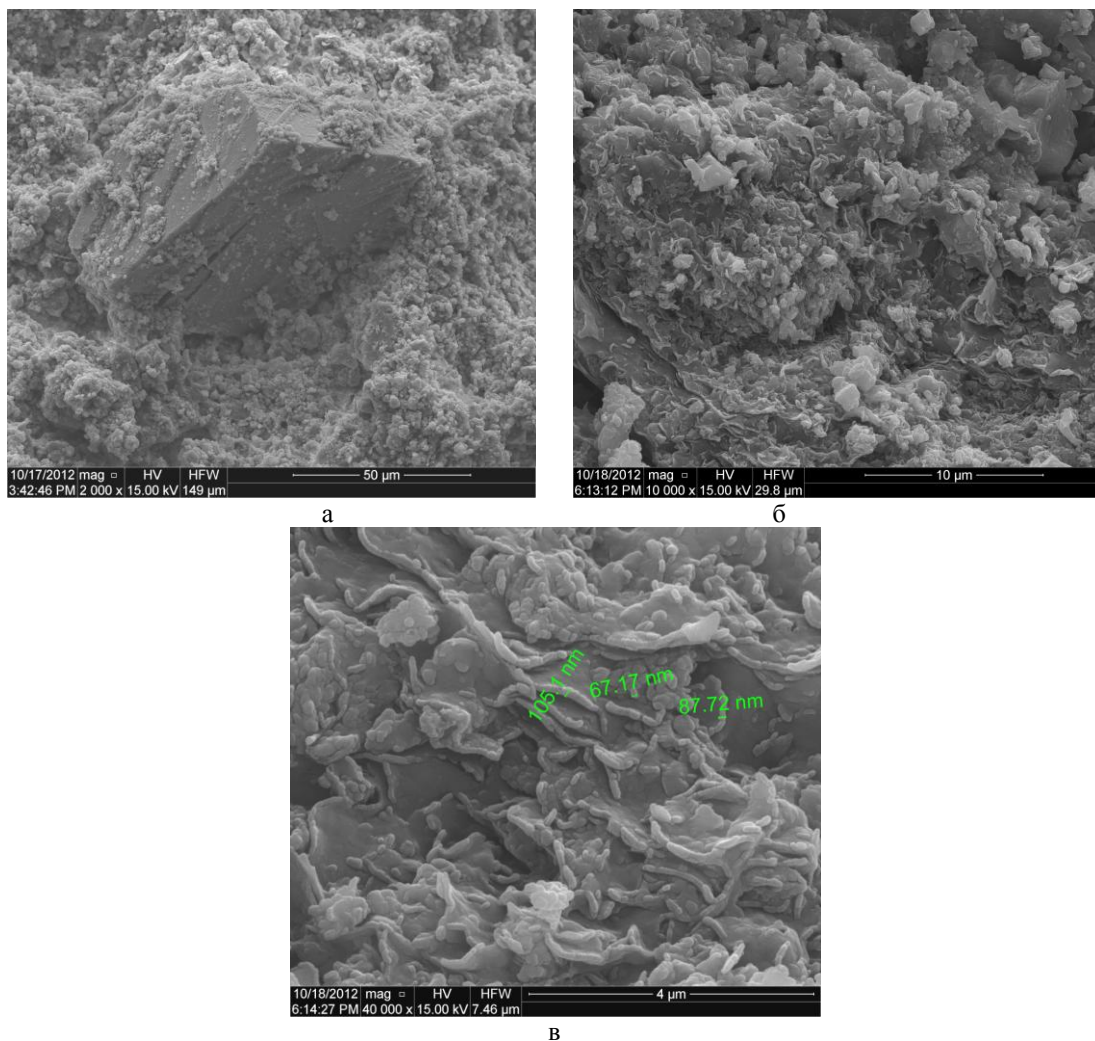


Рис. 4 – Микрофотографии мраморовидного известняка в зависимости от времени выдерживания их в среде 100 % CO_2 , с: а – 0, (увеличение $\times 2000$); б и в – 900, (увеличение $\times 10000$ и $\times 40000$).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что гидрокарбонат кальция, возникающий в системе «известь и/или известняк – вода – углекислый газ», способствует повышению прочностных характеристик получаемого материала. Поэтому важным технологическим фактором получения карбонизированных материалов должна быть сушка изделий после извлечения их из карбонизационной камеры для быстрого перевода $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в CaCO_3 .

Установлено, что известняковые наполнители являются компонентом, активно участвующими в процессах структурообразования и формирования физико-механических свойств материалов, твердеющих в условиях повышенных концентраций CO_2 в результате реакции карбонизации. Показано, что под агрессивным действием углекислоты происходит растворение поверхности частиц известняка, сопровождающееся образованием насыщенного раствора $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в межзерновом пространстве, а также изменяется поверхность частиц с образованием новых поверхностей в виде лепестков. Более шероховатая поверхность частиц известняка способствует лучшему сцеплению их с вяжущим и между собой, а образующийся в результате термического разложения раствора гидрокарбоната кальция в твердый нерастворимый карбонат кальция карбонатный цемент склеивает частицы известняка в прочный конгломерат.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения базовой части государственного задания по теме: «Строительные биопозитивные композиты карбонизационного типа твердения на основе извести с повышенными деформативными и механическими характеристиками».

Список литературы/ References

1. Байков А.А. Труды в области общей и физической химии. Разложение природных углекислых солей при нагревании / Байков А.А. Собрание трудов. – М. – Л.: изд. и 1-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР в Лгр., 1950. – II т. – С. 565 – 575.
2. Зацепин К.С. Известковые карбонизированные строительные материалы / Зацепин К.С. // Сб. материалов Московского науч.-технич. совещания по жил.-гражд. строит., строит. материалам и проектно-изыскат. работам. Т. 2. – М: Московская правда, 1952. – С. 283 – 290.
3. Matsuda O. Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime / Matsuda O., Yamada H. // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 8 – 17.

4. Aono T. Studies on the reactions between gas and solid, part II: absorption of CO₂ by CaO and Ca(OH)₂ / Aono T. // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – 1931. – № 6. – P. 319 – 324.
5. Михайлов Н.Н. Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего / Михайлов Н.Н., Кузнецов А.М. // Строительные материалы. – 1960. – № 9. – С. 28 – 30.
6. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties to Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – August. – P. 182 – 186.
7. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties to Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – September. – P. 84 – 90.
8. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий / Гершберг О.А. – М.: Стройиздат, 1965. – 327 с.
9. Алексеев С.Н. Кинетика карбонизации бетона / Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. // Бетон и железобетон. – 1969. – № 4. – С. 22 – 24.
10. Алексеев С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
11. Воробьев А.А. Влияние карбонизации на физико-механические свойства автоклавного газобетона с тонкомолотыми карбонатными добавками / Воробьев А.А. // Строительные материалы. – 1971. – № 2. – С. 32 – 33.
12. IPCC Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. // Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2014.
13. Пастори З., Борчок З., Горбачева Г.А. Баланс CO₂ различных видов стеновых конструкций // Строительные материалы. – 2015. – № 12. – С. 76 – 77.
14. Bribian I.Z., Capilla A.V., Uson A.A. Life-cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts of the eco-efficiency improvement potential // Building and Environment. – 2001. – № 46. – P. 1133 – 1140.
15. Sukla A., Tiwari G.N., Sodha M.S. Embodied energy analysis of adobe house // Renewable Energy. – 2009. – № 34. – P. 755 – 761.
16. Pöllmann H. Mineralogical Strategies to reduce CO₂ in the fabrication of alternative cements // IBAUSIL. – 2015. – Tagungsbericht Bd. 1. – P. 11 – 129.
17. Польманн Х. Пути сокращения выбросов CO₂ при производстве альтернативных цементов // Цемент и его применение. – 2016. – № 2. – С. 89 – 93.
18. Brouwer J.P. Mineral carbonation for CO₂ storage. [Электронный ресурс] / Brouwer J.P., Feron P.H.M. // First International Conference on Accelerated Carbonation. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/>.
19. Cizer O. Carbonation reaction of lime hydrate and hydraulic binders at 20°C. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. Режим доступа: <http://www.iscowa.org/>.
20. Cizer O. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/>.
21. Cultrone G. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural / Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. // Cement and Concrete Research Volume 16. – 2005. – Issue 12. – P. 278 – 289.
22. Любомирский Н.В. Химические принципы структурообразования известковых систем карбонизационного твердения / Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Акимов А.М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – 2009. – вип. № 33. – С. 257 – 262.
23. Любомирский Н.В. Особенности карбонизации известковых вяжущих материалов / Любомирский Н.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДонНАБА. – 2010. – Вип. 2010-5(85). – С. 121 – 126.
24. Иванов А.М. Кинетические аспекты и химические процессы химической технологии / Иванов А.М. – Тула: КПИ, 1988. – 100 с.
25. Любомирский Н.В. Автоматическая установка и методика изучения процесса карбонизации известки / [Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Локтионова Т.А., Носатов В.Г.] // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2007. – вып. 19-20. – С. 74 – 78.
26. Эммануэль Н.М. Курс химической кинетики / Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. – М.: Высшая школа, 1984. – 463 с.
27. Чернышев Е.М. Концепции и основания технологии наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 4. Золь-гель технология нано-, микродисперсных кристаллов портландита для контактно-конденсационного компактирования структур портландитового камня и композитов на его основе / Чернышев Е.М., Потамошнев Н.Д., Артамонова О.В. // Строительные материалы. – 2015. – № 11. – С. 65 – 73.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bajkov A.A. Trudy v oblasti obshhej i fizicheskoy himii. Razlozhenie prirodnyh uglekislyh solej pri nagrevanii [Works in the field of general and physical chemistry. Degradation of natural carbonates by heating] / Bajkov A.A. Sobranie trudov [Collected works]. – М. – Л.: izd. i 1-ja tip. Izd-va Akad. nauk SSSR v Lgr., 1950. – V. 2 – P. 565 – 575. [in Russian].
2. Zacepin K.S. Izvestkovye karbonizirovannye stroitel'nye materialy [Lime carbonated construction materials] / Zacepin K.S. // Sborn. materialov Moskovskogo nauch.-tehnic. soveshhanija po zhil.-grazhd. stroit., stroit. materialam i proektno-izyskat. rabotam. [The collection of materials of the Moscow scientific-technical meeting for civil construction, construction materials and design work]. V. 2. – М.: Moskovskaja pravda, 1952. – P. 283 – 290 [in Russian].
3. Matsuda O. Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime / Matsuda O., Yamada H. // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 8 – 17.

4. Aono T. Studies on the reactions between gas and solid, part II: absorption of CO₂ by CaO and Ca(OH)₂ / Aono T. // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – 1931. – № 6. – P. 319 – 324.
5. Mihajlov N.N. Iskustvennaja karbonizacija kak sposob povysenija aktivnosti dolomitovogo vjazhushhego [Artificial carbonation as a method of increasing the activity of dolomite binder] / Mihajlov N.N., Kuznecov A.M. // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 1960. – № 9. – P. 28 – 30 [in Russian].
6. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties to Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – August. – P. 182 – 186.
7. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties to Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – September. – P. 84 – 90.
8. Gershberg O.A. Tehnologija betonnyh i zhelezobetonnyh izdelij [Technology of concrete and reinforced concrete products] / Gershberg O.A. – M.: Strojizdat, 1965. – 327 p.
9. Alekseev S.N. Kinetika karbonizacii betona [Kinetics of concrete carbonation] / Alekseev S.N., Rozental' N.K. // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. – 1969. – № 4. – P. 22 – 24 [in Russian].
10. Alekseev S.N. Korrozionnaja stojkost' zhelezobetonnyh konstrukcij v agressivnoj promyshlennoj srede [The corrosion resistance of reinforced concrete structures in aggressive industrial environments] / Alekseev S.N., Rozental' N.K. – M.: Strojizdat, 1976. – 205 p.
11. Vorob'ev A.A. Vlijanie karbonizacii na fiziko-mehaničeskie svojstva avtoklavno go gazobetona s tonkomolotymi karbonatnymi dobavkami [Effect of carbonation on the physico-mechanical properties of autoclaved aerated concrete with fine carbonate additives] / Vorob'ev A.A. // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 1971. – №2. – P. 32 – 33 [in Russian].
12. IPCC Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. // Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2014.
13. Pastori Z., Borchok Z., Gorbacheva G.A. Balans CO₂ razlichnyh vidov stenovyh konstrukcij [The balance of carbon dioxide of various wall constructions] // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2015. – № 12. – P. 76 – 77.
14. Bribian I.Z., Capilla A.V., Uson A.A. Life-cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts of the eco-efficiency improvement potential // Building and Environment. – 2001. – № 46. – P. 1133 – 1140.
15. Sukla A., Tiwari G.N., Sodha M.S. Embodied energy analysis of adobe house // Renewable Energy. – 2009. – № 34. – P. 755 – 761.
16. Pöllmann H. Mineralogical Strategies to reduce CO₂ in the fabrication of alternative cements // IBAUSIL. – 2015. – Tagungsbericht Bd. 1. – P. 11 – 129.
17. Pol'mann H. Puti sokrashhenija vybrosov CO₂ pri proizvodstve al'ternativnyh cementov [Ways of reducing carbon dioxide emissions in the production of alternative cements] // Cement i ego primenenie [Cement and its applications]. – 2016. – № 2. – P. 89 – 93 [in Russian].
18. Brouwer J.P. Mineral carbonation for CO₂ storage. [Electronic resource] / Brouwer J.P., Feron P.H.M. // First International Conference on Accelerated Carbonation. – URL: <http://www.iscowa.org/>.
19. Cizer O. Carbonation reaction of lime hydrate and hydraulic binders at 20°C. [Electronic resource] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. URL: <http://www.iscowa.org/>.
20. Cizer O. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized from accelerated carbonation of lime binders. [Electronic resource] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – URL: <http://www.iscowa.org/>.
21. Cultrone G. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural / Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. // Cement and Concrete Research Volume 16. – 2005. – Issue 12. – P. 278 – 289.
22. Ljubomirskij N.V. Himicheskie principy strukturoobrazovanija izvestkovykh sistem karbonizacionnogo tverdenija [Chemical principles of structure lime carbonation curing systems] / Ljubomirskij N.V., Fedorkin S.I., Akimov A.M. // Visnik Odes'koj derzhavnoji akademii budivnictva ta arhitekturi [Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture]. – Odesa: Zovnishreklamservis. – 2009. – № 33. – P. 257 – 262 [in Russian].
23. Ljubomirskij N.V. Osobennosti karbonizacii izvestkovykh vjazhushhih materialov [Features carbonation lime binding materials] / Ljubomirskij N.V. // Visnik Donbas'koji nacional'noji akademii budivnictva i arhitekturi [Bulletin of the Donbass State Academy of Construction and Architecture]. – Makiivka: DonNABA. – 2010. – Vip. 2010-5(85). – P. 121 – 126 [in Russian].
24. Ivanov A.M. Kineticheskie aspekty i himicheskie processy himicheskoi tehnologii [Kinetic aspects and chemical processes of chemical technology] / Ivanov A.M. – Tula: KPI, 1988. – 100 p.
25. Ljubomirskij N.V. Avtomaticheskaja ustanovka i metodika izuchenija processa karbonizacii izvesti [Automatic installation and technique of studying of lime carbonization process] / [Ljubomirskij N.V., Fedorkin S.I., Loktionova T.A., Nosatov V.G.] // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost' [Construction and technogenic safety]. – Simferopol': NAPKS. – 2007. – vyp. 19-20. – P. 74 – 78 [in Russian].
26. Jemmanujel N.M. Kurs himicheskoi kinetiki [Chemical Kinetics Course] / Jemmanujel' N.M., Knorre D.G. – M.: Vysshaja shkola. – 463 p.
27. Chernyshev E.M. Konceptii i osnovanija tehnologii nanomodificirovanija struktur stroitel'nykh kompozitov. Chast' 4. Sol'-gel' tehnologija nano-, mikrodispersnykh kristallov portlandita dlja kontaktno-kondencionnogo kompaktirovanija struktur portlanditovogo kamnja i kompozitov na ego osnove [Concept and technology base of nano composites modifying of building structures. Part 4. Sol-gel technology nano- crystals microdispersed portlandite for condensation contact-compacting structures portlandite stone and composites on its basis] / Chernyshev E.M., Potamoshneva N.D., Artamonova O.V. // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2015. – № 11. – P. 65 – 73 [in Russian].

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.105

Матрунчик А.С.

ORCID: 0000-0003-0874-2933, старший преподаватель,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ЧИСТКА ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ БИООРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ**Аннотация**

В данной статье рассмотрены перспективы использования технологии чистки теплообменных аппаратов пластинчатого типа биоорганической жидкостью, использующей в своем составе активные бактерии. Подробно представлены достоинства и недостатки разных видов теплообменных аппаратов. Рассмотрен данный способ чистки, показаны свойства используемого вещества. Представлен опыт применения технологии на реальном объекте, приведены исходные и итоговые фотографии. Проанализирована перспектива использования данной технологии для систем жилищно-коммунального хозяйства городов.

Ключевые слова: теплообменник, теплообменный аппарат, биоорганическая жидкость, биоорганическое вещество.

Matrunchik A.S.

ORCID: 0000-0003-0874-2933, senior lecturer, Perm National Research Polytechnic University

HEAT EXCHANGING EQUIPMENT CLEANING WITH BIO ORGANIC MATTER**Abstract**

This article discusses the prospects for the use of clean technology heat exchangers plate-type liquid bioorganic using in its composition active bacteria. It is presented in detail the advantages and disadvantages of different types of heat exchangers. We consider this method of cleansing, shows the properties of the substance used. Experience in the application of technology to the real object, are given initial and final photos. It analyzed the prospect of using this technology for the systems of housing and communal services of cities.

Keywords: heat exchanger, heat exchanger, bioorganic liquid bio-organic substance.

Сфера жилищно-коммунального хозяйства в настоящее время имеет множество проблем, в числе которых и износ старых проложенных в прошлом веке трубопроводов, со временем утрачивающих свои качества и показатели, и проблемы с устройствами и оборудованием тепловых пунктов. Если остановиться подробнее на оборудовании тепловых пунктов, то одними из самых заметных и важнейших устройств являются теплообменные аппараты, применяющиеся в качестве элементов как для систем горячего водоснабжения, так и отопления. Теплообменные энергетические аппараты, расположенные в тепловых пунктах, могут быть двух основных видов: кожухотрубные и пластинчатые [1].

Кожухотрубные теплообменники в современности уступают роль пластинчатым, хотя несколько десятилетий назад именно они имели ведущую роль в жилищно-коммунальном хозяйстве страны. Они бывают трех видов: прямоточные, противоточные и перекрестноточные. Их конструкция такова: тонкие трубки с теплоносителем находятся в середине кожуха, поэтому от количества трубок и будет зависеть массовая скорость движения вещества-теплоносителя, которое повлияет на общую величину теплообмена аппарата. Из положительных качеств аппарата можно привести относительную устойчивость к гидравлическим ударам и возможность работать почти в любой среде. К основным недостаткам относят большие размеры, которые влекут за собой повышенную металлоемкость и цену, а кроме того, потребность в большой площади помещения теплового пункта.

Пластинчатые теплообменники, получившие в настоящее время самое широкое распространение, состоят из набора пластин определенного размера и количества. Подразделяются на паянные и разборные. Для жилищно-коммунального хозяйства рекомендуется применять только разборные пластинчатые теплообменники из-за проблемы чистки устройства и невозможности вскрытия паянного аппарата. К достоинствам данного вида теплообменных энергетических установок можно отнести компактность — они не занимают много места и их можно увязать в достаточно небольшом тепловом пункте, меньший вес вследствие применения меньшего количества металла для пластин, нежели, чем для кожухотрубного аппарата, простая возможность уменьшения и увеличения необходимой производительности теплообменного устройства из-за возможности добавления либо убавления количества пластин к уже существующему разборному пластинчатому теплообменнику. Недостатками аппарата являются высокая стоимость комплектующих прокладок, которые надо периодически менять, гидравлическое сопротивление выше, чем у кожухотрубных моделей, этим провоцируется зависимость более мощного насосного оборудования, что в свою очередь сказывается на общей стоимости теплового пункта, и, что самое главное, зависимость от уровня подготовки рабочего теплоносителя. Пластинчатые теплообменники в ходе работы получают отложения на внутренних стенках пластин (на рис. 1 представлена пластина теплообменника после вскрытия, на которой видны отложения), которые приходится ежегодно прочищать, используя различные вещества и технологии.



Рис. 1 – Пластина теплообменного аппарата

Во время работы тепловых энергетических установок теплообмена образуются различные соли, которые не всегда можно убрать механически или с использованием реагентов. Их компоненты нерастворимы в воде, устойчивы к кислотам, они существенно снижают теплоотдающую способность пластин и обладают серьезной механической прочностью. За последние годы появилось несколько технологий чистки разборных теплообменных аппаратов, в том числе использование биоорганических веществ на основе молочной кислоты. Общая приблизительная кислотность раствора: $pH=2,8..3,5$. Основные преимущества очистки с использованием биоорганического вещества от других видов:

1) Биовещество не активно при взаимодействии с металлами, этим оно отличается от кислот, используемых при очистке теплообменников. Если упомянуть об использовании соляной кислоты, считающейся оптимальным по эффекту и стоимости вариантом удаления большинства типов и видов твердых отложений в теплообменных устройствах, следует учесть, что она имеет повышенную коррозионную активность, следовательно, использовать её не всегда целесообразно, особенно при низкой скорости движения при очистке, из-за опасности поражения сварных участков труб и арматуры – мест повышенного коррозионного поражения.

2) Экологический аспект использования - биовещество является биоразлагаемым, то есть его можно утилизировать. Если использовать в технологической схеме очистки сепарацию, то будет происходить выпадение частиц отложений и белковых остатков.

3) Перспективность использования технологии для очистки труднодоступных участков систем отопления и теплоснабжения - разветвленных трубопроводов и трубопроводов малого диаметра.

Представленный способ очистки был проверен на нескольких объектах теплоснабжения. Предварительно теплообменник был демонтирован для проведения натурного осмотра устройства с целью выявления вида накипи и объемов отложений. При осмотре пластины теплообменника со стороны подачи теплоносителя наблюдалось устойчивое отложение темного серо-зеленого цвета с легким запахом нефтепродуктов. Отложения представляли собой особо прочный налет, который физическими и химическими методами не устранился. При осмотре пластины теплообменника со стороны нагрева воды наблюдалось устойчивое отложение рыжего цвета по всей поверхности. Отложения представляет собой особо прочный налет, который физическими методами не устранился, химическими методами устранился частично. Стороны пластин движения теплоносителя и нагреваемой воды имели загрязнения по всей площади рабочей поверхности. По итогам лабораторный исследований образков накипи для очистки устройства был выбран реагент со штаммом № 2. Концентрация реагента в системе во время очистки была установлена равной 5%, три цикла чистки, температурный режим $90\pm 5^{\circ}\text{C}$ при интенсивной циркуляции и давлении в системе 2,5 – 4 атм. К теплообменнику было подключено оборудование для обеспечения циркуляции и нагрева смеси воды с биоорганической жидкостью. Контроль за параметрами процесса осуществляется посредством приборов – манометров, термометров, врезанных в общую схему. Эксперимент по очистке был завершен, после чего был

произведен цикл промывки водой в течение одного часа. Промывка системы имела целью удаление остатков отработанных бактерий и переработанных отложений.

По окончании процесса очистки был произведен повторный демонтаж и вскрытие пластин теплообменника. Образования накипи перешли из твердого состояния в коллоидную массу, и были легко удалены струей воды, что стало возможным именно благодаря свойствам биоорганического реагента. Фотография очищенной пластины приведена на рис. 2.



Рис. 2 – Состояние пластины после очистки

Можно сделать вывод, что технологии биологической очистки систем теплоснабжения и отопления в будущем могут составить конкуренцию традиционным способам очистки, имея преимущества в виде экологичности и высокой эффективности, однако, недостатком будет являться большая стоимость использования данного способа. В любом случае, технология нуждается в доработке и дополнительных проверках её показателей работы.

Список литературы/ References

1. Кузьменков С.М. Замена кожухотрубных теплообменников для горячего водоснабжения на пластинчатые на центральных тепловых пунктах / Кузьменков С.М., Котов А.А. // Материалы докладов 43 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета. - 2010. - С. 302-303.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kuz'menkov S.M. Zamena kozhukhotrubnykh teploobmennikov dlia goriachego vodosnabzheniia na plastinchatye na tsentral'nykh teplovykh punktakh [Replacement shell and tube heat exchanger for hot water supply to the plate on the central heating unit] / S. M. Kuz'menkov, A. A. Kotov // Materialy dokladov 43 nauchno-tekhnicheskoi konferentsii преподавателей i studentov universiteta [Proceedings of the 43 scientific-technical conference of teachers and students]. - 2010. - P. 302-303. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.204

Наимов А.Н.¹, Синицын А.А.², Монаркин Н.Н.³,¹ORCID: 0000-0002-6194-7164, Доктор физико-математических наук, профессор,

Вологодский государственный университет (ВоГУ),

Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний (ВИПЭ ФСИН России),

²ORCID: 0000-0001-5238-696X, Кандидат технических наук, доцент,

Вологодский государственный университет (ВоГУ),

³ORCID: 0000-0002-4411-5753, Аспирант,

Вологодский государственный университет (ВоГУ), г. Вологда

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 15-01-04713а, 16-01-00150а***МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОРЕГУЛИРУЕМОГО ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА В РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ЗАЩИТНОЙ МАСКЕ****Аннотация**

В статье построена математическая модель процесса накопления и регенерации тепла в регенеративной защитной маске в виде нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Нелинейные члены уравнения позволяют описывать переключения с режима накопления в режим регенерации и обратно. Для построенного нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения введено понятие решения, удовлетворяющего заданным начальным условиям, и доказана теорема о существовании, единственности и свойствах решения. А также решена обратная задача по определению коэффициентов теплоотдачи на основе экспериментальных данных.

Ключевые слова: регенеративная защитная маска, процесс накопления и регенерации тепла, математическая модель, решение нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения.

Naimov A.N.¹, Sinitsyn A.A.², Monarkin N.N.³¹ORCID: 0000-0002-6194-7164, PhD in Physics and Mathematics, Professor, Vologda State University,

Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penitentiary Service,

²ORCID: 0000-0001-5238-696X, PhD in Engineering, Associate professor, Vologda State University,³ORCID: 0000-0002-4411-5753, Postgraduate student,

Vologda State University

*This work was supported in part by grants RFBR 15-01-04713a, 16-01-00150a***A MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTO LEVELING OF THE PROCESS OF ACCUMULATION AND HEAT RECOVERY IN REGENERATIVE PROTECTIVE MASK****Abstract**

The article builds the mathematical model the generation and heat recovery in regenerative protective mask in the form of a nonlinear ordinary differential equation of the first order. The nonlinear terms in the equation allow us to describe switching from the accumulation mode to the regeneration mode and back. For a nonlinear ordinary differential equation introduced the concept of the solution that satisfies initial conditions, and proved the theorem about existence, uniqueness and properties of solution. And also solved the inverse problem by finding of heat transfer coefficients on the basis of experimental data.

Keywords: regenerative protective mask, process accumulation and heat recovery, mathematical model, solution nonlinear ordinary differential equations.

Введение

В статье построена математическая модель процесса накопления и регенерации тепла в регенеративной защитной маске. Регенеративная защитная маска применяется как средство индивидуальной защиты органов дыхания при низких температурах ([1],[2]) В регенеративной защитной маске теплообменным элементом является регенеративная насадка: насадка попеременно нагревается потоком горячего воздуха и охлаждается потоком холодного воздуха. На этапе нагрева происходит накопление тепла в насадке, а на этапе охлаждения - регенерация (отдача) тепла от насадки.

Математические модели процессов теплообмена в регенеративной защитной маске исследованы в работах [1-3]. В отличие от этих работ, в настоящей статье построена и исследована математическая модель в виде нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Нелинейные члены уравнения позволяют моделировать автоматические переключения с режима накопления тепла в режим регенерации тепла и обратно. Для построенного нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения введено понятие решения, удовлетворяющего заданным начальным условиям, и доказана теорема о существовании, единственности и свойствах решения. Из этой теоремы вытекает, что согласно построенной модели процесс накопления и регенерации тепла происходит следующим образом: 1) начиная с некоторого момента τ_1 , зависящего от начальной температуры маски, температура маски колеблется периодически; 2) переключение с режима накопления в режим регенерации происходит автоматически в момент времени, когда температура маски достигает заданного максимального значения U_{\max} ; 3) переключение с режима регенерации в режим накопления происходит автоматически в момент времени, когда температура маски достигает заданного минимального значения U_{\min} ; 4) период колебаний температуры маски зависит от U_{\max} , U_{\min} , температуры наружного воздуха и физических характеристик маски.

На основе построенной модели решена задача определения коэффициентов теплоотдачи, применяя методологию решения коэффициентных обратных задач ([4-6]).

Таким образом, построенная математическая модель позволяют решать следующие практически значимые задачи:

1. Исследовать аналитически и графически изменение температуры регенеративной защитной маски в авторегулируемом процессе накопления и регенерации тепла.
2. Разработать алгоритм расчета коэффициентов теплоотдачи для всех этапов накопления и регенерации тепла в регенеративной защитной маске.
3. Оценить эффективность регенеративной защитной маски через период колебаний ее температуры.

Постановка задачи

В регенеративной защитной маске массы m , имеющей площадь S и коэффициент теплоемкости c , происходят два процесса – накопление и регенерация тепловой энергии ([1-3]). В процессе накопления тепла через маску протекает направленный в одну сторону поток горячего воздуха перпендикулярно поверхности маски. Вследствие этого маска нагревается и одновременно происходит теплопередача из внутренней среды во внешнюю (потеря тепла). Предполагается, что физические свойства маски и ее расположение позволяют накапливать значительное количество тепла, а теплопотери при этом незначительны. В процессе регенерации тепла через маску протекает поток холодного воздуха в обратном направлении. Поток холодного воздуха нагревается за счет накопленной в маске тепловой энергии.

В работе [3] предполагалось, что процессы накопления и регенерации тепла в маске наблюдаются в интервалах времени фиксированной длины и переключения между ними происходят внешним управлением. При этом доказано, что при неограниченном возрастании времени переключения происходят в те моменты времени, когда температура маски близка к критическим значениям U_{\max} и U_{\min} . Когда температура маски близка к U_{\max} происходит переключение с режима накопления в режим регенерации, а когда близка к U_{\min} происходит переключение с режима регенерации в режим накопления. Значения U_{\max} и U_{\min} определяются экспериментальными измерениями. В связи с этим представляет интерес вопрос о построении математической модели, описывающей процессы накопления и регенерации тепла с авторегулируемыми переключениями при достижении критических значений U_{\max} и U_{\min} .

Построение модели

Математическую модель процесса накопления и регенерации тепла в регенеративной защитной маске построим методом составления уравнения теплового баланса ([7]). Введем следующие обозначения:

m, S, c – масса, площадь и коэффициент теплоемкости маски;

$\nu(t)$ – температура маски в момент времени t в среднем по всей площади S ;

$\nu(0) = \nu_0$ – температура маски в начальный момент времени;

u – температура внешней среды, она постоянна;

Q – поток тепла, поступающий в маску за единицу времени в процессе накопления тепла, величину Q считаем постоянной;

α – коэффициент теплоотдачи маски внешней среде в процессе накопления тепла;

β – коэффициент теплоотдачи маски холодному воздуху в процессе регенерации тепла. Коэффициенты α и β считаем постоянными.

Составим уравнение теплового баланса в процессе накопления тепла в маске. В промежутке времени от t до $t + dt$, где dt считаем достаточно малым, из внутренней среды поступает тепло в количестве Qdt . Одна часть поступившего тепла расходуется на нагрев маски, а другая часть расходуется на теплоотдачу маски внешней среде. Следовательно, уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$Qdt = Q_1(t, t + dt) + Q_2(t, t + dt), \quad (1)$$

где $Q_1(t, t + dt)$ – количество тепла, которое расходуется на нагрев маски от температуры $\nu(t)$ до температуры $\nu(t + dt)$, $Q_2(t, t + dt)$ – количество тепла, отдаваемое маской внешней среде. Количество тепла $Q_1(t, t + dt)$ и приращение температуры $\Delta\nu(t) = \nu(t + dt) - \nu(t)$, согласно определению коэффициента теплоемкости ([8]), связаны между собой формулой

$$Q_1(t, t + dt) = mc\Delta\nu(t). \quad (2)$$

А количество тепла $Q_2(t, t + dt)$, согласно закону Ньютона-Рихмана ([8]), определяется формулой

$$Q_2(t, t + dt) = \alpha S(\nu(t) - u)dt. \quad (3)$$

В уравнении (1), вместо $Q_1(t, t + dt)$ и $Q_2(t, t + dt)$ подставляя правые части формул (2) и (3), получим:

$$Qdt = mc\Delta\nu(t) + \alpha S(\nu(t) - u)dt. \quad (4)$$

Полученное равенство можно считать уточненным уравнением теплового баланса в процессе накопления тепла в маске. Обе стороны равенства (4) поделим на dt и перейдем к пределу при $dt \rightarrow 0$. При этом воспользуемся тем, что отношение $\Delta\nu(t)/dt$ при $dt \rightarrow 0$ стремится к $\nu'(t)$ – производной функции $\nu(t)$. В результате получаем следующее обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка:

$$mc\nu'(t) + \alpha S(\nu(t) - u) = Q. \quad (5)$$

Уравнение (5) является математической моделью процесса накопления тепла в маске.

Теперь составим уравнение теплового баланса в процессе регенерации тепла в маске. Регенерация тепла происходит теплоотдачей маски холодному воздуху с температурой u . Уравнение теплового баланса в данном случае имеет вид

$$Q_3(t, t+dt) + Q_4(t, t+dt) = 0, \quad (6)$$

где $Q_3(t, t+dt)$ - количество тепла, отдаваемое маской холодному воздуху, $Q_4(t, t+dt)$ - количество тепла, теряемое маской (теплопотеря). Согласно закону Ньютона-Рихмана, $Q_3(t, t+dt)$ определяется формулой

$$Q_3(t, t+dt) = \beta S(v(t) - u)dt. \quad (7)$$

А теплопотеря $Q_4(t, t+dt)$ приводит к понижению температуры от $v(t)$ до $v(t+dt)$:

$$Q_4(t, t+dt) = mc\Delta v(t), \quad (8)$$

где $\Delta v(t) = v(t+dt) - v(t)$. Подставляя (7) и (8) в (6), получаем уточненное уравнение теплового баланса в процессе регенерации тепла:

$$\beta S(v(t) - u)dt + mc\Delta v(t) = 0. \quad (9)$$

Обе стороны уравнения (9) поделим на dt и перейдем к пределу при $dt \rightarrow 0$. В результате получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$mcv'(t) + \beta S(v(t) - u) = 0. \quad (10)$$

Уравнение (10) является математической моделью процесса регенерации тепла в маске.

Модели (5) и (10) пока получены независимо друг от друга. Их необходимо связать между собой и тем самым получить единую модель чередующихся процессов накопления и регенерации тепла.

Предположим, что накопление тепла в маске протекает в промежутке времени от 0 до τ_1 с начальной температурой маски $v(0) = v_0$, а регенерация тепла в маске протекает в промежутке времени от τ_1 до τ_2 . Тогда, в силу выше проведенных рассуждений, один цикл накопления и регенерации тепла в маске описывается уравнениями

$$mcv'(t) + \alpha S(v(t) - u) = Q, \quad 0 < t < \tau_1, \quad (11)$$

$$mcv'(t) + \beta S(v(t) - u) = 0, \quad \tau_1 < t < \tau_2, \quad (12)$$

и условиями

$$v(0) = v_0, \quad (13)$$

$$v(\tau_1 - 0) = v(\tau_1 + 0). \quad (14)$$

Смысл условия (14) состоит в том, что в момент времени переключения τ_1 с режима накопления тепла в режим регенерации тепла температура маски $v(t)$ не меняется.

Момент времени переключения τ_1 можно формально истолковать как момент времени, когда Q заменяется 0, коэффициент α заменяется коэффициентом β , и, вследствие этого, уравнение (11) преобразуется в уравнение (12). При наших предположениях такие замены возможны, если функция $v(t)$ до момента времени τ_1 возрастает и в момент времени τ_1 достигает заданного максимального значения v_{\max} : $v(\tau_1) = v_{\max}$. Учитывая это обстоятельство и полагая τ_1 неизвестным, уравнения (11), (12) вместе с условиями (13) и (14) можно представить в следующем виде:

$$v'(t) + a(v(t), v'(t))(v(t) - u) = f(v(t), v'(t)), \quad t > 0, \quad (15)$$

$$v(0) = v_0, \quad (16)$$

Здесь функции $a(x, y)$ и $f(x, y)$ определяются формулами

$$a(x, y) = \begin{cases} \frac{\alpha S}{mc}, & \text{если либо } x \leq v_{\min}, \\ & \text{либо } v_{\min} < x < v_{\max}, \quad y > 0, \\ \frac{\beta S}{mc}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (17)$$

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{Q}{mc}, & \text{если либо } x \leq v_{\min}, \\ & \text{либо } v_{\min} < x < v_{\max}, \quad y > 0, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (18)$$

Формулы (17) и (18) составлены так, что модель (15), (16) применима в описании не только первого цикла накопления и регенерации тепла, но и последующих циклов.

Таким образом, построена математическая модель процесса накопления и регенерации тепла в регенеративной защитной маске в виде нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка (15) с начальным условием (16), где

- 1) моменты переключения с одного режима в другой явно не задаются;
 2) переключения происходят авторегулируемым управлением либо при возрастании температуры маски и достижения заданного максимального значения v_{\max} , либо при убывании температуры маски и достижения заданного минимального значения v_{\min} .

Исследование решения

В дальнейшем предполагаем, что выполнены следующие условия:

$$u < \min\{v_0, v_{\min}\}, \quad \max\{v_0, v_{\min}\} < v_{\max}, \quad (19)$$

$$Q > \alpha S(v_{\max} - u). \quad (20)$$

Определение. Решением задачи (15), (16) назовем функцию $v(t)$, которая

- 1) определена и непрерывна на промежутке $[0, +\infty)$;
 2) на любом конечном интервале значения v_{\min} и v_{\max} может принимать лишь конечное число раз;
 3) непрерывна дифференцируема и удовлетворяет уравнению (15) на любом интервале, где она не принимает значения v_{\min} и v_{\max} ;
 4) удовлетворяет условиям

$$v(0) = v_0, \quad v'(0) = \frac{1}{mc}(Q - \alpha S(v_0 - u)). \quad (21)$$

Условие 2) обеспечивает следующее свойство решения: если $v(t_1) = v_{\max}$, то при $t \in (t_1, t_2)$ имеют места неравенства $v'(t) < 0$ и $v_{\min} < v(t) < v_{\max}$. Аналогично, если $v(t_3) = v_{\min}$, то при $t \in (t_3, t_4)$ имеют места неравенства $v'(t) > 0$ и $v_{\min} < v(t) < v_{\max}$. Из условия 4) следует, что если $v(t) < v_{\max}$ при $t \in (0, \tau_1)$, то $v(t)$ на интервале $(0, \tau_1)$ удовлетворяет уравнению (11).

Введем обозначения:

$$\tau_1 = \frac{mc}{\alpha S} \ln \left(\frac{Q - \alpha S(v_0 - u)}{Q - \alpha S(v_{\max} - u)} \right), \quad (22)$$

$$\tau_2 = \tau_1 + \frac{mc}{\beta S} \ln \left(\frac{v_{\max} - u}{v_{\min} - u} \right), \quad (23)$$

$$\tau_3 = \tau_2 + \frac{mc}{\alpha S} \ln \left(\frac{Q - \alpha S(v_{\min} - u)}{Q - \alpha S(v_{\max} - u)} \right), \quad (24)$$

$$\tau_3 = \tau_2 + \frac{mc}{\alpha S} \ln \left(\frac{Q - \alpha S(v_{\min} - u)}{Q - \alpha S(v_{\max} - u)} \right), \quad (24)$$

$$T = \tau_3 - \tau_1, \quad (25)$$

Имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Пусть выполнены условия (19) и (20). Тогда решение $v(t)$ задачи (15), (16) существует, единственно и обладает свойствами 1°, 2°, 3°:

- 1°. На интервалах $(0, \tau_1)$, (τ_1, τ_2) , (τ_2, τ_3) решение $v(t)$ монотонно и представимо формулами

$$v(t) = \frac{Q}{\alpha S} + u - \left(\frac{Q}{\alpha S} - (v_0 - u) \right) e^{-\frac{\alpha S}{mc}t}, \quad t \in (0, \tau_1), \quad (26)$$

$$v(t) = u + (v_{\max} - u) e^{-\frac{\beta S}{mc}(t - \tau_1)}, \quad t \in (\tau_1, \tau_2), \quad (27)$$

$$v(t) = \frac{Q}{\alpha S} + u - \left(\frac{Q}{\alpha S} - (v_{\min} - u) \right) e^{-\frac{\alpha S}{mc}(t - \tau_2)}, \quad t \in (\tau_2, \tau_3), \quad (28)$$

- 2°. Решение $v(t)$ на промежутке $[\tau_1, +\infty)$ периодически с периодом, равным T .

- 3°. Решение $v(t)$ в точках $\tau_1 + kT$, $k = 0, 1, 2, \dots$ принимает значение v_{\max} , а в точках $\tau_2 + kT$, $k = 0, 1, 2, \dots$ принимает значение v_{\min} .

Доказательство. Из начальных условий (21) и условий (19), (20) следует, что если $v(t)$ - решение задачи (15), (16), то $v(t)$ является решением уравнения (11) на любом интервале $(0, \tau_1)$, где имеет место неравенство $v(t) < v_{\max}$. Пусть $(0, \tau_1)$ - интервал максимальной длины, где имеет место неравенство $v(t) < v_{\max}$. На этом интервале найдем решение уравнения (11), удовлетворяющее начальному условию $v(0) = v_0$. В результате получаем,

что решение задачи (15), (16) на интервале $(0, \tau_1)$ существует, единственно и представимо формулой (26). Правую часть формулы (26) приравнявая v_{\max} , находим момент времени τ_1 , при котором имеет место равенство $v(\tau_1) = v_{\max}$; тем самым получим формулу (22).

Начиная с момента времени τ_1 , решение $v(t)$ уравнения (15), удовлетворяющее условию $v(\tau_1) = v_{\max}$, будет решением уравнения (12). Пусть (τ_1, τ_2) - интервал максимальной длины, где имеет место неравенство $v(t) > v_{\min}$. На этом интервале найдем решение уравнения (12), удовлетворяющее начальному условию $v(\tau_1) = v_{\max}$. В результате получаем, что решение задачи (15), (16) на интервале $(0, \tau_2)$ существует, единственно и имеет место формула (27). Правую часть формулы (27) приравнявая v_{\min} , находим момент времени τ_2 , при котором имеет место равенство $v(\tau_2) = v_{\min}$; тем самым получим формулу (23).

Далее, находим $v(t)$, как решение уравнения (11), удовлетворяющее начальному условию $v(\tau_2) = v_{\min}$. В результате получим представление (28). Из условия $v(\tau_3) = v_{\max}$ находим τ_3 и выводим формулу (24). Начиная с момента времени τ_3 поведение решения $v(t)$ будет таким же, как с момента времени τ_1 . Следовательно, решение $v(t)$ задачи (15), (16) периодическое и имеет период $T = \tau_3 - \tau_1$.

Из выше проведенных рассуждений также следует, что при $k = 0, 1, 2, \dots$ имеют место равенства

$$v(\tau_1 + kT) = v(\tau_1) = v_{\max}, \quad v(\tau_2 + kT) = v(\tau_2) = v_{\min}.$$

Теорема 1 доказана.

Из теоремы 1 вытекает, что согласно построенной модели процесс накопления и регенерации тепла происходит следующим образом:

- 1) начиная с некоторого момента τ_1 , зависящего от начальной температуры маски, температура маски колеблется периодически;
- 2) переключение с режима накопления в режим регенерации происходит автоматически в момент времени, когда температура маски достигает заданного максимального значения v_{\max} ;
- 3) переключение с режима регенерации в режим накопления происходит автоматически в момент времени, когда температура маски достигает заданного минимального значения v_{\min} ;
- 4) период колебаний температуры маски зависит от v_{\max} , v_{\min} , температуры наружного воздуха и физических характеристик маски.

Определение коэффициентов теплоотдачи

Рассмотрим задачу определения коэффициентов теплоотдачи α , β и потока тепла Q на основе экспериментальных данных. Для этого применим методологию решения коэффициентных обратных задач ([4-6]).

Предположим, что экспериментальными измерениями установлены значения v_0 , v_{\max} , v_{\min} , v_1 , где $v_0 < v_1 < v_{\max}$, и установлены моменты времени $0 < t_1 < \tau_1 < \tau_2$ при которых имеют место равенства

$$v(0) = v_0, \quad v(t_1) = v_1, \quad v(\tau_1) = v_{\max}, \quad v(\tau_2) = v_{\min}. \quad (29)$$

Уравнение (15) на интервале $(0, \tau_1)$ равносильно уравнению (11), а на интервале (τ_1, τ_2) равносильно уравнению (12). Поэтому пользуясь уравнениями (11), (12) и полагая m , c , S , и заданными можно находить α , β , Q . Для этого поступим следующим образом:

- 1) найдем решение $\bar{v}(t)$ уравнения (11), удовлетворяющее начальному условию $\bar{v}(0) = v_0$;
- 2) найдем решение $\bar{\bar{v}}(t)$ уравнения (12), удовлетворяющее начальному условию $\bar{\bar{v}}(\tau_2) = v_{\min}$;
- 3) коэффициент β найдем из условия $\bar{\bar{v}}(\tau_1) = v_{\max}$;
- 4) коэффициент α и поток тепла Q найдем из условий $\bar{v}(t_1) = v_1$, $\bar{v}(\tau_1) = v_{\max}$.

Решение $\bar{v}(t)$ уравнения (11), удовлетворяющее начальному условию $\bar{v}(0) = v_0$, имеет вид

$$\bar{v}(t) = \frac{Q}{\alpha S} + u - \left(\frac{Q}{\alpha S} - (v_0 - u) \right) e^{-\frac{\alpha S}{mc} t}.$$

А решение $\bar{\bar{v}}(t)$ уравнения (12), удовлетворяющее начальному условию $\bar{\bar{v}}(\tau_2) = v_{\min}$, имеет вид

$$\bar{\bar{v}}(t) = u + (v_{\min} - u) e^{\frac{\beta S}{mc}(\tau_2 - t)}.$$

В силу условия $\bar{\bar{v}}(\tau_1) = v_{\max}$ найдем β :

$$u + (v_{\min} - u)e^{\frac{\beta S}{mc}(\tau_2 - t)} = v_{\max},$$

$$\beta = \frac{mc}{S(\tau_2 - \tau_1)} \ln \left(\frac{v_{\max} - u}{v_{\min} - u} \right) \quad (30)$$

Для нахождения неизвестных α и Q воспользуемся условиями $\bar{v}(t_1) = v_1$ и $\bar{v}(\tau_1) = v_{\max}$:

$$\begin{cases} \frac{Q}{\alpha S} \left(1 - e^{-\frac{\alpha S}{mc} t_1} \right) + (v_0 - u) e^{-\frac{\alpha S}{mc} t_1} = v_1 - u, \\ \frac{Q}{\alpha S} \left(1 - e^{-\frac{\alpha S}{mc} \tau_1} \right) + (v_0 - u) e^{-\frac{\alpha S}{mc} \tau_1} = v_{\max} - u. \end{cases} \quad (31)$$

Проверим, что система алгебраических уравнений (31) с неизвестными α и Q имеет единственное решение.

Лемма 1. Пусть выполнены условия

$$1) 0 < t_1 < \tau_1; \quad 2) v_0 < v_1 < v_{\max}; \quad 3) v_{\max} - v_0 < v(v_1 - v_0), \quad \text{где } v = \tau_1 / t_1.$$

Тогда система алгебраических уравнений (31) с неизвестными α и Q имеет единственное решение и это решение можно находить формулами

$$\alpha = \frac{mc}{St_1} \ln \left(\frac{1}{z_0} \right) \quad (32)$$

$$Q = \frac{\alpha S}{1 - z_0} ((v_1 - u) - (v_0 - u)z_0). \quad (33)$$

Здесь z_0 - единственный корень скалярного уравнения

$$(v_{\max} - v_0)z - (v_1 - v_0)z^v = v_{\max} - v_1. \quad (34)$$

из интервала $(0, z_1)$, где $z_1 = ((v_{\max} - v_0) / (v(v_1 - v_0)))^{1/(v-1)}$.

Замечание 1. Левая часть уравнения (34), как функция переменной z , возрастает и выпукла вверх на интервале $(0, z_1)$. Поэтому корень z_0 уравнения (34) можно находить приближенно численным методом Ньютона или методом хорд ([9]).

Доказательство леммы 1. Из первого уравнения системы (31) исключая Q , имеем:

$$(v_{\max} - u) \left(1 - e^{-\frac{\alpha S}{mc} t_1} \right) + (v_0 - u) e^{-\frac{\alpha S}{mc} t_1} = (v_1 - u) \left(1 - e^{-\frac{\alpha S}{mc} \tau_1} \right) + (v_0 - u) e^{-\frac{\alpha S}{mc} \tau_1} \quad (35)$$

Обозначим $e^{-\frac{\alpha S}{mc} t_1} = z$. Тогда неизвестные α и Q можно выразить через z :

$$\alpha = \frac{mc}{St_1} \ln \left(\frac{1}{z} \right) \quad (36)$$

в силу первого уравнения системы (31)

$$Q = \frac{\alpha S}{1 - z} ((v_1 - u) - (v_0 - u)z). \quad (37)$$

Согласно (35), неизвестное z является корнем уравнения

$$(v_{\max} - u)(1 - z) + (v_0 - u)z = (v_1 - u)(1 - z^v) + (v_0 - u)z^v,$$

где $v = \tau_1 / t_1$. Данное уравнение после упрощений принимает вид (34). Таким образом, решение системы (31) сведено к решению скалярного уравнения (34). Очевидно, $z = 1$ является корнем уравнения (34). Но, в силу формулы (36), через этот корень находить решение системы уравнений (31) невозможно.

Для того, чтобы убедиться в существовании решения скалярного уравнения (34), отличного от 1, рассмотрим функцию

$$\phi(z) = (v_{\max} - v_0)z - (v_1 - v_0)z^v.$$

Найдем критическую точку функции $\phi(z)$:

$$\phi'(z) = (v_{\max} - v_0)z - v(v_1 - v_0)z^{v-1},$$

$$\phi'(z) = 0 \quad z_1 = \left(\frac{v_{\max} - v_0}{v(v_1 - v_0)} \right)^{\frac{1}{v-1}}.$$

В силу условий 1)-3), имеем $0 < z_1 < 1$. Легко проверить, что $\phi'(z) > 0$ при $z \in (0, z_1)$ и $\phi'(z) < 0$ при $z \in (z_1, 1)$. Следовательно, z_1 - точка максимума и

$$\phi(z_1) > \phi(1) = v_{\max} - v_1.$$

Отсюда следует, что на интервале $(0, z_1)$ существует единственный корень z_0 скалярного уравнения (34). В формулах (36) и (37) вместо z подставляя z_0 , получаем формулы (32) и (33) для нахождения решения системы алгебраических уравнений (31). Так как скалярное уравнение (34) кроме 1 и z_0 других корней не имеет, поэтому решение системы уравнений (31) единственно. Лемма 1 доказана.

В итоге можно сделать вывод, что в статье составлена математическая модель авторегулируемого процесса накопления и регенерации тепла в регенеративной защитной маске, которая позволяет исследовать температуру внутри маски и находить коэффициенты теплоотдачи при неизвестном заранее периоде аккумуляции/регенерации тепловой энергии.

Список литературы/ References

1. Находкин В.П. Разработка средств индивидуальной защиты органов дыхания и методических рекомендаций по их применению в условиях отрицательных температур: Диссертация на соискание ученой степени к. т. н. – Якутск: Охрана труда, 2005. – 135 с.
2. Гудков С.В., Филатова Е.Ю., Туголуков Е.Н., Алексеев С.Ю., Романенко А.В. Выбор рациональной конструкции регенеративного теплообменника для использования в системе автоматизированного проектирования индивидуальных дыхательных аппаратов // Вопросы современной науки и техники. Университет им. В.И. Вернадского. – 2006. № 2(4), С. 69-76.
3. Монаркин Н.Н., Синицын А.А., Наимов А.Н. Построение и исследование простейшей математической модели регенеративного теплообменника // Вестник ЧГУ. – 2016. № 3 (72). С. 11-15.
4. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009. – 457 с.
5. Денисов А. М. Введение в теорию обратных задач. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 208 с.
6. Алифанов О. М. Обратные задачи теплообмена. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
7. Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В.П. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах. – М.: Физматлит, 2009. – 512 с.
8. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
9. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1966. – 664 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nahodkin V.P. Razrabotka sredstv individual'noj zashhity organov dyhanija i metodicheskikh rekomendacij po ih primeneniju v uslovijah otricatel'nyh temperatur: Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni k. t. n. [The development of means of individual protection of respiratory organs and methodological recommendations for their application in the conditions of negative temperatures: Ph.D. thesis] – Yakutsk: Ohrana truda, 2005. – 135 P. [in Russian]
2. Gudkov S.V., Filatova E.Ju., Tugolukov E.N., Alekseev S.Ju., Romanenko A.V. Vybora racional'noj konstrukcii regenerativnogo teploobmennika dlja ispol'zovanija v sisteme avtomatizirovannogo proektirovanija individual'nyh dyhatel'nyh apparatov [The choice of the rational design of regenerative heat exchanger for use in computer-aided design of personal breathing apparatus] // Voprosy sovremennoj nauki i tehniki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. [Issues of modern science and technology. University. V. I. Vernadsky] – 2006. # 2(4), P. 69-76. [in Russian]
3. Monarkin N.N., Sinicyn A.A., Naimov A.N. Postroenie i issledovanie prostejshej matematicheskoj modeli regenerativnogo teploobmennika [Build and study a simple mathematical model of the regenerative heat exchanger] // Vestnik ChGU [Cherepovec State University]. – 2016. # 3 (72). P. 11-15. [in Russian]
4. Kabanihin S. I. Obratnye i nekorrektnye zadachi [Inverse and ill-posed problems]. – Novosibirsk: Sibirskoe nauchnoe izdatel'stvo, 2009. – 457 P. [in Russian]
5. Denisov A. M. Vvedenie v teoriju obratnyh zadach [Introduction to the theory of inverse problems]. – M.: Izd-vo MGU, 1994. – 208 P. [in Russian]
6. Alifanov O. M. Obratnye zadachi teploobmena [Inverse problems of heat exchange]. – M.: Mashinostroyeniye, 1988. – 280 P. [in Russian]
7. Kaplja E.V., Kuzevanov V.S., Shevchuk V.P. Modelirovanie processov upravlenija v intellektual'nyh izmeritel'nyh sistemah [Modeling of management processes in smart metering systems]. – M.: Fizmatlit, 2009. – 512 P. [in Russian]
8. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha [Heat transmission]. – M.: Jenergoizdat, 1981. – 416 P. [in Russian]
9. Demidovich B.P., Maron I.A. Osnovy vychislitel'noj matematiki [Foundations of computational mathematics]. – M.: Nauka, 1966. – 664 P. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.170

Полякова М.А.

ORCID: 0000-0002-1597-8867, Кандидат технических наук,

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ДОСТИЖЕНИЯ КОНСЕНСУСА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРЕБОВАНИЙ СТАНДАРТОВ**Аннотация**

Поскольку разработка требований стандарта основана на достижении консенсуса между участниками данного процесса, то переговоры могут потребовать значительных временных затрат. Обоснована актуальность разработки математических подходов для оценки степени сближения позиций сторон при проведении переговоров. Проведен анализ существующих методов математической оценки степени достижения консенсуса, отмечены недостатки. Показано, что модель, основанная на подходах квалиметрии и использовании S-образной зависимости наиболее полно учитывает особенности регламентации показателей качества продукции, характер их проявления, достаточно просто описывается математически.

Ключевые слова: стандарт, консенсус, математическая модель, S-образная кривая.

Polyakova M.A.

ORCID: 0000-0002-1597-8867, PhD in Engineering

Nosov Magnitogorsk State Technical University

PECULIARITIES OF MATHEMATICAL MODELS APPLICATION FOR THE ESTIMATION OF CONSENSUS ACHIEVEMENT DEGREE DURING DEVELOPMENT THE DEMANDS OF STANDARDS**Abstract**

Because the procedure of standard demands development is based on the consensus achievement between the participants of this process the negotiations can take a lot of time. The necessity of the development of mathematical models for estimation the degree of matching the participants' positions during negotiations is proved. The existing mathematical methods for estimation the consensus degree achievement are analysed, their disadvantages are mentioned also. It is shown that the model based on qualimetry and S-shape curve to higher extent takes into account the peculiarities of product quality indices regulation, type of their character and can be mathematically formulated simpler.

Keywords: standard, consensus, mathematical model, S-shape curve.

Разработка требований стандарта – процесс сложный и многогранный. Закон Российской Федерации «О стандартизации в Российской Федерации» однозначно закрепляет обязательное условие принятия требований стандарта – достижение консенсуса в ходе разработки и рассмотрения проекта стандарта между участниками данного процесса [1]. В статье 17 Закона сказано, что разработкой международных, региональных и межгосударственных стандартов занимаются технические комитеты, в состав которых могут входить не только представители органов исполнительной власти различного уровня, но также представители научных организаций, изготовителей, исполнителей, общественных объединений потребителей. Широкий круг участников, каждый из которых заинтересован, прежде всего, в своих интересах во многом усложняет процесс переговоров, увеличивает время принятия взаимоприемлемых решений. [2 - 6]. Поэтому в настоящее время все больше внимания уделяется применению математических методов, позволяющих не только упростить процесс переговоров, но также оценить степень достижения согласия между участниками переговорного процесса при разработке требований стандарта.

При построении математических моделей могут быть использованы различные методы. Один из разрабатываемых подходов основан на использовании теории регулярных марковских цепей [7 - 9]. Авторы данного подхода доказана существенная зависимость времени достижения консенсуса от авторитарности экспертов, показана нецелесообразность беспричинного увеличения их числа. При этом увеличение авторитарности членов технического комитета и их числа повышает разобщенность группы экспертов.

В другом исследовании для выявления определенных закономерностей при принятии решений на основе консенсуса используется теоретико-игровая модель. Это позволяет доказать, что рост числа членов технического комитета увеличивает число ситуаций, при которых увеличивается риск недостижения консенсуса [10]. Полученная авторами регрессионная модель позволяет рассчитать оптимальное количество членов технического комитета для достижения консенсуса в короткие сроки при сохранении его компетентности. [11].

В работе [12] на основе анализа возможных вариантов изменения параметра инновационного процесса, которые могут быть представлены графически (рис. 1) [13], и выделяя четыре этапа его развития (выход на рынок, рост, зрелость и спад) [14 - 16], показана возможность определения точек перехода от одного этапа развития к другому. При этом первое значение соответствует величине оцениваемого параметра, второе значение – периоду времени. Значения точек перехода с этапа на этап могут быть определены из закономерности, описанной в литературе [16]. Тогда при известном виде кривой, по которой осуществляются оценивание параметра, представляется вполне возможным построить ее математическое описание. Это позволит оценить перспективы развития или изменения параметра. Например, зная время перехода от этапа зрелости к этапу спада, можно оценить период, в течение которого есть возможность изменить ситуацию и принять решение, позволяющее продолжить развитие проекта [12].

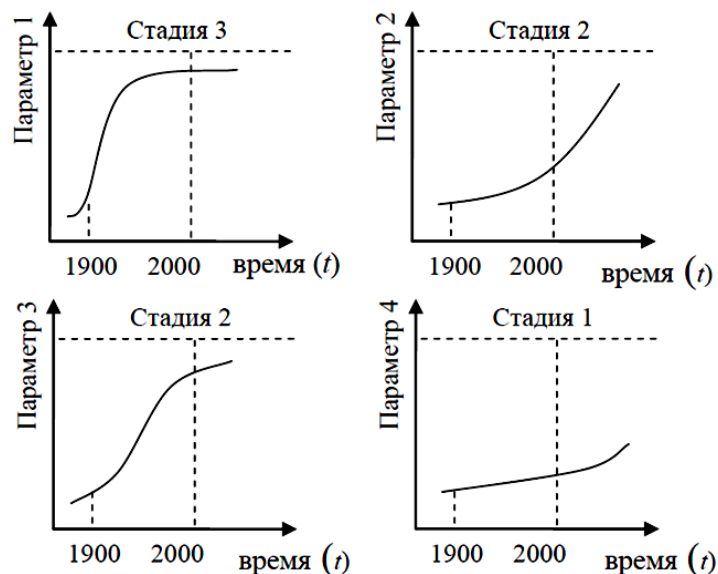


Рис. 1 – Примеры кривых, описывающих параметры проекта и находящихся на разных стадиях развития [13]

Разрабатываемая в последнее время методология [17 - 20] основана на логической связи между стандартизацией и квалитетом – научная дисциплина, предметом которой являются количественные методы оценки качества продукции. Можно отметить следующие преимущества. Во-первых, это позволяет не только в значительной степени упростить расчеты, но также ранжировать регламентируемые показатели на доминирующие и компенсируемые. То есть нулевое значение любого из доминирующих показателей вызывает нулевое значение комплексного показателя, нулевое значение какого-либо единичного компенсируемого показателя не влечет снижения до нуля комплексного показателя. Такое разделение параметров наиболее полно учитывает специфику и влияние оцениваемых показателей качества [21]. Во-вторых, имеется возможность учесть специфику регламентации свойств продукции. Так, в стандартах, одни показатели могут быть регламентированы в виде числа, т.е. определенным номинальным значением, другие показатели имеют интервальные стандартизированные значения. Например, в ГОСТ 3282-74 «Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения. Технические условия» значения временного сопротивления разрыву для термически необработанной проволоки без покрытия в зависимости от диаметра могут принимать значения от 290 Н/мм² до 490 Н/мм², в то время как относительное удлинение регламентируется в данном стандарте лишь одним значением δ_{100} не менее 20%.

В процессе согласования требований стандарта каждая сторона выдвигает свои требования к продукции. Причем разница между значениями показателя, заявляемого потребителем, и значением, обеспечиваемого возможностями производителя, может быть значительна. В процесс достижения консенсуса фактически происходит уменьшение этой разницы, а в конце переговорного процесса она равна нулю. Иными словами, стороны нашли желаемое решение, которое затем и будет регламентировано в стандарте. Тогда, представив процесс принятия решения (достижения консенсуса между потребителем и производителем) в виде S-образной кривой и описав ее математически, можно построить математическую модель процедуры сближения позиций сторон [22 - 24].

Рассмотрим в общем виде основные положения этого подхода. Подразумевается, что позиции сторон определяются числовыми значениями технических параметров P_F – возможности изготовителя, P_U – требования потребителя. В зависимости от расхождения этих числовых значений оценивается степень близости сторон. Оценка производится по шкале от 0 до 1. Наивысшим числом 1 оценивается ситуация, когда требования потребителя и возможности изготовителя совпадают, т.е. $P_F = P_U$. Низшей оценкой 0 оценивается ситуация, когда расхождение позиций потребителя и изготовителя максимально недопустимо. Оценивание близости сторон по двум числовым значениям P_U и P_F назовем локальным подходом, а соответствующие оценки – локальными оценками.

Пусть $p = |P_F - P_U|$, а M – оценка близости сторон.

В качестве основы для оценки используется дифференциальное уравнение зависимости скорости изменения оценки качества от удаленности оцениваемого значения показателя от наилучшего к наихудшему. Тогда убывающая S-образная кривая может быть описана следующим образом

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{при } p = 0, M(p) = 1 \\ \text{при } 0 \leq p \leq p_b, M(p) = 1 - \frac{p^2}{p_{\max} p_b} \\ \text{при } p_{\max} \geq p \geq p_b, M(p) = \frac{(p_{\max} - p)^2}{p_{\max} (p_{\max} - p_b)} \\ \text{при } p \geq p_{\max}, M(p) = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Таким образом, используя формулы (1) можно построить S-образную кривую, которую можно использовать для описания оценки степени сближения позиций сторон при разработке требований стандартов (рис. 2). Положение реперной точки p_b характеризует такое состояние, когда скорость убывания оценки становится равной скорости ее возрастания.

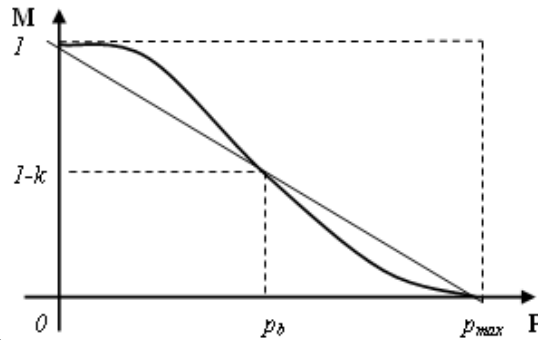


Рис. 2 – Убывающая S-образная кривая, описывающая процесс согласования позиций потребителя и производителя при номинальной оценке единичных показателей

Для разработки математической модели при интервальной оценке единичных показателей качества продукции введем следующие обозначения: F – спектр требований/возможностей изготовителя; U – спектр требований потребителя. Тогда математическое описание степени близости сторон может быть построено на следующих принципах:

1. Если требования потребителя U полностью покрывают возможности изготовителя F , то оценка степени близости позиций сторон равна 1.
2. Если отсутствуют пересечения значений в диапазонах требований сторон, то оценка степени близости равна 0.
3. Если интервальные требования потребителя и изготовителя имеют общие точки, то оценка M близости находится в интервале между нулем и единицей $0 \leq M \leq 1$.

Тогда система формул для описания S-образной кривой, характеризующей изменение степени близости позиций сторон при интервальной оценке единичных показателей (рис. 3), имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} M(V(F \cap U)) = 0, \text{ при } V(F \cap U) = 0 \\ M\left(\frac{V(F)}{2}\right) = 0,5, \text{ при } V(F \cap U) = \frac{V(F)}{2} \\ M(V(F \cap U)) = 1, \text{ при } V(F \cap U) = V(F) \\ M(V(F \cap U)) = \frac{2V(F \cap U)^2}{V(F)^2}, \text{ при } 0 \leq V(F \cap U) \leq \frac{V(F)}{2} \\ M(V(F \cap U)) = 1 - \frac{2(V(F) - V(F \cap U))^2}{V(F)^2}, \text{ при } \frac{V(F)}{2} \leq V(F \cap U) \leq V(F) \end{array} \right. \quad (2)$$

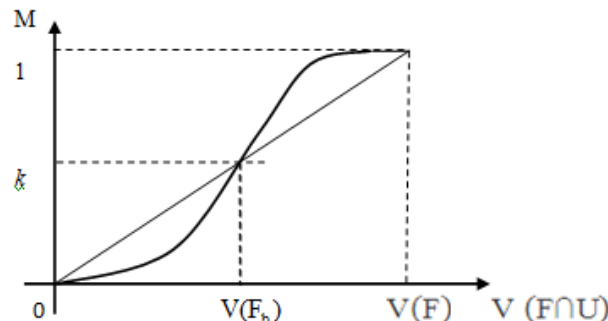


Рис. 3 – S-образная кривая для описания степени близости позиций потребителя и производителя при интервальной оценке единичных показателей

На основании вышеизложенного формулу для расчета полной единичной оценки можно представить в следующем виде

$$C = \frac{\prod_{i=1}^m d_i^{1/m} (d_i + 1)^{\alpha_i} \prod_{i=1}^n (k_i + 1)^{\beta_i}}{4}, \quad (3)$$

где d_i - значение показателя с интервальной оценкой, k_i - значение показателя с локальной оценкой, m и n - число показателей, α_i и β_i - весовости доминирующих и компенсируемых показателей, причем $\sum_{i=1}^m \alpha_i = \sum_{i=1}^n \beta_i = 1$.

Таким образом, построение математических моделей, которые могут быть использованы в практике стандартизации, имеет свои особенности. В настоящее время в практике стандартизации накопилось множество проблем. Прежде всего, ученые в своих теоретических исследованиях сталкиваются с проблемами сбора и систематизации необходимой статистической информации. С другой стороны, сложность формализации процедуры переговоров в целом и степени достижения консенсуса в частности требуют поиска принципиально новых подходов для построения математических моделей. Однако необходимость построения таких моделей является требованием времени, поскольку это является основным условием дальнейшего развития научных основ стандартизации.

Список литературы / References

1. Российская Федерация. Законы. О стандартизации в Российской Федерации. : федер. закон : [принят Гос. Думой 19 июня 2015 г. : одобрен Советом Федерации 24 июня 2015 г.]. – Дата публикации: 30 июня 2015 г.
2. Сорокин Е. П. О достижении консенсуса при проведении работ по стандартизации / Е. П. Сорокин // Стандарты и качество. - 2015. - № 10. - С. 50-55.
3. Аронов И. З. О консенсусе в свете ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» / И. З. Аронов, А. В. Зажигалкин // Стандарты и качество. - 2016. - №2. - С. 24-27.
4. Ефанова И. Б. Кто должен разрабатывать стандарты? // И. Б. Ефанова // Стандарты и качество. - 2016. - № 1. - С. 32-36.
5. Розенталь О. М. Принцип консенсуса – фактор развития или торможения инноваций? / О. М. Розенталь // Стандарты и качество. - 2016. - № 3. - С. 40-42.
6. Адлер Ю. П. Дашь консенсус! / Ю. П. Адлер // Стандарты и качество. - 2016. - № 6. - С. 86-88.
7. Аронов И. З. Исследование времени достижения консенсуса в работе технических комитетов по стандартизации на основе регулярных Марковских цепей // И. З. Аронов, О. В. Максимова, А. В. Зажигалкин // Компьютерные исследования и моделирование. - 2015. - Т. 7. - № 4. - С. 941-950.
8. Зажигалкин А. В. Модель управления временем достижения консенсуса в технических комитетах / А. В. Зажигалкин, И. З. Аронов, О. В. Максимова // Компетентность. - 2015. - № 6. - Т. 127. - С. 17-23.
9. Аронов И. З. Управление работой технических комитетов по стандартизации с целью достижения консенсуса / И. З. Аронов, А. В. Зажигалкин // Сертификация. - 2014. - № 3. - С. 11-14.
10. Аронов И. З. Математические модели обеспечения консенсуса в работах ТК по стандартизации / И. З. Аронов, А. В. Зажигалкин, Т. В. Толстунова // Стандарты и качество. - 2014. - № 7. - С. 28-33.
11. Аронов И. З. Оценка числа членов технического комитета по стандартизации / И. З. Аронов, А. В. Зажигалкин, О. В. Максимова, Т. В. Толстунова // Стандарты и качество. - 2015. - № 11. - С. 86-88.
12. Мыльников Л. А. Поддержка принятия решений при управлении инновационными проектами / Л. А. Мыльников. - Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. - 145 с.
13. Мыльников Л. А. Подход к прогнозированию развития и управления жизненным циклом инвестиционных проектов // Л. А. Мыльников, Р. Х. Алькидру // Управление большими системами. - 2009. - Вып. 27. - С. 293–307.
14. Инновационный менеджмент: Концепции, многоуровневые стратегии и механизмы инновационного развития : учеб. пособие ; под ред. В. М. Аньшина, А. А. Дагаева. - М.: Дело, 2006. - 584 с.
15. Яковенко Е. Г. Циклы жизни экономических процессов, объектов и систем // Е. Г. Яковенко, М. И. Басс, Н. В. Махров. – М.: Наука, 1991. – 192 с.
16. Timmons J. A. New venture creation: entrepreneurship for the 21st. century / J. A. Timmons, S. Spinelli. – Singapore: McGraw Hill, 2007. – 658 p.
17. Рубин Г. Ш. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г. Ш. Рубин, М. А. Полякова, М. В. Чукин, Г. С. Гун // Сталь. - 2013. - № 10. - С. 84 – 87.
18. Рубин Г. Ш. Развитие научных основ стандартизации / Рубин Г. Ш., Полякова М. А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2014. - № 1. - С. 97 – 102.
19. Полякова М. А. Современное направление развития стандартизации как науки // М. А. Полякова, Г. Ш. Рубин // Черные металлы. - 2014. - № 6. - С. 32-37.
20. Полякова М. А. Развитие научных основ стандартизации в период становления нового технологического уклада / М. А. Полякова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». - 2016. - Т. 16. - № 1. - С. 135-141.
21. Рубин Г. Ш. Квалиметрия метизного производства / Г. Ш. Рубин. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 167 с.
22. Рубин Г. Ш. Моделирование технологического трансформирования на основе S-образных кривых развития / Г. Ш. Рубин, М. А. Полякова, Г. С. Гун // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2015. - № 1. - С. 70-75.
23. Rubin G. Simulation of technological parameters changing with the satiation effect / G. Rubin, M. Polyakova, G. Gun // Proceedings of the 2015 International Conference on Modeling, Simulation and Applied Mathematics. Ed. by M. Gholami, R. Jiwari, A. Tavasoli. – 2016. - Vol. 122. - pp. 178-181.
24. Рубин Г. Ш. Математическая модель процедуры согласования позиций потребителя и изготовителя / Г. Ш. Рубин, Ю. В. Данилова, М. А. Полякова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». - Октябрь 2015. - Том 5. - № 8. – С. 655-662.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rossijskaja Federacija. Zakony. O standartizacii v Rossijskoj Federacii [Russian Federation. Laws. About standardization in the Russian Federation] : federal law : [accepted by State Duma on June 19, 2015 ; approved by the Federation Council on June 24, 2015]. – Published on June 30, 2015. [in Russian].
2. Sorokin E. P. O dostizhenii konsensusa pri provedenii rabot po standartizacii [About achievement the consensus during the execution of works in standardization] / E. P. Sorokin // Standaty i kachestvo [Standards and Quality]. - 2015. - № 10. - P. 50-55. [in Russian]
3. Aronov I. Z. O konsensuse v svete FZ «O standartizacii v Rossijskoj Federacii» [About consensus in the frame of FL «About standardization in the Russian Federation»] / I. Z. Aronov, A. V. Zazhigalkin // Standaty i kachestvo [Standards and Quality]. - 2016. - №2. - P. 24-27. [in Russian]
4. Efanova I. B. Kto dolzhen razrabatyvat' standarty [Who must develop standards?] / I. B. Efanova // Standaty i kachestvo [Standards and Quality]. - 2016. - № 1. - P. 32-36. [in Russian]
5. Rozental' O. M. Princip konsensusa – faktor razvitiya ili tormozheniya innovatsij? [Consensus principle – factor of innovation development or deceleration?] / O. M. Rozental' // Standaty i kachestvo [Standards and Quality]. - 2016. - № 3. - P. 40-42. [in Russian]
6. Adler Yu. P. Daesh' consensus! [Should give consensus!] / Yu. P. Adler // Standaty i kachestvo [Standards and Quality]. - 2016. - № 6. - P. 86-88. [in Russian]
7. Aronov I. Z. Issledovaniye vremeni dostizheniya konsensusa v rabote tekhnicheskikh komitetov po standartizacii na osnove reguljarnykh markovskikh cepej [Investigation the time for consensus achievement during the working process of technical committees on standardization based on the regular Markov chains] / I. Z. Aronov, O. V. Maksimova, A. V. Zazhigalkin // Kompjuternye issledovaniya i modelirovaniye [Computer investigations and simulation]. - 2015. - T. 7. - № 4. - P. 941-950. [in Russian]
8. Zazhigalkin A. V. Model' upravleniya vremenem dostizheniya konsensusa v tekhnicheskikh komitetah [Model for time management during consensus achievement in technical committees] / A. V. Zazhigalkin, I. Z. Aronov, O. V. Maksimova // Kompetentnost' [Competence]. - 2015. - № 6. - Vol. 127. - P. 17-23. [in Russian]
9. Aronov I. Z. Upravlenie rabotoj tekhnicheskikh komitetov po standartizacii s cel'ju dostizheniya konsensusa [Technical committees of standardization working activity management for consensus achievement] / I. Z. Aronov, A. V. Zazhigalkin // Sertifikacija [Certification]. - 2014. - № 3. - P. 11-14. [in Russian]
10. Aronov I. Z. Matematicheskie modeli obespecheniya konsensusa v rabotah TK po standartizacii [Mathematical models of consensus achievement in working activity of technical committees of standardization] / I. Z. Aronov, A. V. Zazhigalkin, T. V. Tolstunova // Standaty i kachestvo [Standards and Quality]. - 2014. - № 7. - P. 28-33. [in Russian]
11. Aronov I. Z. Ocenka chisla chlenov tekhnicheskogo komiteta po standartizacii [Assessment the quantity of members in technical committee of standardization] / I. Z. Aronov, A. V. Zazhigalkin, O. V. Maksimova, T. V. Tolstunova // Standaty i kachestvo [Standards and Quality]. - 2015. - № 11. - P. 86-88. [in Russian]
12. Myl'nikov L. A. Podderzhka prinjatija reshenij pri upravlenii innovacionnymi proektami [Support for decision making at innovative projects management] / L. A. Myl'nikov. – Perm : Perm state techn. univ. ed.house, 2010. – 145 p. [in Russian]
13. Myl'nikov L. A. Podhod k prognozirovaniyu razvitiya i upravleniya zhiznennym ciklom investicionnyh proektov [Approach to the forecast of investment projects life cycle development and management] / L. A. Myl'nikov, R. Kh. Al'kidrou // Upravlenie bol'shimi sistemami [Big systems management]. - 2009. - Вып. 27. - P. 293–307. [in Russian]
14. Innovacionnyj menedzhment: koncepcii, mnogourovnevnye strategii i mehanizmy innovacionnogo razvitiya : ucheb. posobie [Innovative management: conceptions, multi-level strategies and mechanisms of innovative development : manual] ; edited by V. M. An'shin, A. A. Dagaev. – M. Delo, 2006. – 584 p. [in Russian]
15. Jakovenko E. G. Cikly zhizni jekonomicheskikh processov, ob'ektov i system [Cycles of economic processes, objects and systems] // E. G. Jakovenko, M. I. Bass, N. V. Makhrov. – M. : Nauka, 1991. – 192 p. [in Russian]
16. Timmons J. A. New venture creation: entrepreneurship for the 21st. century / J. A. Timmons, S. Spinelli. – Singapoure: McGraw Hill, 2007. – 658 p.
17. Rubin G. Sh. Protipologija – novyj jetap razvitiya standartizacii metiznogo proizvodstva [Protipology - a new stage in the development of standardization of hardware production] / G. Sh. Rubin, M. A. Polyakova, M. V. Chukin, G. S. Gun // Stal' [Steel.]. - 2013. - № 10. - P. 84 – 87. [in Russian]
18. Rubin G. Sh. Razvitie nauchnyh osnov standartizacii [Development of scientific bases of standardization] / G. Sh. Rubin, M. A. Polyakova // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova [Bulletin of the Nosov Magnitogorsk State Technical University]. - 2014. - № 1. - P. 97-102. [in Russian]
19. Polyakova M. A. Sovremennoe napravlenie razvitiya standartizacii kak nauki [The modern trend of standardization as a science] / M. A. Polyakova, G. Sh. Rubin // Chernye metally [Ferrous metals]. - 2014. - № 6. - P. 32-37. [in Russian]
20. Polyakova M. A. Razvitie nauchnyh osnov standartizacii v period stanovleniya novogo tehnologicheskogo uklada [Development the standardization scientific basics during the new technological setup formation] / M. A. Polyakova // Vestnik JuUrGU. Serija «Metallurgija» [Bulletin of JuUrGU. Series «Metallurgy»]. - 2016. - Vol. 16. - № 1. - P. 135-141. [in Russian]
21. Rubin G. Sh. Kvalimetrija metiznogo proizvodstva [Qualimtry of metal ware production] / G. Sh. Rubin. Magnitogorsk : Nosov Magnitogorsk state techn. univ. edit. house, 2012. – 167 p. [in Russian]
22. Rubin G. Sh. Modelirovanie tehnologicheskogo transformirovaniya na osnove S-obraznyh krivyh razvitiya [Modeling of technological transformation based on S-shape curves development] / G. Sh. Rubin, M. A. Polyakova, G. S. Gun // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova [Bulletin of the Nosov Magnitogorsk State Technical University]. - 2015. - № 1. - P. 70-75. [in Russian]
23. Rubin G. Simulation of technological parameters changing with the satiation effect / G. Rubin, M. Polyakova, G. Gun // Proceedings of the 2015 International Conference on Modeling, Simulation and Applied Mathematics. Ed. by M. Gholami, R. Jiwari, A. Tavasoli. – 2016. - Vol. 122. - pp. 178-181.

24. Rubin G. Sh. Matematicheskaja model' procedury soglasovanija pozicij potrebitelja i izgotovitelja [Mathematical model of the procedure for matching customer and manufacturer positions] / G. Sh. Rubin, Ju. V. Danilova, M. A. Polyakova // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Serija «Tehnika i tehnologii» [Journal of Syberian federal university. Series «Techniques and Technologies»]. - October 2015. - Vol 5. - № 8. - P. 655-662. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.178

Рощин Н.Н.¹, Кальницкий П.В.², Нифонтова Л.С.³^{1,2,3}Магистрант, Омский государственный технический университет

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧНОСТИ СХЕМЫ ПОДОГРЕВА СЫРОЙ ВОДЫ ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДОЙ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Аннотация

Использование энергосберегающих технологий, разработка и внедрение методик, основанных на принципах рационального использования энергоресурсов, являются приоритетными задачами нашей страны в области производства тепловой и электрической энергии. Решение этих задач связано с повышением эффективности работы энергетического оборудования и оптимизацией существующих схем энергопроизводства. В данной работе проанализирована актуальность использования в современных условиях известного способа повышения эффективности подогрева сырой воды на теплоэлектростанции. Проведен энергетический анализ и на его основе определены сроки окупаемости такого подогрева.

Ключевые слова: подогрев сырой воды, эксергия, энергия, подогреватель, турбина.

Roshchin N.N.¹, Kalnitsky P.V.², Nifontova L.S.³^{1,2,3}Undergraduate, Omsk State Technical University

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF HEATING RAW WATER CIRCUIT REVERSE NETWORK WATER ON THERMAL POWER PLANTS

Abstract

The use of energy-saving technologies, development and implementation of techniques based on principles of rational use of energy resources are the priorities of our country in the field of thermal and electric energy production. The solving of these problems is due with increased efficiency of energy equipment and optimization of the existing schemes of energy generation. In this article we analyzed the relevance of use the known method for increasing the efficiency of the raw water in the heating power plant in modern conditions. The energy analysis was spent and on its basis the payback period of such heating was determined.

Keywords: heating the raw water, exergy, energy, heater, turbine.

Повышение энергетической эффективности производства энергии на тепловых электрических станциях (ТЭС) всегда было основной задачей инженерно-технического персонала станции. После упадка промышленности в результате распада СССР на ТЭС высвободилось огромное количество тепловой мощности. Турбины типов Р, П и ПТ недогружаются по тепловой нагрузке, удельные расходы условного топлива на отпуск электроэнергии повысились, энергетика стала менее эффективной [1,2]. Предложение, которое рассматривается в статье, достаточно известно, но почему-то до сих пор не реализовано на многих ТЭС. Скорее всего, это связано с ценой на топливную составляющую, значительно возросшую в последние годы.

Одно из направлений повышения энергетической эффективности практически любой ТЭС – уменьшение потребления пара высокопотенциальных отборов турбины, которые на угольных ТЭС могут использоваться для паробеспыливания, подогрева воздуха перед воздухоподогревателем котлов, подогрева сырой воды для нужд химического цеха и др.

В настоящее время на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) используются схемы подогрева технической воды, разработанные еще в СССР. Рассмотрим схему на примере турбоагрегата Т-100-130. Сырая вода направляется в теплообменник, в котором греющей средой служит пар отбора турбины. Необходимая температура сырой воды после подогревателя составляет 30 °С, температура греющего теплоносителя достигает 115 °С. С точки зрения максимизации эксергии в цикле такой подход неверен. Нагрев сырой воды до низкой температуры необходимо осуществлять низкопотенциальными источниками теплоты. Такими источниками на ТЭС могут быть уходящие газы котлов, циркуляционная вода после конденсатора, обратная сетевая вода, вода после охлаждения механизмов и др.

Необходимые параметры подогретой сырой воды и текущие параметры теплоносителя в рассматриваемой схеме: максимальный расход сырой воды – 450 т/ч, температура сырой воды – 1 °С; минимальная температура обратной сетевой воды в зимний период (декабрь-февраль) – 70 °С, расход обратной сетевой воды 260 т/ч.

В данной работе предлагается замена существующей системы подогрева сырой воды на нужды станции: вместо подогрева паром с давлением 1,2 ата в пароводяных теплообменниках сырая вода будет подогреваться в водоводяных теплообменниках обратной сетевой водой. Пар в коллектор с давлением 1,2 ата поступает от 5-го отбора турбины, или от РОУ 15/1,2 (редукционно-охладительная установка), при условии, что турбина в резерве. Из рис. 1 видно, что данные изменения позволяют вырабатывать дополнительную электрическую энергию на тепловом потреблении за счет: перераспределения потоков пара отборов турбины; увеличения отборов на регенерацию, так как конденсат подогревателей сетевой воды (ПСВ) поступает на дренажные баки.

Анализ существующей системы (схемы) подогрева сырой воды показал, что ТЭС тратит немалую часть топлива на собственные нужды.

Для оценки экономичности структурных и режимных изменений в схемах регенерации теплофикационных турбин, связанных с использованием отборов пара турбоустановок для подогрева теплоносителей водоподготовительных установок ТЭЦ, а также других внутростанционных потоков воды, лучшим образом подходит методика, разработанная в научной лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» Ульяновского государственного технического университета (НИЛ ТЭСУ). Данная методика называется «Методика ВИШ» [1].

Изменение теплофикационной мощности турбины на тепловом потреблении за счет отборов пара на i -ом участке:

$$N_t = D_i(i_0 - i_i)\eta_3\eta_m,$$

где D_i – расход пара, отбираемого из i -го отбора турбины, т/ч; i_0 – энтальпия перегретого пара, кДж/кг; i_i – энтальпия пара теплофикационного отбора, кДж/кг; η_3 , η_m – электромагнитный и механический КПД турбоустановки.

На величину мощности, развиваемой турбиной на тепловом потреблении, весомое влияние оказывает мощность $N_{\text{рег}_i}$, которая вырабатывается паром регенеративных отборов, расходуемым на подогрев конденсата пара на j -ом участке схемы. Она определяется по формуле:

$$N_{\text{рег}_i} = D_{\text{рег}_i}(i_0 - i_{\text{рег}_i})\eta_3\eta_m,$$

где $D_{\text{рег}_i}$ – расход пара условного эквивалентного отбора для регенеративного подогрева конденсата пара, направленного на дополнительный подогрев обратной сетевой воды, кг/с.

Экономия топлива от увеличения выработки электроэнергии на тепловом потреблении турбоагрегатов, имеющих многоступенчатые схемы подогрева сетевой воды, определяется по формуле:

$$\Delta B_N = (N_t + N_{\text{рег}_i} - N_n)(b_{\text{эк}} - b_{\text{эт}})h_r,$$

где $b_{\text{эк}}$, $b_{\text{эт}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии по конденсационному и теплофикационному циклам, кг/кВт·ч; N_n – мощность потребляемая насосами на i -ом участке схемы, кВт.

При расчете энергетической эффективности технологий подготовки воды необходимо учитывать затраты топлива на выработку в котле дополнительного расхода пара, т/год:

$$B = \frac{\Delta D_i(i_0 - i_{\text{пв}})}{Q_n^p \eta},$$

где ΔD_i – разность расходов пара при использовании пара разных потенциалов для нагрева воды на одну и ту же величину, т/год; i_0 – энтальпия свежего пара и питательной воды, кДж/кг; Q_n^p – низшая теплота сгорания условного топлива, кДж/кг; η – КПД парового котла

Для расчета был выбран пластинчатый теплообменник (ПТО) НН81 фирмы ЗАО «Ридан», проектный и поверочный расчет которого выполнен в программе «Ридан 4.175» [3].

Эффект от замены существующей схемы подогрева сырой воды на нужды станции, а также основные результаты расчета приведены в таблице 1.

Экономия условного топлива составляет 754 т. в год, при цене в 2000 руб. экономический эффект достигает 1508048 руб. в год.

Капиталовложения для перехода ТЭЦ на подогрев сырой воды обратной сетевой водой собственных нужд представлены в таблице 2.

При капиталовложениях 2377565 руб. срок окупаемости – 1,6 года.

Рассмотренное решение актуально для многих ТЭЦ России, особенно для ТЭЦ с большими потерями основного конденсата. С каждым годом топливная составляющая в себестоимости электроэнергии увеличивается, поэтому все более востребованными являются высокоэффективные решения, которые ранее (при низкой стоимости топлива) были неактуальны.

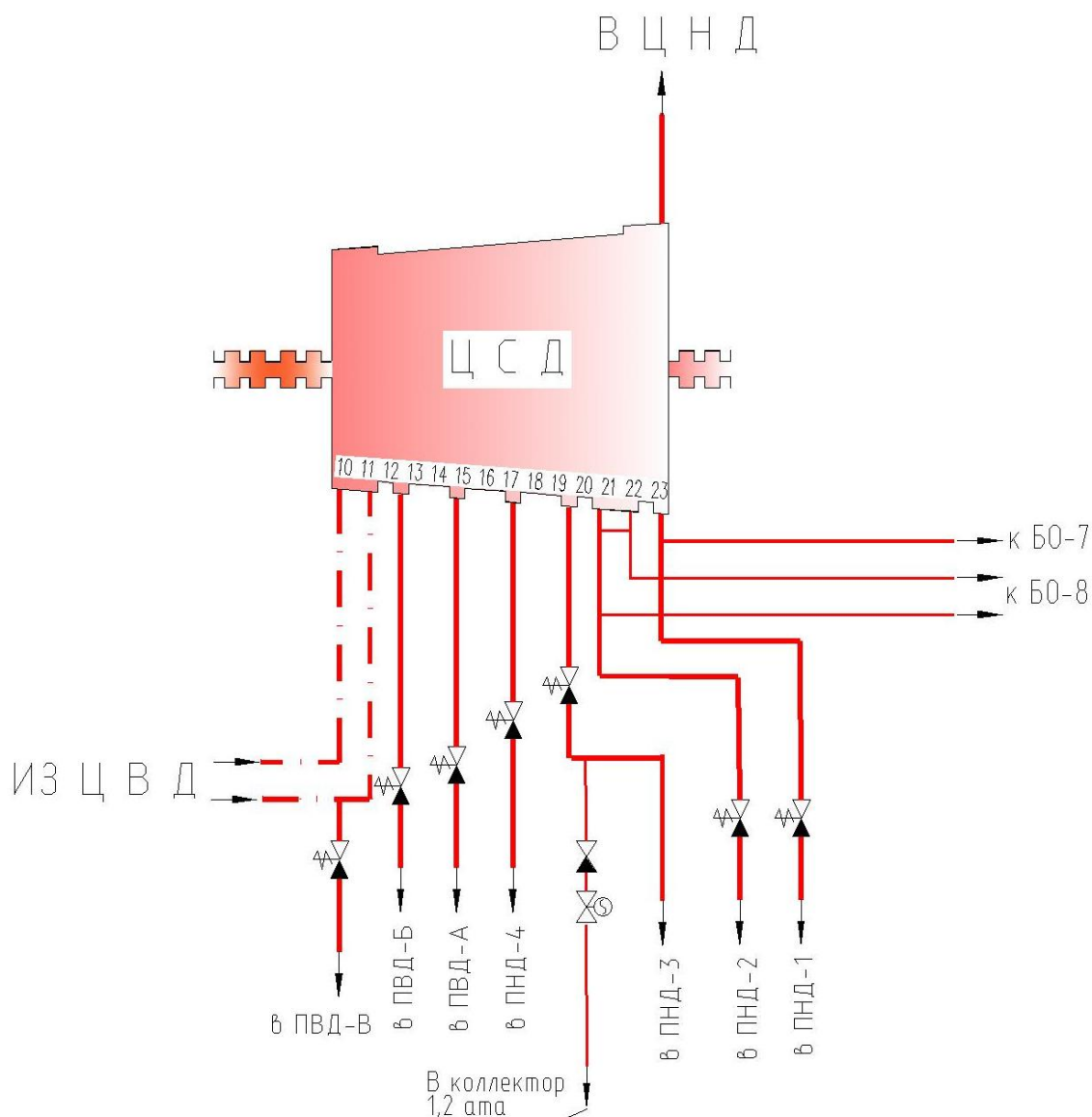


Рис. 1 – Схема отборов ЦСД турбоагрегата Т-100-130:

ЦВД – цилиндр высокого давления; ЦСД – цилиндр среднего давления; ЦНД – цилиндр низкого давления;
ПВД – подогреватель высокого давления; ПНД – подогреватель низкого давления

Таблица 1 – Основные результаты расчета

Показатель	Давление	Температура, °С	Энтальпия, кДж/кг	Расход, т/ч
Теплофикационный отбор	0,55 ата	90	2661,7	23,9
Конденсат	–	65	272,1	23,9
Сетевая вода до ПТО	2 кгс/см ²	70	314,4	260
Сетевая вода после ПТО	–	20	126,3	260
Сырая вода до ПТО	4 кгс/см ²	1	4,7	460
Сырая вода после ПТО	–	30	126,2	460
Отбор ПНД 3	1,5 ата	125	2721,5	22
Конденсат ПСВ	–	30	125,9	22
Показатель	Значение			
Повышение мощности за счет перераспределения потоков пара отборов турбины, кВт	388,8			
Повышение мощности за счет увеличения расхода пара при использовании теплоносителя разных потенциалов для нагрева воды на одну и ту же величину, кВт	424,4			
Повышение мощности за счет увеличения расхода пара на регенерацию, кВт	380,7			
Суммарное повышение мощности, кВт	1193,9			

Таблица 2 – Капиталовложения

Товары, работы, услуги	Стоимость, руб.
Пластинчатый теплообменник НН81	1180849
Арматура	200000
Приборы учета и автоматики	310547
Работы по монтажу трубопровода подачи сетевой воды на подогреватели, монтаж нового подогревателя, приборов учета и автоматики, вспомогательные материалы, наладочные мероприятия.	236169
Разработка проектной документации	400000
Итого	2377565

Список литературы/ References

1. Иванов С. А. Повышение экономичности ТЭЦ путем оптимизации распределения потоков теплоты / С. А. Иванов, Л. Г. Батухин, П. Г. Сафронов // Промышленная энергетика. – 2011. – № 3. – С. 2-7.
2. Сафронов П. Г. Об эффективности централизованного теплоснабжения и теплофикации в рыночных условиях / П. Г. Сафронов // Промышленная энергетика. – 2011. – № 11. – С. 6-9.
3. Производственно-инжиниринговая компания «Ридан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ridan.ru>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 6.09.2016).

Список литературы на английском языке / References in English

1. S.A. Ivanov, Povyshenie jekonomichnosti TJeC putem optimizacii raspredelenija potokov teploty [Increase efficiency CHP by optimizing the distribution of heat flows] / S.A. Ivanov, L.G. Bratukhin, A.G. Safronov // Promyshlennaja jenergetika [Industrial power]. – 2011. – № 3. – P. 2-7. [in Russian]
2. Safronov P. G. Ob jeffektivnosti centralizovannogo teplosnabzhenii i teplofikacii v rynochnyh uslovijah [The efficiency of the district heating and industrial heating in market conditions] / P. G. Safronov // Promyshlennaja jenergetika [Industrial power]. – 2011. – № 11. – P. 6-9. [in Russian]
3. Proizvodstvenno-inzhiniringovaja kompanija «Ridan» [Production and engineering company "Ridan"] [Electronic resource]. – URL: <http://www.ridan.ru> (accessed: 6.09.2016). [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.113

Старостин Е.Г.¹, Тимофеев А.М.², Кравцова О.Н.³, Таппырова Н.И.⁴

¹Доктор технических наук, ²доктор технических наук, ³кандидат технических наук, ⁴ведущий инженер, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН в г. Якутске
 Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российского фонда фундаментальных исследований
 (Грант № 14-05-00328)

Результаты получены на оборудовании ЦКП «Станция низкотемпературных натурных испытаний»

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМОСТЬ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ В ПРЕДЕЛАХ СОРБЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ**Аннотация**

Связанная вода в глинистых грунтах значительно влияет не только на многие свойства этих грунтов, но и на процессы тепло-массопереноса, происходящие в них. В литературе имеются значения удельной теплоемкости связанной воды, но они значительно отличаются друг от друга даже для одного вида грунта. Поэтому уточнение значений удельной теплоемкости связанной воды является важной задачей.

В статье представлены экспериментальные данные по сорбции и удельной теплоемкости глинистого грунта Амгинского месторождения Республики Саха (Якутия), а также сделан расчет удельной теплоемкости связанной воды в диапазоне сорбционных влажностей.

Установлено, что для очищенного глинистого грунта при увеличении сорбционной влажности значения удельной теплоемкости связанной воды увеличиваются, приближаясь к значению удельной теплоемкости свободной воды.

Ключевые слова: глинистый грунт, связанная вода, сорбционная влажность, удельная теплоемкость, дифференциальный сканирующий калориметр.

Starostin E.G.¹, Timofeev A.M.², Kravtsova O.N.³, Tappyrova N.I.⁴

¹PhD in Engineering, ² PhD in Engineering, ³PhD in Engineering, ⁴Lead engineer,
 Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, SB RUS in Yakutsk
 This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research Project (Grant № 14-05-00328)

The results obtained on the equipment CKP "Station-temperature field tests"

THE SPECIFIC HEAT CAPACITY OF BOUND WATER IN CLAY SOILS**Abstract**

Bound water in clay soil has a significant influence on many properties and processes of heat and mass transfer. The values of specific heat of bound water are presented by various authors, but they significantly differ from each other even for one kind of soil. Therefore, correction of the values of the specific heat of bound water is an important task.

The article presents experimental data on the sorption and specific heat capacity of Amginsky clay soil deposits which are situated in the Republic of Sakha (Yakutia). Also the calculation of the specific heat capacity of bound water in the clay soil in the range of sorption moistures is presented. It is shown, that the specific heat capacity of bound water of the purified clay soil increases with increasing of moisture sorption values, getting closer to the value of the specific heat capacity of the free water.

Keywords: clay soils, bound water, moisture sorption, specific heat capacity, differential scanning calorimeter.

Свойствам связанной воды посвящены работы академика Б.В. Дерягина, которые положили начало становлению теории о том, что связанная вода обладает иными физическими свойствами (аномальными), чем свободная [1], которая в дальнейшем была развита Н.В. Чураевым [2], П.А. Ребиндером, Е.М. Сергеевым [3], Р.И. Злочевской [4] и т.д. За рубежом исследование свойств связанной воды получило свое развитие в работах В. Дрост-Хансена, Ч. Брауна, Ф. Этцлера, Дж. Коннерса [5] и V. Gutmann [6].

Под влиянием аномальных свойств связанной воды изменяются такие физические свойства, как теплоемкость, вязкость, температуропроводность, диэлектрическая проницаемость, плотность и др. Однако, остается существенная неопределенность в отношении теплоемкости [7]. По данным многих исследователей теплоемкость связанной воды в среднем равна 2,93 кДж/(кг·К) [4]. По данным других авторов, полученные экспериментальные значения теплоемкости воды около поверхности ряда материалов больше теплоемкости объемной воды и приблизительно равна 5,2 кДж/(кг·К) [5].

В работе [8] проведены исследования по определению теплоемкости воды в кликерных минералах C_3S и C_3A дифференциальным сканирующим калориметром DSC-111. Значение теплоемкости в трехкальциевом силикате равно 0,9 кДж/(кг·К), а трехкальциевом алюминате равно 1,76 кДж/(кг·К). Анализ модели показывает, что теплоемкость для таких систем является весьма чувствительной характеристикой.

В настоящее время из-за трудностей экспериментальных исследований (небольшое содержание в исследуемых материалах, присутствие примесей и т.д.) банк данных по теплоемкости связанной воды в дисперсных средах неполный. Это определяет необходимость экспериментального изучения свойств связанной воды в каждом конкретном случае.

В настоящей работе сделан расчет теплоемкости связанной воды в глинистых грунтах в пределах сорбционной влажности. Для расчета использованы экспериментальные данные удельной теплоемкости глинистых грунтов при различных положительных температурах.

Для исследований использовался глинистый грунт из Амгинского месторождения Республики Саха (Якутия). Удельная теплоемкость глинистого грунта, взятого непосредственно из месторождения и образцов этого же грунта, но предварительно очищенного от примесей, определялась на дифференциальном сканирующем калориметре SENSYS Evo DSC.

Значения удельной теплоемкости исследуемых глинистых грунтов получены при температурах 20, 30, 40 °С и сорбционных влажностях, соответствующих относительным влажностям воздуха 30, 40, 70, 80, 90, 98 % (табл. 1).

Таблица 1 – Сорбционная влажность глинистых грунтов

Относительная влажность воздуха, [%]	30	40	70	80	90	98
Сорбционная влажность неочищенного глинистого грунта, [%]	3	3,5	5,7	7	8	10,5
Сорбционная влажность очищенного глинистого грунта, [%]	3,4	4	6,3	7,8	9	12,2

Полученные значения удельной теплоемкости исследуемого глинистого грунта представлены на рис. 1 -2.

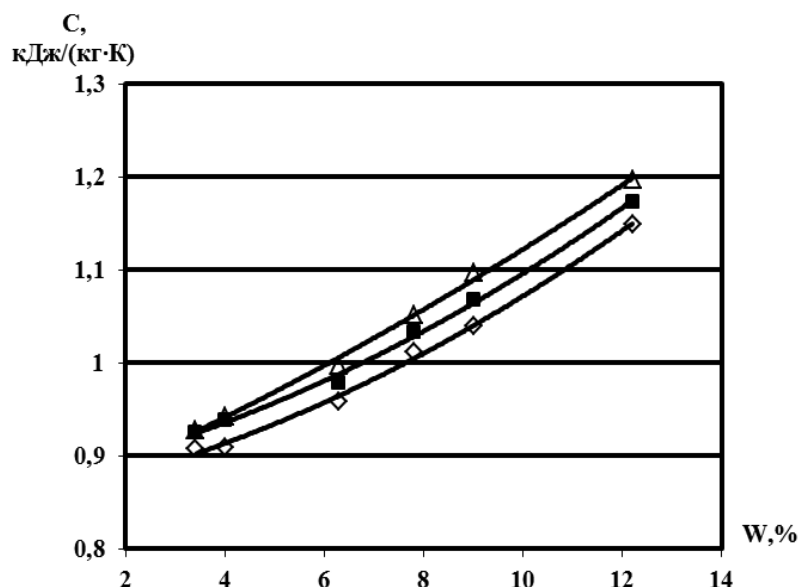


Рис. 1 – Удельная теплоемкость очищенного глинистого грунта в зависимости от сорбционной влажности.
Температура: Δ - 40°C, ■ – 30°C, ◇ - 20°C

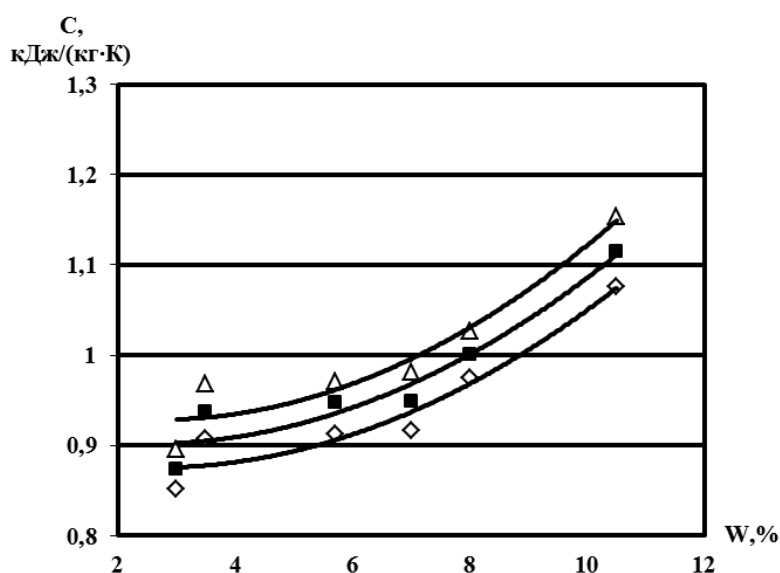


Рис. 2 – Удельная теплоемкость неочищенного глинистого грунта в зависимости от сорбционной влажности
Температура: Δ - 40°C, ■ – 30°C, ◇ - 20°C.

Видно, что с увеличением сорбционной влажности и с повышением температуры значения удельной теплоемкости для двух видов глинистого грунта повышаются.

Используя полученные значения удельной теплоемкости глинистых грунтов и условие аддитивности теплоемкости, рассчитывалась удельная теплоемкость связанной воды по формуле [9]

$$C = C_{CK} + C_B \cdot W,$$

где C_{CK} - теплоемкость скелета исследуемого образца, кДж/(кг·К).

На рис. 3 и 4 приведены результаты расчета удельной теплоемкости связанной воды в исследуемых глинистых грунтах в пределах сорбционной влажности.

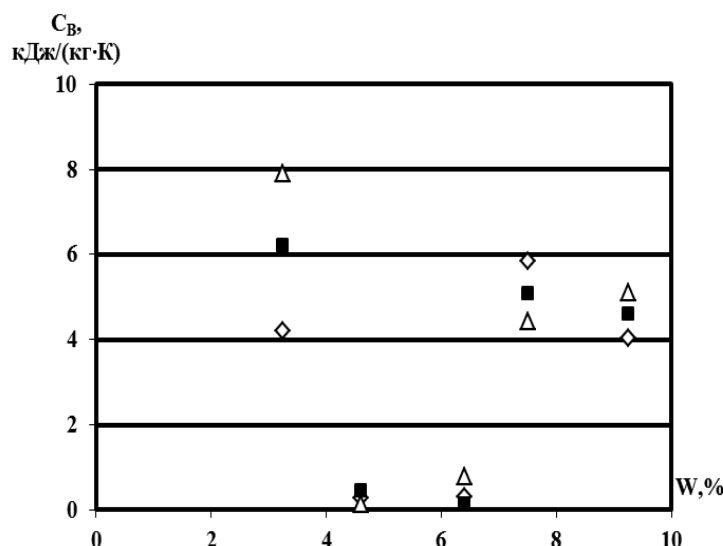


Рис. 3 – Удельная теплоемкость связанной воды в очищенном глинистом грунте в зависимости от влажности.
Температура: Δ - 40°C, ■ – 30°C, ◇ - 20°C.

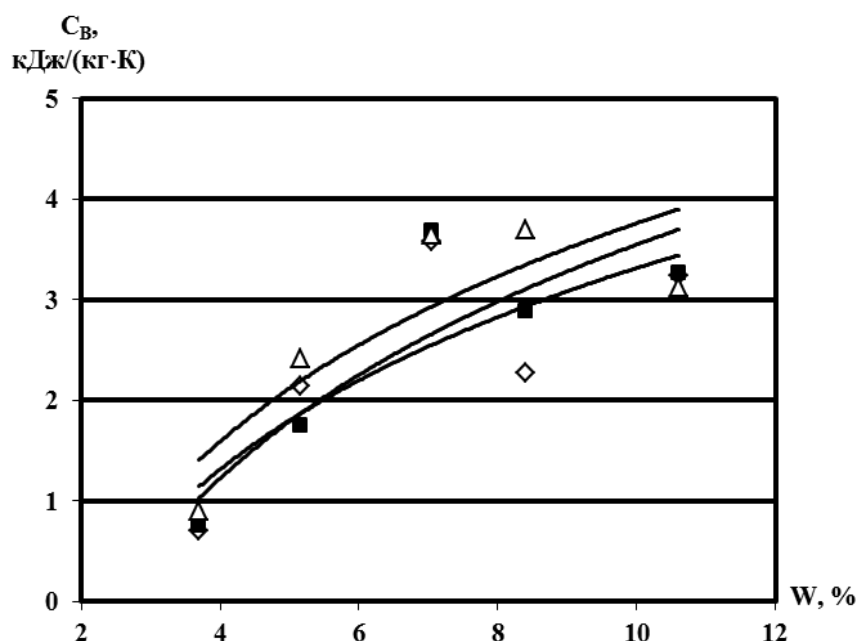


Рис. 4 – Удельной теплоемкость связанной воды в неочищенном глинистом грунте в зависимости от влажности.
Температура: Δ - 40°C, ■ – 30°C, ◇ - 20°C.

Как показывают результаты расчета для очищенного глинистого грунта (рис. 3), удельная теплоемкость связанной воды при малых значениях сорбционной влажности имеет маленькие значения порядка 0,7 – 0,9 кДж/(кг·К) затем, с повышением сорбционной влажности, увеличивается и стремится к значению удельной теплоемкости свободной воды.

Разброс данных при расчете удельной теплоемкости связанной воды в глинистых грунтах обусловлен испарением влаги из образца при нагревании его от 20 °С до 40 °С, причем, чем больше влажность образца, тем больше изменяется влажность (от 0,19% до 0,7%).

Для неочищенного глинистого грунта (многокомпонентная система), из-за содержания в нем примесей, нарушается условие аддитивности и определить какую-либо зависимость и получить определенные значения удельной теплоемкости связанной воды на данном этапе не представляется возможным (рис. 4). Эти исследования требуют дальнейшего продолжения.

Выводы

1. Удельная теплоемкость исследованных глинистых грунтов в пределе сорбционных влажностей с повышением температуры увеличивается, причем, чем больше значения влажности, тем больше значения удельной теплоемкости.
2. Значения удельной теплоемкости очищенного глинистого грунта больше значений удельной теплоемкости неочищенного глинистого грунта. Это объясняется тем, что в неочищенном глинистом грунте присутствуют примеси (органика, песчаные частицы и т.д.), которые влияют на значения удельной теплоемкости.

3. Для очищенного глинистого грунта при увеличении сорбционных влажностей и температуры значения удельной теплоемкости связанной воды увеличиваются, приближаясь к значению удельной теплоемкости свободной воды.

Список литературы/ References

1. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах. / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. М., Химия, 1989, 288 с.
2. Чураев Н.В. Физикохимия процессов массопереноса в пористых телах /Н.В. Чураев. М., Химия, 1990, 272 с.
3. Сергеев Е. М. Связанная вода в грунтах и её влияние на их дисперсность и микроструктуру// Учен. зап./ МГУ, Геология., 1956, вып. 176, с. 221—231.
4. Злочевская Р.И. Связанная вода в глинистых грунтах. / Р.И. Злочевская. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, 176 с.
5. Etzler F.M., Conners J.J. Temperature dependence of the heat capacity of water in small pores // IPST techN.pap.ser. No. 348, Atlanta, 1990, 28p.
6. Gutmann V. Fundamental considerations about liquid water // Pure and Appl. Chem., 1991, vol. 63, No. 12, p. 1715-1724.
7. Старостин Е.Г., Лебедев М.П. Свойства связанной воды в дисперсных породах. Часть 1. Вязкость, диэлектрическая проницаемость, плотность, теплоемкость, поверхностное натяжение // Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, № 3. с. 46–54.
8. Коваленко Ю.А. Исследование теплоемкости водных суспензий кликерных минералов C_3S и C_3A // Сиб. физ.-техн. журн., 1992, № 3, с. 11–13.
9. Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны / Р.И. Гаврильев. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1998, 280с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Derjagin B.V. Voda v dispersnyh sistemah [Water in disperse systems]/ B.V. Derjagin, N.V. Churaev, F.D. Ovcharenko and others. M., Himija, 1989, 288 p. [in Russian]
2. Churaev N.V. Fizikohimija processov massoperenosa v poristyh telah [Physical chemistry of mass transfer processes in porous bodies]/N.V. Churaev. M., Himija, 1990, 272 p. [in Russian]
3. Sergeev E. M. Svjazannaja voda v gruntah i ejo vlijanie na ih dispersnost' i mikrostrukturu [Bound water in the soil and its effect on their dispersion and microstructure]// Uchen. zap./ MGU, Geologija., 1956, 176 edition, p. 221—231. [in Russian]
4. Zlochevskaja R.I. Svjazannaja voda v glinistyh gruntah [Bound water in clay soils]/ R.I. Zlochevskaja. M., Izd-vo Mosk. un-ta, 1969, 176 p. [in Russian]
5. Etzler F.M., Conners J.J. Temperature dependence of the heat capacity of water in small pores // IPST techN.pap.ser. No. 348, Atlanta, 1990, 28p.
6. Gutmann V. Fundamental considerations about liquid water // Pure and Appl. Chem., 1991, vol. 63, No. 12, p. 1715-1724.
7. Starostin E.G., Lebedev M.P. Svojstva svjazannoj vody v dispersnyh porodah. Chast' 1. Vjazkost', dijelektricheskaja pronicaemost', plotnost', teploemkost', poverhnostnoe natjazhenie [The properties of bound water in dispersed rocks. Part 1. The viscosity, dielectric constant, density, specific heat, surface tension]// Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2014, V. XVIII, № 3. p. 46–54. [in Russian]
8. Kovalenko Ju.A. Issledovanie teploemkosti vodnyh suspenzij klikernyh mineralov C_3S i C_3A [Investigation of the heat capacity of aqueous suspensions of clinker minerals C_3S and C_3A]// Sib. fiz.-tehn. zhurn., 1992, № 3, p. 11–13. [in Russian]
9. Gavril'ev R.I. Teplofizicheskie svojstva gornyh porod i napochvennyh pokrovov kriolitozony [Thermal properties of rocks and soil Cryolithozone]/ R.I. Gavril'ev. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 1998, 280p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.044

Таваров С.Ш.¹, Маджидов Г.Х.²¹ORCID: 0000-0002-2875-2752, Кандидат технических наук,²ORCID: 0000-0002-9470-3158, Соискатель,

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

**ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЛАМП****Аннотация**

Приведены влияние отклонения напряжения от номинального значения 220 В на освещенность ламп накаливания и дуговые натриевые трубчатые лампы (ДНАТ). Установлено, что отклонения напряжения от номинального значения не влияет на освещенность энергосберегающих и светодиодных лампы. Показано, что большая часть энергосберегающих, светодиодных и ламп ДНАТ применяемые в коммунально-бытовых и уличных освещении города Душанбе имеют низкий коэффициент активной мощности, приводящий в свою очередь к увеличению потребления реактивной мощности в электрической сети.

Ключевые слова: номинальное напряжение, электрические величины, осветительные лампы, освещенность, коэффициент активной мощности.

Tavarov S.Sh.¹, Madjidov G. H.²¹ORCID: 0000-0002-2875-2752, PhD in Engineering,²ORCID: 0000-0002-9470-3158, Postgraduate student,

Tajik technical university of a name of the academician M. S. Osimi,

INFLUENCE OF THE DEVIATION OF TENSION ON ELECTRICAL QUANTITIES OF LIGHTING LAMPS**Abstract**

Are given influence of a deviation of tension from nominal rate of 220 V on illumination of glow lamps and arc sodium tubular lamps (DNAT). It is established that tension deviation from nominal rate doesn't influence illumination energy saving and light-emitting diode lamps. It is shown that the most part energy saving, light-emitting diode and lamps of DNAT applied in household and street consecrations of the city of Dushanbe have the low coefficient of active power leading in turn to increase in consumption of jet power in electric network.

Keywords: rated voltage, electrical quantities, lighting lamps, illumination, coefficient of active power.

По анализам причин нарушений в городских электрических сетях и состояния электрооборудования [1,2] более половины оборудования установленные в сетях 6-10/0,4 кВ имеют низкий показатель надежности электроснабжения. Известно, что отклонения напряжения влияет на показатели надежности электроснабжения городских распределительных сетях. Особенно в зимний период времени наблюдаются сильные отклонения напряжения от номинальных значениях в распределительных сетях 6-10/0,4 кВ г. Душанбе. Как известно отклонения напряжения имеют существенное влияние на освещенность ламп накаливания. Тогда как на энергосберегающие и светодиодные лампы, отклонения напряжения имеет незначительное влияние на освещенность [3]. Для энергосбережения электроэнергии потребители города Душанбе перешли на энергосберегающие и светодиодные лампы. Уличное освещение же города Душанбе переведены на осветительные лампы типа ДНАТ. По полученным данным с ОАО «Гор. Свет» общее количество ламп ДНАТ установленные для уличного освещения города Душанбе превышает количество 15 тыс. шт. Отклонения напряжения от номинального значения имеет существенное влияние на освещенность данных типов осветительных ламп.

Также необходимо отметить следующий фактор, что увеличения напряжения от номинального значения в итоге влияет на потребляемость электроэнергии, как и в распределительных, так и в общей электрической сети.

Для оценки влияние отклонения напряжения на электрические величины осветительных ламп на разработанном универсальном лабораторном стенде кафедры «Электроснабжения», ТТУ им. акад. М.С. Осими были проведены эксперименты. Универсальный лабораторный стенд позволяет исследовать светотехнические и электрические характеристики ламп накаливания, современных энергосберегающих компактных люминесцентных, светодиодных и ламп типов ДНАТ и ДРЛ в основном применяемые для уличного освещения.

При проведение экспериментов, напряжение изменялись в пределах (–14%, +5%) от номинального значения. Для учета электрических величин был использован универсальный измерительный прибор OMIX P94-MX, который позволяет, измеряет следующие параметры:

P – Активная мощность, Вт;

Q – Реактивная мощность, Вар;

S – Полная мощность, ВА;

I – ток, А;

Cos φ – коэффициент активной мощности;

f – частота.

Для измерения освещенности осветительных ламп был применён люксметр типа DT-1309.

Технические характеристики DT-1309:

Рабочая температура –20...+50°C;

Диапазон измерений 0...100000 Лк;

Разрешение 1 Лк/0,1 Гц;

Погрешность измерений 5%.

Для повышения и понижения напряжения был использован лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). Напряжение на зажимах осветительных ламп изменялись в пределах от +230 В до –190 В с шагом ±10 В.

Результаты экспериментов по оценкам влияния отклонения напряжения на освещенность и электрических величин ламп накаливания, энергосберегающих, светодиодных и ДНаТ приведены (табл. 1,2).

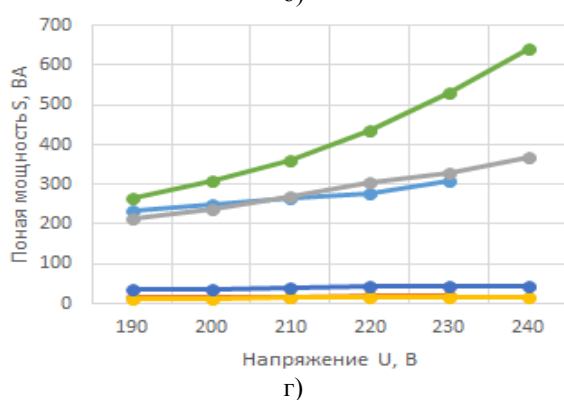
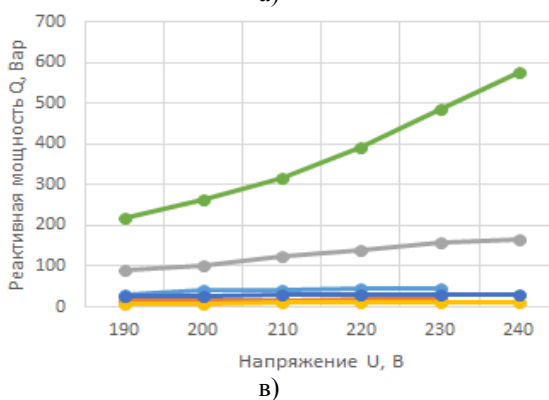
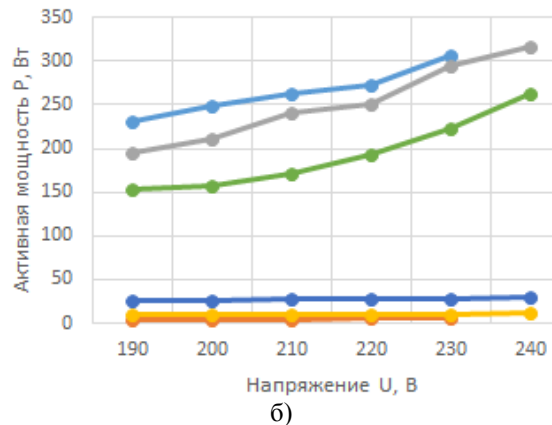
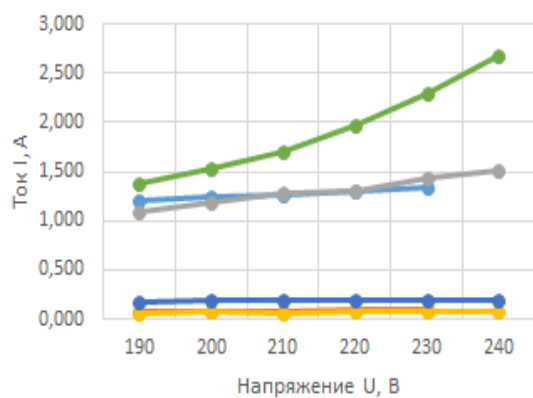
Таблица 1 – Влияние отклонения напряжения на светодиодные и лампы накаливания

Физические параметры	Лампа накаливания					Светодиодная лампа 6 Вт				
	190	200	210	220	230	190	200	210	220	230
U, В	190	200	210	220	230	190	200	210	220	230
I, А	1,20	1,24	1,27	1,30	1,34	0,075	0,08	0,083	0,089	0,094
P, Вт	231	248	263	272	307	4,33	4,54	5,00	5,43	5,76
Q, Вар	30	41	43	44	46	13,90	14,90	17,00	18,10	20,50
S, ВА	234	250	267	276	310	14,30	15,80	17,40	19,70	21,50
$\cos \varphi$	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27
E, Лк	510	639	782	894	1043	136	134	136	131	136

Таблица 2 – Влияние отклонения напряжения на энергосберегающие и лампы ДНаТ

Физические параметры	ДНаТ -250					Энергосберегающая лампа (30 Вт)				
	190	200	210	220	230	190	200	210	220	230
U, В	190	200	210	220	230	190	200	210	220	230
I, А	1,10	1,18	1,28	1,30	1,43	0,181	0,188	0,188	0,190	0,183
P, Вт	196	212	241	251	295	25,80	26,80	28,30	28,80	28,80
Q, Вар	92	101	125	138	159	25,00	26,10	28,90	30,50	31,00
S, ВА	214	236	271	305	329	35,00	37,30	39,60	42,10	42,20
$\cos \varphi$	0,90	0,90	0,89	0,9	0,91	0,72	0,72	0,69	0,68	0,68
E, Лк	1774	2028	2308	2714	3158	200	218	233	240	243

По результатам экспериментов приведенных (см. табл. 1,2) были построены зависимости влияния изменения напряжения на изменения тока, активной, реактивной и полной мощности (рис. 1 а, б, в, г), а также на освещенность и коэффициента активной мощности осветительных ламп (рис. 1 д, е).



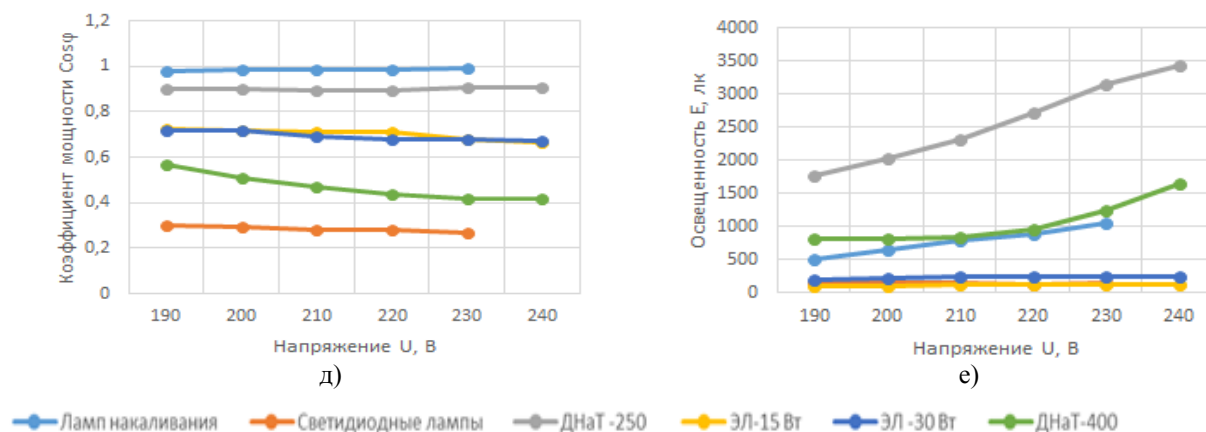


Рис. 1 – Влияние изменения напряжения на электрические и светотехнические величины осветительных ламп

Согласно (см. табл. 1,2) и (см. рис. 1 (е)) при понижении напряжения на (-14%, 190 В) от номинального значения, освещенность ламп накаливания уменьшается на (-43%). Тогда как при повышении на (+5%, 230 В) освещенность ламп увеличивается на (+17%). Такая же картина наблюдается и у ламп типов ДНаТ, понижения напряжения на (-14%, 190 В) уменьшает освещенность ламп на (-35%), повышения напряжения на (+5%, 230 В) увеличивает освещенность ламп на (+16%).

Для энергосберегающих и светодиодных ламп повышения напряжения на (+5%) особо не влияет на освещенность. При понижении напряжения на (-14%) освещенность уменьшается на (-17%).

Как было отмечено выше для уличного освещения города Душанбе, все осветительные лампы переустановлены на лампы типов ДНаТ. Для энергосбережения коммунально-бытовых потребителей большая часть потребителей перешли к энергосберегающим и светодиодным лампам. Из полученных результатов экспериментов (см. табл. 2) видно, что отклонения напряжения не влияет на коэффициент активной мощности ламп ДНаТ (см. рис. 1 д). Но независимо от этого фактора у данных типов ламп низкий коэффициент активной мощности, что в результате влияет на увеличения потребления тока, активной, реактивной и полной мощности (см. рис. 1 а, б, в, г).

Тогда как на энергосберегающие и светодиодные лампы отклонения напряжения имеет существенное влияние не на освещенность, а на электрические величин.

Таким образом, по полученным результатам экспериментов (см. табл. 1,2) отклонения напряжения от номинальной значений на зажимах энергосберегающих и светодиодных ламп очень сильно влияет на коэффициент активной мощности (см. рис. 1 д). В результате чего приводит к увеличению потребления не только тока и активной мощности (см. рис. 2 б, в) но и реактивной мощности (см. рис. 2 в). Значение реактивной мощности за счет низкого коэффициента активной мощности, на несколько порядков больше чем активная мощность (см. табл. 1,2).

При понижении напряжения на зажимах светодиодной лампы (-14%, 190 В) от номинального значения реактивная мощность превышает активную мощность в 3,2 раза. При повышении на (+5%, 230 В) реактивная мощность превышает активную на 3,6 раз (см. табл. 1).

Для энергосберегающих ламп при понижении напряжения на (-14%, 190 В) от номинального значения реактивная мощность равна активной мощности, при повышении на (+5%, 230 В) реактивная мощность превышает активную мощность на 1,1 раз.

Необходимо отметить следующие, что из 32 –х подстанции напряжением 35 кВ и выше находящихся в балансе городской электрической сети города Душанбе в большей части из них отсутствуют компенсирующие устройства [1,2].

В итоге можно сделать вывод, что данная проблема является актуальной для города Душанбе. Так как увеличения потребления реактивной мощности приводит к загрузке электрических сетях, дополнительному понижению напряжения и уменьшения надежности как городских распределительных сетей так и электрической сети в общем.

Список литературы/ References

1. Таваров С.Ш., Маджидов Г.Х. Анализ причин нарушений в городских электрических сетях г. Душанбе // Электробезопасность. 2016. – №1. С. 25-30.
2. Таваров С. Ш., Маджидов Г. Х., Фирдавс Э. А. Состояние электрического оборудования в городских электрических сетях г. Душанбе ОАХН «Барки точик» // Электробезопасность. 2016. – №2. С. 4-12.
3. Бегеман Т. Светоизлучающие диоды – Тенденции развития и влияние на освещение // Светотехника. 2001. – № 5. С. 5 – 10.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tavarov S.Sh., Madzhidov G.H. Analiz prichin narushenij v gorodskih jelektricheskikh setjah g. Dushanbe [Analysis of disturbances in urban electric networks Dushanbe] // Jeletrobezopasnost' [Electrical safety]. 2016. #1. P. 25-30. [in Russian]
2. Tavarov S. Sh., Madzhidov G. H., Firdavs Je. A. Sostojanie jelektricheskogo oborudovanija v gorodskih jelektricheskikh setjah g. Dushanbe OAHN «Barki tochik» [The condition of the electrical equipment in city electric networks of Dushanbe OHNN «Barki Tojik»] // Jeletrobezopasnost' [Electrical safety]. 2016. #2. P. 4-12. [in Russian]
3. Begeman T. Svetoizluchajushhie diody – Tendencii razvitiya i vlijanie na osveshhenie [Light Emitting Diodes – trends and impact on the lighting] // Svetotekhnika. 2001. # 5. P. 5 – 10. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.115

Тебугев М.И.¹, Тебугев Т.И.²^{1,2}Аспирант, кафедра Электронных систем, Санкт-Петербургский университет «Горный»

ТЕХНОЛОГИЯ POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ ФИЛЬТРОВ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ ПИТАНИЯ
С МАГИСТРАЛЬНЫМ ШИРОКОПОЛОСНЫМ PLC МОДЕМОМ G2-BASE-200

Аннотация

В данной статье рассмотрена технология передачи данных по электротехническим сетям, анализ а так же испытание модемов на термоустойчивость и совместимость с фильтрами присоединения технологии POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC). Приведена разработка решения задачи совместимости фильтров присоединения «Гиперком d60 и d40», с модемом G2-BASE-200, путем постановки эксперимента в лаборатории предприятия «Гиперком» г. Волжский. Так же, в статье описывается исследование модемов на предмет термоустойчивости. Данные расчеты предполагается использовать при создании устройства в области шумоподавления в сетях передачи данных, что позволит наиболее эффективную передачу сигнала в условиях горной добычи и иных предприятиях.

Ключевые слова: модем, фильтр присоединения, сеть, импульсные помехи, частотное разделение сигнала.

Tebuev M.I.¹, Tebuev T.I.²^{1,2}Postgraduate student,

Department of Electronic Systems, St. Petersburg State University "Mountain"

TECHNOLOGY POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC)

THE RESEARCH OF THE COMPATIBILITY OF THE FILTERS OF THE POWER SUPPLY LINES FROM THE
MAIN BROADBAND PLC MODEM G2-BASE-200

Abstract

This article describes the technology of data transmission via electrical networks, analysis and testing of modems on the ther mostability and compatibility with filters joining technology POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC). The design of the problem solving of compatibility filters connection "Giperkom d60, d40" modem G2-BASE-200, by setting up the experiment in the laboratory of the enterprise "Giperkom" Volzhskiy is offered. Also, the article describes a study of the modems on the subject of ther mostability. These calculations are supposed to be used when creating the device in the field of noise control in data transmission networks that will allow the most effective transmission of signals in the mining environment and other industries.

Keywords: modem, filter, join, network, impulse noise, frequent signal division.

Технология Power Line Communications (PLC) позволяет использовать существующие линии электропередач для передачи информации: магистральные, региональные, районные и внутренние сети; бытовые и промышленные сети (в том числе, линии уличного освещения); контактную сеть (электрооборудование локомотивов, трамваев, троллейбусов, метро); сеть технологических объектов (электрооборудование производственных объектов). Однако это не дает преимуществ силовых линий на эту технологию перед другими существующими проводными коммуникациями. Успешно используются в качестве среды передачи информации с помощью PLC такие коммуникации как витая пара (телефонный кабель), слаботочные провода питания, коаксиальный кабель (TV кабель) и т.п.

Отличаются BPL и NPL между собой соотношением скорость / расстояние.



Важно! В PLC-технологии принято за скорость брать полудуплексную или одноплатную скорость. Это значит, если скорость указана 200 Мегабит в секунду, то реальная скорость будет колебаться от 70 до 80 Мегабит в секунду.

Рис. 1 – Отличие BPL от NPL передачи информации

PLC включает в себя два типа передачи информации: (Рис.1) - BPL — широкополосная передача информации до несколько сот Мегабит в секунду*; - NPL — узкополосная передача информации до одного Мегабита в секунду. Стандарт BPL предназначен для применения в следующих областях: построение локальных сетей, телефонии, доступа в интернет, видеонаблюдения, комплексных систем безопасности. Стандарт NPL предназначен для применения в следующих областях: АСУТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами), АСКУЭ (автоматизированные системы контроля и учёта энергоресурсов), СКУД (системы контроля и управления доступом), ОПС (охранно-пожарная система), «умный дом», различные виды диспетчеризации.

Описание модема G2-BASE-200

Магистральный широкополосный PLC-модем(роутер) G2-BASE-200 представляет собой головное устройство для приема/передачи данных: по электросети через специальные фильтры или устройства присоединения (0,4, 6-10, 35 кВ); по коаксиальным линиям (СТВ) и другим типам проводов. Используется в качестве головного-магистрального модема в ТП, РУ для систем АИИС КУЭ и АСУТП, а также в провайдерских сетях передачи данных, в том числе в качестве Ethernet-моста как оптический медиа конвертор. Совместим со всеми устройствами маркировки BUS.

Описание фильтра «Гиперком d40 и d60» Российского производства, предприятия «Гиперком» г.Волжский.

Ёмкостное устройство присоединения, предназначенное для подключения PLC модема G2-BASE-200, к электросети 0,4 кВ. Тип установки: на DIN-рейку в помещениях или в шкафу уличного исполнения. Номинальное напряжение: 0,4 кВ; габаритные размеры: 70х90х55 мм; масса: не более 0,2 кг. Полоса частот указывается при заказе: узкая полоса 40-500 кГц или широкая полоса 2-40 МГц.

В ходе испытаний в лаборатории предприятия «Гиперком», были исследованы на совместимость, а так же определены показатели средней скорости передачи данных фильтров используемых совместно с модемом G2-BASE-200

Таблица 1 – Результаты испытаний модема G2-BASE-200 с фильтрами «Гиперком» d40 и d60

Тип индуктивного фильтра	Номер попытки	Интервал	Трансфер	Скорость передачи данных	Примечание
Фильтр №1 «Гиперком d60» - (Модем G2-BASE-200)	№1	0-10,2 с	10 Мбайт	8,25 Мбит/с	Через 1 мин
	№2	0-10,2 с	9,38 Мбайт	7,74 Мбит/с	Через 2 мин
	№3	0-10,2 с	8,75 Мбайт	7,21 Мбит/с	Через 3 мин
	№4	0-10,2 с	8,75 Мбайт	7,22 Мбит/с	Через 4 мин
	№5	0-10,2 с	8,75 Мбайт	7,21 Мбит/с	Через 5 мин
Фильтр №2 «Гиперком d40» (Модем G2-BASE-200)	№1	0-10,2 с	8,88 Мбайт	7,31 Мбит/с	Через 1 мин
	№2	0-10,2 с	10,4 Мбайт	8,54 Мбит/с	Через 2 мин
	№3	0-10,2 с	10,4 Мбайт	8,49 Мбит/с	Через 3 мин
	№4	0-10,2 с	10,2 Мбайт	8,43 Мбит/с	Через 4 мин
	№5	0-10,2 с	10,2 Мбайт	8,47 Мбит/с	Через 5 мин

В (Таб.1) описывается ход испытания в котором были выявлены следующие показатели передачи данных, в условиях горной добычи или иных предприятий:

1. Средняя скорость передачи данных комбинации Фильтр «Гиперком d60» с модемом G2-BASE-200 равна 7,526 Мбит/с.

2. Средняя скорость передачи данных комбинации Фильтр «Гиперком d40» с модемом G2-BASE-200 равна 8,248 Мбит/с.

Добавим, что во время измерений оборудование не заземлялось. Тип используемого кабеля - силовой питающий предприятие. От длины кабеля может колебаться скорость передачи и приема данных модемом. Дистанция взятая в данном исследовании была равна 300 м (с изгибом).

Испытание модема G2-BASE-200 на показатели термоустойчивости

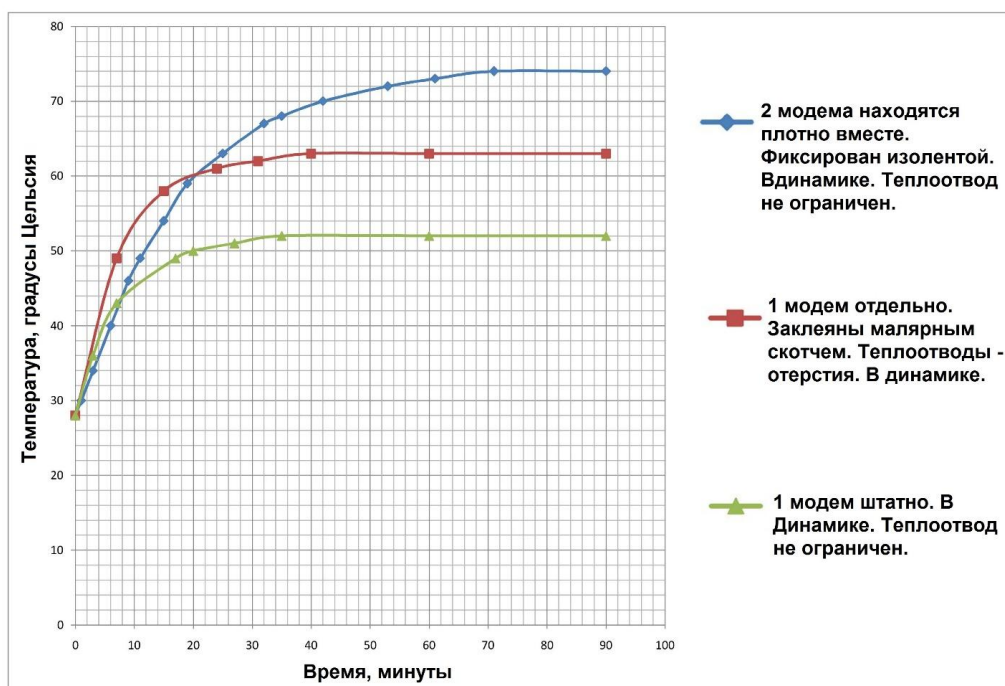


Рис. 1 – График термоустойчивости Модемов G2-BASE-200

При построении систем передачи данных по электрическим сетям большую роль играет правильная установка оборудования, необходим правильный способ установки модемов с фильтрами дабы избежать быстрого нагревания модемов. В ходе испытаний модема G2-BASE-200, было выявлено оптимальное решение по установке модема, результаты испытаний приведены на (Граф. 3)

В результате испытаний модема G2-BASE-200 на совместимость с фильтрами «Гиперком d60» и «Гиперком d40», а также определение оптимальных вариантов термоустойчивой установки, позволяют говорить о том, что данный способ подключения к высоковольтной сети и передача по этой сети информации является актуальным и имеющим под собой приведенные выше положительные результаты способом. На основании полученных данных авторами статьи было установлено:

1. Средняя (рабочая) скорость передачи данных модема G2-BASE-200 совместно с фильтром присоединения «Гиперком d60» в паре с «Гиперком d40».

2. Оптимальный – термоустойчивый способ установки оборудования.

Данные полученные в ходе исследования будут использоваться для создания прибора в области шумоподавления сигналов в технологиях PLC.

Список литературы / References

1. Охрименко В.Ю. Широкополосная PLC технология: проблемы и решения [Текст] / В.Ю. Охрименко // Электронные компоненты. 2010. – № 1. – С. 43–49.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
3. Современные технологии промышленной автоматизации: учебник / О. В. Шишов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 273 с. ISBN 5-7103-1123-5

Список литературы на английском языке / References in English

1. Okhrimenko V.Y. Shirokopolosnaja PLC tehnologija: problemy i reshenija [Broadband PLC tehnologiya: problems and solutions] [Text] / VJ Okhrimenko // Electronic Components. 2010. - № 1. - P. 43-49. [in Russian]
2. Sergienko A. B. Cifrovaja obrabotka signalov [Digital signal processing] [Text] / A.B Sergienko. - SPb .: Peter, 2002. – 608 p.
3. Sovremennye tehnologii promyshlennoj avtomatizacii: uchebnik [Modern industrial automation technology: textbook] / O.V. SHishov. – Saransk: Publishing House of the muzzle. University Press, 2007. - 273 p. ISBN 5-7103-1123-5

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.212

Тихомиров Д.А.¹, Дудин С.Н.², Трунов С.С.³

¹ORCID: 0000-0002-3526-4474, Доктор технических наук,

²ORCID: 0000-0002-7339-4229, аспирант,

³кандидат технических наук,

Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ С АККУМУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ

Аннотация

С ростом тарифов на электроэнергию актуальным становится применение установок с аккумуляцией теплоты, способных работать по дифференцированному тарифу учета электроэнергии. В статье рассмотрена конструкция электрического отопительного прибора с аккумуляцией теплоты для животноводческих помещений и представлены основные положения методики его теплового расчета.

Ключевые слова: животноводство, микроклимат, отопительный прибор, теплоаккумулятор, обогрев животных, теплоаккумулирующий сердечник, электроэнергия.

Tihomirov D.A.¹, Dudin S.N.², Trunov S.S.³

¹ORCID: 0000-0002-3526-4474, PhD in Engineering,

²ORCID: 0000-0002-7339-4229, Postgraduate student,

³PhD in Engineering,

All-Russian Institute of electrification of agriculture

ELECTRIC HEATER FOR LIVESTOCK BUILDINGS WITH ACCUMULATION OF HEAT

Abstract

With the increase in electricity tariffs is becoming topical application of plants with the accumulation of heat, capable of operating according to the differentiated rate of energy accounting. The article examined the design of the electrical heating appliance with accumulate heat for livestock buildings and presented the main provisions of the methodology of thermal calculation.

Keywords: livestock, microclimate, heater, storage tank, service animal, heat storage core, electrical energy.

В сельскохозяйственном производстве имеется ряд энергоёмких технологий и процессов, которые во многом определяют общие затраты энергии на производство продукции и им в первую очередь должно быть уделено особое внимание в плане повышения эффективности использования энергоносителей. К таким технологиям и процессам относится и обеспечение микроклимата в животноводческих помещениях [1].

Мероприятия, способствующие заполнению “ночных провалов” суточного графика потребления электроэнергии, становятся всё более актуальными, в частности организация производства и применения аккумуляционных систем для нагрева воздуха [2].

Предпосылками этого служат следующие технико-экономические факторы:

- ограничение в ближайшей перспективе возможности подключения к электрическим сетям электротепловых приборов, работающих по свободному графику – с участием в суточных максимумах нагрузки систем электро-теплоснабжения;
- огромные резервы внепиковой мощности в энергосистемах страны, обусловленные ночными провалами в графике электрической нагрузки, составляющими 40-60% от максимальной в течение 6-8 ч.;
- возрастающая заинтересованность энергосистем в использовании потребителей – регуляторов, в том числе бытовых и сельскохозяйственных-регуляторов электрической нагрузки;
- соответствующая этому политика дифференцирования тарифов на электроэнергию в течение суток.

С ростом тарифов на электроэнергию актуальной становится разработка установок, позволяющих снизить затраты на электроэнергию, потребляемую в технологических процессах.

Однако до настоящего времени отсутствовали эффективные отопительные приборы с аккумуляцией теплоты, которые можно было бы применить в животноводческих помещениях.

Нами разработан теплоаккумуляционный электроотопительный прибор для животноводческих помещений (рис. 1), в котором помимо теплоаккумулирующего сердечника с установленными электрическими нагревательными элементами (ТЭН), установлен электроконвектор прямого нагрева с оребренными ТЭНами (рис. 2), позволяющий поддерживать необходимую температуру в отапливаемом помещении в режиме “зарядки” прибора. Технические параметры приведены в (табл. 1) [3].



Рис. 1 – Теплоаккумуляционный электроотопительный прибор для животноводческих помещений



Рис. 2 – Электроконвектор прямого нагрева

Таблица 1 – Технические параметры прибора

Параметр	Единица измерения	Значение
Напряжение питания	В	380
Мощность теплоаккумулирующего сердечника	кВт	4,8
Мощность электроконвектора прямого нагрева	кВт	1,6
Время зарядки	ч	4
Время разрядки	ч	4-8
Масса установки	кг	200

Прибор имеет хорошую аэродинамику, поскольку центр нагрева теплоаккумулирующего сердечника и электроконвектора прямого нагрева расположены ниже центра охлаждения. Это важно, поскольку улучшается тяга, способствующая лучшему обдуву теплоаккумулирующего сердечника и электроконвектора.

Для определения основных теплоэнергетических и конструктивных параметров теплоаккумуляционного прибора проводят тепловой расчет [4].

Ниже приводятся основные положения и пример теплового расчёта теплоаккумулятора [5]. Во время зарядки обогрев помещения при необходимости осуществляется встроенным электроконвектором прямого нагрева.

Исходными данными для расчета являются тепловая нагрузка отапливаемого помещения, а также материал теплоаккумулирующего сердечника.

В качестве материала для изготовления теплоаккумулирующего сердечника выбран огнеупорный материал хромомagneзит. Эффективным и перспективным материалом для теплоизоляции является суперизол, выполненный в виде теплоизоляционных плит.

Одним из основных параметров отопительного прибора является объём теплоаккумулирующего сердечника V_c , который определяется из уравнения теплового баланса:

$$3600 P_{\text{пол}} \tau_p = V_c \rho_m c_m (t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) \quad (1)$$

где $P_{\text{пол}}$ – полезная (отдаваемая) мощность электронагревательного прибора, Вт; τ_p – время разрядки теплоаккумулирующего сердечника, ч; ρ_m – плотность материала сердечника, кг/м³; c_m – удельная теплоёмкость материала сердечника, Дж/кг °С; t_{max} – температура теплоаккумулирующего сердечника в конце зарядки, °С; t_{min} – температура теплоаккумулирующего сердечника в конце разрядки, °С;

Исходя из уравнения (1) определяют объём теплоаккумулирующего сердечника:

$$V_c = 3600 P_{\text{пол}} \tau_p / \rho_m c_m (t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) \quad (2)$$

На основании опыта проектирования аккумуляционных электроотопительных установок объём прибора V_n определяют из ориентировочного соотношения:

$$V_n = (1,8-2,0) V_c \quad (3)$$

Используя полученное значение V_n , по конструктивным соображениям выбирают соотношения между длиной, шириной и высотой отопительного прибора.

Выбранные конструктивные параметры установки позволяют определить площадь наружной поверхности $F_{\text{нар}}$ прибора.

Максимальная температура наружной поверхности прибора при завершении процесса «зарядки» $t_{\text{max}}^{\text{нар}}$, при завершении процесса разрядки $t_{\text{min}}^{\text{нар}}$.

В виду того, что в начале цикла нагрева потери тепла практически отсутствуют, то среднее в течение процесса зарядки значение мощности тепловых потерь отопительным прибором в окружающее пространство $P_{\text{пот}}$ рассчитывают для температуры $t_{\text{нар}}$ по формуле:

$$P_{\text{пот}} = k_3 \alpha_{\text{нар}} F_{\text{нар}} (t_{\text{нар}} - t_0), \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{нар}}$ – коэффициент теплоотдачи от наружных поверхностей отопительного прибора к окружающему пространству (помещению), Вт/м² °С; t_0 – температура помещения, °С; k_3 – коэффициент запаса, принимается в диапазоне 1,1-1,3;

$$t_{\text{нар}} = (t_{\text{max}}^{\text{нар}} + t_{\text{min}}^{\text{нар}}) / 2 \quad (5)$$

Тепловые потери, связанные с излучением теплоотдающей поверхности составляют менее 5%, в дальнейших расчетах их не учитывают.

К основным конструктивным параметрам аккумуляционного отопительного прибора относится также толщина теплоизоляционного слоя $\delta_{\text{ф}}$. Для определения величины $\delta_{\text{ф}}$ следует исходить из общих положений теории теплопроводности, рассматривая теплоизоляцию как однослойную плоскую стенку. В этом случае необходимую толщину стенки теплоизоляционного слоя, при которой тепловые потери прибора будут соответствовать $P_{\text{пот}}$, определяют из уравнения:

$$\delta_{\text{ф}} = P_{\text{пот}} / [\sigma_{\text{ф}} F_{\text{ср}} (t^1 - t_{\text{max}}^{\text{нар}})], \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{ф}}$ – коэффициент теплопроводности материала футеровки, Дж/м °С; t^1 – температура внутреннего слоя футеровки к завершению процесса зарядки, °С; $F_{\text{ср}}$ – средняя площадь поверхности футеровки, м²;

$$F_{\text{ср}} = (F_{\text{вн}} + F_{\text{нар}}) / 2; \quad (7)$$

где $F_{\text{нар}}$ – площадь наружной поверхности футеровки, м²; $F_{\text{вн}}$ – площадь внутренней поверхности футеровки, м²;

После того, как определена мощность тепловых потерь и толщина тепловой изоляции определяют установленную мощность $P_{\text{уст}}$ электронагревательных электрических элементов теплоаккумулирующего сердечника.

$$P_{\text{уст}} = k_3 P_{\text{пол}} \frac{\tau_p}{\tau_z} + P_{\text{пот}}, \quad (8)$$

где κ_3 – коэффициент запаса мощности, учитывающий старение нагревательных элементов, возможность снижения питающего напряжения и т.д., ($\kappa_3=1,1-1,2$); τ_z – продолжительность периода зарядки теплоаккумулирующего сердечника, ч; τ_p – продолжительность процесса разрядки теплоаккумулирующего сердечника, ч;

Мощность, затрачиваемая на нагрев теплоаккумулирующего сердечника, определяется по формуле:

$$P_c = P_{уст} / \kappa_3 \cdot P_{пот.} \quad (9)$$

Например, для помещения профилактория на 5 телят фермы КРС на 200 голов с расчетной тепловой нагрузкой 4 кВт мощность электрических нагревательных элементов установленных в теплоаккумулирующем сердечнике составляет 4,8 кВт.

В конструкции прибора впервые применена двухуровневая схема эффективного теплообеспечения животноводческих помещений [6], обоснованы электротепловые и конструкционные параметры.

Применение данной установки обеспечивает снижение затрат на оплату электроэнергии при работе по дифференцированному тарифу до 40%. Снижение приведенных затрат составляет 20%.

Список литературы/ References

1. Дудин С.Н., Тихомиров Д.А. Устройства аккумуляционного типа для нагрева воздуха // Вестник ВИЭСХ. 2012. Т. 3. №-8. С. 73-74.
2. Дудин С.Н., Тихомиров Д.А., Трунов С.С. Энергоэффективный электроприбор для отопления помещений сельскохозяйственного назначения с аккумуляцией тепла // Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 4(9). С. 103-106.
3. Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Дудин С.Н. Электроотопительный прибор с аккумуляцией тепла для помещений сельскохозяйственного назначения // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 11-2 (30). С. 72-73.
4. Трунов С.С., Растимешин С.А. Основы расчёта электроотопительного прибора с АТ // Вестник ВИЭСХ. 2015. № 2(19).
5. Каган Н.Б., Кауфман В.Г., Пронько М.Б., Яневский Г.Д. Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства. - М.: Энергия. 1980. С. 192.
6. Пат. 151036 Российская Федерация. Электроотопительный прибор с аккумуляцией тепла. Оpubл. 11.02.2015.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dudin S.N., Tihomirov D.A. Ustrojstva akumuljacionnogo tipa dlja nagreva vozduha [Devices of the accumulation type air heating] // Vestnik VIJeSH [Buletin of VIJeSH]. 2012. – V. 3. – №-8. – P. 73-74. [in Russian]
2. Dudin S.N., Tihomirov D.A., Trunov S.S. Jenergoeffektivnyj jelektroprigor dlja otoplenija pomeshhenij sel'skohozajstvennogo naznachenija s akumuljaciej tepla [Energy-efficient electrical appliances for space heating of agricultural purpose with heat accumulation] // Innovacii v sel'skom hozjajstve [Innovations in agriculture]. 2014. № 4(9). P. 103-106. [in Russian]
3. Trunov S.S., Tihomirov D.A., Dudin S.N. Jelektrotopitel'nyj prigor s akumuljaciej tepla dlja pomeshhenij sel'skoho-zhajstvennogo naznachenija [Electro-heating unit with heat accumulation for areas of agricultural purpose] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. 2014. № 11-2 (30). P. 72-73. [in Russian]
4. Trunov S.S., Rastimeshin S.A. Osnovy raschjota jelektrotopi-tel'nogo pribora s AT [Fundamentals of calculation electrotopitel'nogo device with AT] // Vestnik VIJeSH [Buletin of VIJeSH]. – 2015. – № 2(19). [in Russian]
5. Kagan N.B., Kaufman V.G., Pron'ko M.B., Janevskij G.D. Jelek-trotermicheskoe oborudovanie dlja sel'skohozajstvennogo proizvodstva [Thermal-electric equipment for agricultural production]. - M.: Jenergiya. 1980. P. 192.
6. Pat. 151036 Rossijskaja Federacija. Jelektrotopitel'nyj prigor s akumuljaciej tepla. Opubl. 11.02.2015 [Pat. 151036 Russian Federation. Elektrotopitelny unit with heat accumulation. Publ. 02/11/2015.]. [in Russian]

«Международный научно-исследовательский журнал» включен в систему **OpenAIRE**.

OpenAIRE — европейская поисковая система по академическим материалам открытого доступа. Один из главнейших репозиториев научной информации в Европейском Союзе. Данная база позволяет увеличить цитируемость Ваших материалов в Европе.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.135

Углев Н.П.¹, Пойлов В.З.², Дьяков М.С.³, Новокрещенных Е.Н.⁴¹Кандидат химических наук, доцент,²доктор технических наук, профессор,³кандидат технических наук, доцент, ⁴студент,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ)

РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ КЕРАМИК**Аннотация**

Прецизионное литьё деталей сложной конфигурации из жаростойких сплавов авиационного назначения в керамические оболочки в настоящее время является основным способом их производства. К физико-химическим и механическим свойствам керамических оболочек предъявляется ряд требований, одним из которых является механическая прочность, как в «сыром», так и в обожженном виде, зависящая от характеристик неорганических компонентов и синтетических клеев на основе органических полимеров, вводимых для управления прочностью «сырой» керамики. Выбор полимера и его количества в исходной водной керамической суспензии обычно проводится на основании исследования механической прочности стандартным методом трёхточечной нагрузки, который, в свою очередь, характеризуется значительной трудоёмкостью и длительностью подготовки образцов. В представленной работе показано, что для исследования «сырой» прочности керамик возможно использовать менее трудоёмкий экспресс-метод исследования механической прочности, включающий изготовление керамических таблеток определённого размера и проведения статистических измерений их прочности на стандартном приборе ИПГ-1М (измеритель прочности гранул ИПГ-1М).

Ключевые слова: керамика, керамическая оболочка, прецизионное литьё, кремнезём, коллоидная система, стабилизаторы суспензий, механическая прочность, экспресс-метод, керамическая суспензия.

Uglev N.P.¹, Poilov V.Z.², Dyakov M.S.³, Novokreschennyih E.N.⁴¹PhD in Chemistry, Associate professor, ²PhD in Engineering, Professor,³PhD in Engineering, Associate professor, ⁴student,

Federal state budgeted educational institution of high education

“Perm National Research Polytechnic University” (PNRPU)

РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ КЕРАМИК**Abstract**

Precision casting parts of complex configuration of heat-resistant alloys for aviation applications in the ceramic shell is currently the main method of their production. To physico-chemical and mechanical properties of ceramic membranes has several requirements, one of which is mechanical strength, both in raw and in calcined form, dependent on the characteristics of inorganic components and synthetic adhesives based on organic polymers are introduced to control the strength of the raw ceramic. The choice of polymer and its amount in the source water ceramic slurry is usually done on the basis of studies of mechanical strength the standard method of three-point loading, which, in turn, is characterized by considerable complexity and duration of sample preparation. In the presented work it is shown that for research of "raw" strength ceramics, it is possible to use less labour-intensive rapid method of investigation of the mechanical strength, including manufacturing of ceramic pellets of a certain size and statistical measurements of their strength on the standard device IPG-1M (measuring the strength of granules IPG-1M).

Keywords: ceramic, ceramic coated, precision moulding, silica, colloidal system, suspension stabilizer, mechanical strength, proximate method, ceramic suspension.

Введение. Изготовление металлических деталей сложной конфигурации, имеющих полузакрытые внутренние полости со специфической топологией, в основном выполняется методом прецизионного литья в керамические оболочки (КО). К таким объектам относятся, например, лопатки турбореактивных двигателей, выполняемые из многокомпонентных высокотемпературных сплавов специального назначения. Материалом для изготовления КО, предназначенных для литья высокотемпературных металлов, является керамика, представляющая собой смесь порошков из оксидов металлов, объединённых практически в сплошную фазу за счёт химических связей, возникших после спекания частиц оксидов в присутствии связующего при высокой температуре. Достаточно часто в качестве химических компонентов керамик используются диоксид кремния (кремнезём), и оксид алюминия (корунд). Очевидно, что наиболее плотное заполнение геометрического объёма, обеспечивающее наибольшее количество гетерогенных контактов, возможно только при определенном распределении частиц по размеру и правильном соотношении объёмных долей частиц каждого размера в общем объёме материала, а также долей выбранных химических компонентов. Большое значение, также, имеет равномерность распределения частиц и компонентов в объёме, что обеспечивается условием и временем перемешивания исходной керамической суспензии, или способом компаундирования керамической оболочки. В связи с этим, в составе керамики должны быть частицы широкого спектра - начиная от нано размеров, и заканчивая микронными размерами. Серьёзной проблемой является создание и сохранение самых мелких частиц нанометрового диапазона. Эта задача решается за счёт приготовления и хранения их в виде коллоидного раствора, например, кремнезёма. Опытным путём было установлено, что оптимальным диапазоном размеров этих частиц является 9-15 нм. Водно-коллоидные системы подобной размерности, хотя и характеризуются значительной устойчивостью, однако длительность их существования недостаточна для реализации непрерывных технологических циклов, для которых «время живучести» должно составлять не менее одного года

[1-3]. Стабилизация этих систем достигается за счёт введения в их состав некоторых неорганических или органических соединений. Одновременно со стабилизацией коллоида в состав раствора вводятся органические соединения, способные придать начальную прочность высушенной, но ещё необожжённой КО, чаще всего это водорастворимые клеи. Для предотвращения биологической активности в раствор вводятся, также, биоцидные добавки, которые не должны химически взаимодействовать с компонентами смеси. В составе такого «базового связующего» в обязательном порядке должны быть предусмотрены вещества - «смачиватели», обеспечивающие равномерность и полноту покрытия поверхности восковой модели, а также «пеногасители», вводимые с той же целью. Указанные добавки влияют на конечные характеристики КО и в частности на механические свойства, как в «сыром», так и в обожжённом виде. Выбор добавок и количества вводимых компонентов в исходную водную керамическую суспензию обычно проводится на основании исследования механической прочности «сырой» (т.е. необожжённой) и обожжённой КО. Керамическая оболочка сушится на восковой модели, после чего последняя должна быть удалена методом выплавки при нагреве водяным паром. При этом, из-за расширения воска при плавлении, в КО возникает внутреннее давление, которое может разорвать оболочку изнутри. Содержание органических компонентов в составе «сырой» КО ограничено, поскольку при обжиге формы и разложении их на газовые составляющие, форма может быть механически повреждена даже при медленном прогреве. Коксовые отложения внутри КО также нежелательны в связи с возможным механическим ослаблением композитного материала. Однако, «сырая» КО должна иметь достаточную прочность, чтобы благополучно пережить процедуру выплавки восковой модели.

Механическая прочность керамики оболочек может быть исследована различными методами, одним из которых является так называемый метод трёхточечного нагружения. Для измерения прочности по этому методу и учета статистического разброса результатов измерения, необходимо исследовать достаточно большое количество строго одинаковых стандартных образцов, представляющих собой, например, трубчатые элементы длиной 100-150 мм, диаметром 25-30 мм, которые получают по вышеописанной технологии изготовления КО. Цикл изготовления КО составляет 4-6 суток, в связи с чем поиск наиболее удачного сочетания компонентов связующего (число которых в одном составе, может составлять 4-5 при возможном выборе для каждого до 10 и более вариантов) и их оптимального количества, может занять несколько лет. В связи с этим, разработка экспресс-метода оценки состава связующего по параметру прочности является актуальной. В представленной работе показано, что для исследования «сырой» прочности керамики можно использовать менее трудоёмкий экспресс-метод исследования механической прочности, включающий изготовление и сушку керамических таблеток определённого размера, и проведение статистических измерений их прочности на стандартном приборе ИПГ-1М, что ускоряет процедуру выбора вводимых в керамические суспензии добавок.

Экспериментальные результаты. Исследования характеристик механической прочности «сырой» керамики проводили с использованием в качестве связующих кремнезоль Лэйксил 40 (с размером мицелл 13,24 нм), и Лэйксил 30 (с размером мицелл 10,00 нм) производства ООО "НТЦ "КОМПАС", г. Казань, обеспечивающих необходимую стабильность и вязкость керамических суспензий и достаточную прочность необожжённой керамики. Состав неорганической составляющей керамики, получаемой при использовании различных вариантов и количеств органических компонентов, во всех экспериментах был постоянным. Определение механической прочности высушенной керамики проводили по разработанной методике, основанной на измерении прочности керамических таблеток. Суспензия для получения таблеток состояла из связующего и наполнителей – электрокорунд и дистенсиллиманит КДСП, а также полимеров для повышения прочности «сырой» КО (модифицированных крахмалов, марки 1 и 2). Для получения керамических таблеток использовали фторопластовую форму (рис. 1), куда заливали керамическую суспензию, и в которой таблетки предварительно просушивали при комнатной температуре в течение 2 суток. Окончательную сушку таблеток проводили в муфельной печи в течение 10 минут при температуре 190⁰С, гарантирующей отсутствие термического разрушения органических соединений.

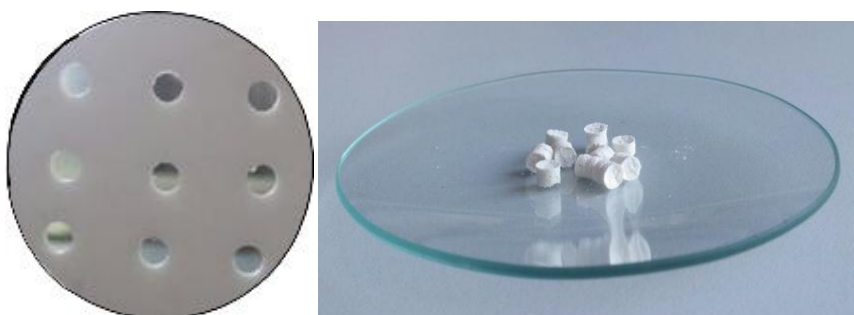


Рис. 1 – Фторопластовая форма и керамические таблетки

Измерения прочности керамических таблеток проводили на приборе ИПГ-1М. Результаты измерений прочности керамических таблеток, изготовленных на основе коллоидных систем Лэйксил-30 и Лэйксил-40 с добавками модифицированных крахмалов (1) (2) приведены в таблицах 1-3. Специальные калибровочные эксперименты при параллельных исследованиях прочности керамики предлагаемым и стандартным методами позволяют, при необходимости, определить коэффициенты взаимного пересчета результатов [4,5].

Таблица 1 – Прочность керамических таблеток, изготовленных на основе коллоидной системы Лэйксил-40 с размером мицелл 13.24 нм и добавкой модифицированного крахмала (1), при доверительной вероятности 95%

Содержание крахмала в исходной керамической суспензии, %	Прочность таблеток, Н										Среднее значение прочности, Н
1,0	31,8	24,7	24,7	29,3	30,7	22,2	31,8	35,3			28,1±4,5
2,0	21,6	39,2	40,4	35,0	40,9	27,8	45,8	24,1	39,8	33,0	33,8±9,8
	25,6	35,2	27,3	26,7	44,4	47,2	19,3	33,0	23,0	58,6	
	33,0	27,8									
3,0	60,9	36,7	48,3	52,0	40,1	42,1	36,1	49,5	39,8	25,3	42,7±8,6
	42,9	41,8	52,9	32,4	38,4	40,6	44,6	54,3	31,3	62,3	
	41,2	37,8	39,5	38,9	39,8	41,8					
5,0	29,5	21,6	19,3	25,6	16,2	24,7	16,7	19	19	24,7	21,0±4,2
	16,7	18,4									
7,0	25,6	11,3	24,1	11,0	24,05						19,2±7,4

Таблица 2 – Прочность керамических таблеток, изготовленных на основе коллоидной системы Лэйксил-30 с размером мицелл 10 нм и добавкой модифицированного крахмала (1), при доверительной вероятности 95%

Содержание крахмала (1) в исходной керамической суспензии, %	Прочность гранул, Н										Среднее значение прочности, Н
1%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2%	11,9	15,0	15,3	22,7	20,2	22,7	16,7	21,0	10,5	11,0	16,1±4,6
	10,5										
3%	17,3	15,6	14,5	17,0	16,4	14,7	14,7	18,4	15,6	19,0	15,8±2,9
	12,7	21,6	13,6	9,3							
5%	18,7	38,4	30,4	27,5	26,7	13,9	29,8	11,0	31,5	38,6	26,8±11,0
	13,9	17,6	48,6	21	44,4	17,6	28,4	15,9	41,2	20,2	
7%	37,5	44,9	34,7	22,4	41,2	20,2	43,2	42,1	33,8	35,5	36,0±6,6
	37,2	41,5	39,8	30,7	30,4	36,7	42,6	33,3			

Таблица 3 – Прочность керамических таблеток, изготовленных на основе коллоидной системы Лэйксил-40 с размером мицелл 14 нм и добавкой модифицированного крахмала (2), при доверительной вероятности 95%

Содержание крахмала (2) в исходной керамической суспензии, %	Прочность таблеток, Н										Среднее значение прочности, Н
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,0	13,9	12,5	18,2	13,9							14,62±2,5
3,0	10,2	9,3	13,6	15,3	14,5	9,9	11,9	10,2	12,5		11,9±2,2

Таблица 4 – Влияние добавок смачивателя (Неонол АФ 9-6) на механическую прочность керамических таблеток на основе Лэйксил 40, модифицированного крахмала (1) и стабилизирующего полимера

Содержание Неонола 9-6 в составе	Прочность таблеток, Н										Среднее значение прочности, Н
0	25,8	29,8	14,7	24,1	26,1	27,5	36,7	22,7	17,6		25,0
20 ppm	32,1	24,4	21,3	16,7	17,0	14,2					18,7

Обсуждение полученных результатов. Исследования трёх составов керамики позволили установить, что размер коллоидных частиц в исходном базовом коллоидном растворе оказывает существенное влияние на прочность «сырой» керамики - при диаметре мицелл 13,24 нм прочность материала практически в два раза выше, чем при мицеллах с диаметром 10,0 нм. Существует и обратная закономерность-существенное влияние на прочность керамики, и характер зависимости оказывает и тип применяемого полимера. Так при использовании коллоидной системы Лэйксил 40 прочность керамики с добавками модифицированного крахмала (1) значительно (в два раза) больше, чем при использовании модифицированного крахмала (2). Существенное влияние на прочность керамики оказывают и другие добавки, в частности, «смачиватель» Неонол АФ 9-6 (табл.4). Таким образом, измерения показали, что параметрическая чувствительность методики достаточна для исследования закономерностей, сравнения и выбора полимерной добавки, В связи с этим, мы считаем, что существование максимума прочности керамики в системе

Лэйксил 40 – KLEO (табл. 1) в области 3% масс, последнего, и дальнейшее снижение прочности при увеличении концентрации клея - является вполне вероятным, и может быть связано с избыточной многослойной адсорбцией молекул полимера на поверхности наполнителя при высоких концентрациях клея.

Выводы:

1. Апробированный экспресс-метод определения механической прочности керамических материалов, включающий изготовление и сушку керамических таблеток определенного размера, и проведение статистических измерений их прочности на стандартном приборе ИПГ-1М, обладает достаточной чувствительностью для сравнительной оценки влияния состава керамики на этот параметр.

2. Измерения механической прочности «сырой» керамики с использованием предложенного экспресс-метода показали, что этот показатель существенно зависит от размера частиц исходной коллоидной системы, от типа вводимого модифицированного крахмала, его количества и наличия других органических соединений.

3. Предложенный экспресс-метод определения механической прочности «сырых» керамических материалов позволяет существенно ускорить процедуру выбора наиболее эффективных добавок, упрочняющих КО, а также процедуру оценки влияния на прочность вводимых в керамические суспензии смачивателей, пеногасителей, стабилизаторов и бактерицидных компонентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор от "27" апреля 2016 г. № 02.G25.31.0188) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства".

Список литературы/ References

1. Борсук П.А. Жидкие самотвердеющие смеси / П.А. Борсук, А.М. Лясс – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с
2. Иванов В.Н. Литье по выплавляемым моделям / В.Н. Волков, С.А. Казеннов, Б.С. Курчман, Н.Н. Лященко, Г.К. Милицын, В.А. Озеров, И.Б. Сокол, М.Я. Телис, Я.И. Шкленник; под общ. ред. Шкленника Я.И., Озерова В.А. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.
3. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям / С. И. Репях. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.
4. Углев Н.П., Пойлов В.З., Шилов А.В., Звездин В.Л., Мерзляков К.С., Ордин Д.А. и др. Термомеханические свойства керамик для литья по выплавляемым моделям // Литейное производство. 2014. №5. С. 16-20.
5. Углев Н.П., Пойлов В.З., Карманов В.В., Шилов А.В., Звездин В.Л., Мерзляков К.С., Ордин Д.А. и др. Влияние технологических параметров сырья на механические свойства керамик // Стекло и керамика. 2016. №6. С. 15-21.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Borsuk P.A. Zhidkie samotverdeyushchie smesi [Liquid self-hardening mixture] / P.A. Borsuk, A.M. Lyass – М.: Mashinostroenie, 1979. – 255 p. [in Russian]
2. Ivanov V.N. Lite po vyiplavlyayemyim modelyam [Lost Wax Casting] / V.N. Ivaniv, S.A. Kazennov, B.S. Kurchman, N.N. Lyaschenko, G.K. Militysin, V.A. Ozerov, I.B. Sokol, M.Ya. Telis, Ya.I. Shklennik; edited by Shklennika Ya.I., Ozerova V.A. - 3-d edition. - М.: Mashinostroenie, 1984. – 408 p. [in Russian]
3. Repyah S.I. Tehnologicheskie osnovyi litya po vyiplavlyayemyim modelyam [Technological basics of casting, investment casting] / S.I. Repyah. – Dnepropetrovsk: Lira, 2006. – 1056 p. [in Russian]
4. Uglev N.P., Poilov V.Z., Shilov A.V., Zvezdin V.L., Merzlyakov K.S., Ordin D.A. and others. Termomechanicheskie svoystva keramik dlya litya po vyiplavlyayemyim modelyam [Thermomechanical Properties of Ceramics for Investment Casting] // Liteynoe proizvodstvo. 2014. №5. P. 16-20. [in Russian]
5. Uglev N.P., Poilov V.Z., Karmanov V.V., Shilov A.V., Zvezdin V.L., Merzlyakov K.S., Ordin D.A. and others. Vliyanie tehnologicheskikh parametrov syirya na mehanicheskie svoystva keramik [The influence of raw materials technological features on physico-mechanical behaviour of ceramics] // Steklo i keramika [Glass and Ceramics]. 2016. №5. P. 15-21. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.221

Федосеев В.Н.¹, Зайцева И.А.², Андреева О.Р.³, Острыкова Ю.Е.⁴, Целовальникова Н.В.⁵¹ORCID: 0000-0002-2225-0962, Доктор технических наук,²ORCID: 0000-0002-1416-3666, Кандидат экономических наук,³ORCID: 0000-0002-7865-0762, Кандидат экономических наук,⁴ORCID: 0000-0002-8863-6059, Кандидат экономических наук,⁵Кандидат технических наук,

Ивановский государственный политехнический университет

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА ФРЕОНЕ**Аннотация**

В статье представлены результаты научных расчетов по технико-экономическому обоснованию выбора наиболее энергоэффективного вида фреона, используемого в воздушных тепловых насосах, применяемых для отопления помещений. Стабильная работа и высокая эффективность теплового насоса с конкретными параметрами обеспечивается благодаря свойствам термодинамической активности фреонов. В статье приведен графический метод расчета коэффициента эффективности преобразования (COP) на основе построения термодинамических диаграмм $i - \lg P$ (удельная энтальпия-давление) хладагентов. Значение коэффициента эффективности преобразования (COP) позволяет определить наиболее экономически выгодный вид рабочего тела.

Ключевые слова: воздушный тепловой насос, фреон, коэффициент эффективности преобразования

Fedoseev V. N., Zaitseva I. A., Andreeva O. R., Ostryakova Yu. E., Tselovalnikova N. V.

¹ORCID: 0000-0002-1416-3666, PhD in Engineering,²ORCID: 0000-0002-1416-3666, PhD in Economics,³ORCID: 0000-0002-7865-0762, PhD in Economics,⁴ORCID: 0000-0002-8863-6059, PhD in Economics,⁵PhD in Engineering,

Ivanovo State Polytechnical University

ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF WORK OF AIR HEAT PUMPS FREON**Abstract**

The article presents the results of scientific calculations on the feasibility study to select the most energy-efficient type of refrigerant used in air heat pumps used for heating. Stable operation and high efficiency heat pump with specific parameters provided by the properties of thermodynamic activity of freons. The article presents the graphical method of calculation of coefficient of performance (COP) based on the construction of thermodynamic charts $i - \lg P$ (specific enthalpy-pressure) refrigerants. The coefficient of performance (COP) to determine the most cost-effective form of working freon.

Keywords: air heat pump, freon, the coefficient of performance (COP)

Известно, что для действия теплового насоса с замкнутым циклом сжатия и обеспечения его эффективной и экономически выгодной работы требуется рабочая жидкость. К таким жидкостям относятся хладоны, фреоны, хладагенты. Рабочие жидкости обеспечивают стабильную работу и высокую эффективность теплового насоса с конкретными параметрами.

К наиболее известным и распространенным рабочим жидкостям, применяемым в тепловых насосах для обогрева при строительстве небольших производственных и жилых помещений, относятся следующие: R12, R22, R134, R404, R410, R507.

Из них R12, R22 – хлорфторуглероды (CFC – 12) и (HCFC -22); (R-12 – $t_{\text{кип}} - 29,8^\circ\text{C}$); (R-22 – $t_{\text{кип}} - 40,8^\circ\text{C}$). R134, R507 – гидрофторуглероды (HFC) и (HCFC-22); (R-134 – $t_{\text{кип}} - 26,3^\circ\text{C}$); (R-507 – $t_{\text{кип}} - 51^\circ\text{C}$). R404 и R410 – смесь (R-404 – $t_{\text{кип}} - 46,3^\circ\text{C}$); (R-410 – $t_{\text{кип}} - 51,4^\circ\text{C}$).

В настоящем и будущем развитие и поиск экологически чистых рабочих жидкостей для тепловых насосов будет заключаться в модернизации, высокой надежности и усовершенствовании самих воздушных тепловых насосов (ВТН), поскольку эффективность теплонасосной системы, в большей степени, зависит от конструкции и системы распределения энергии ВТН, чем от рабочей жидкости, используемой в контуре сжатия.

Основным показателем оценки эффективности работы теплового насоса является коэффициент трансформации COP (англ. COP – сокр. от coefficient of performance). Также в переводе встречаются термины коэффициент преобразования теплоты, коэффициент эффективности.

Наиболее распространенной формулой расчета коэффициента COP считается отношение между теплопроизводительностью и потребляемой мощностью. Очевидно, что чем выше значение COP, тем меньше электроэнергии требуется тепловому насосу для выполнения обогрева.

Эффективность работы теплового во многом зависит от условий использования и рабочего тела, как правило, это хладагенты. Определенной температуре источника отбора тепла соответствует температура кипения фреонов, изменение которой существенно влияет на показатели работы теплового насоса, и как следствие на значения COP. Величина коэффициента преобразования теплового насоса зависит от разности температур кипения холодильного агента в испарителе и его конденсации в конденсаторе. Чем меньше эта разность, тем выше коэффициент преобразования.

В этой связи расчет теоретического коэффициента преобразования идеального теплового насоса принято вычислять либо по формуле Карно, либо с помощью построения термодинамических диаграмм $i - \lg P$ (удельная энтальпия-давление) хладагентов как наиболее удобной для последующих тепловых расчетов [6].

Графическое изображение цикла работы теплового насоса позволяет рассматривать одновременно различные изменения в состоянии хладагента, происходящие в течение цикла, и влияние этих изменений на цикл без воспроизведения в памяти различных цифровых величин, связанных с циклом [4].

Для примера приведем расчет коэффициента эффективности преобразования (COP) для некоторых фреонов – R12, R22, R134, R404, R410, R507 с целью получения экономически выгодного значения показателя. Для этого необходимо построить на диаграмме p-h реальный рабочий цикл теплового насоса для каждого рассматриваемого фреона. Построение цикла начинаем со сжатия. Для того что бы нанести на диаграмму точку, соответствующую состоянию рабочего тела в испарителе, необходимо знать такие характеристики, как давление и температуру. В начале температуру на испаритель для наших условий принимаем 0°C, давление для указанных фреонов берем из табл. 1, составленной для диапазона $t_{\text{фреона}} = -10^{\circ} \div +55^{\circ}\text{C}$.

Построение диаграммы начинаем с первой точки, которую наносим на p-h диаграмму путем продолжения линии постоянного давления, соответствующей испарению при 0°C. Нанеся точку А на диаграмму, мы можем узнать энтальпию фреона в испарителе. Точку Б наносим на диаграмму путем продолжения линии постоянного давления, соответствующей температуре рабочего тела в конденсаторе 55°C.

Таблица 1 - Зависимость давления хладагентов $P_{\text{фреона}}$ от температуры

$t_{\text{фреона}},$ °C	Давление хладагентов, бар $P_{\text{фреона}}$					
	R12	R22	R134	R404	R410	R507
-10	1,19	2,55	1,01	3,32	4,72	3,54
-5	1,64	3,27	1,47	4,18	5,85	4,42
0	2,08	3,98	1,93	5,03	6,98	5,29
5	2,66	4,89	2,54	6,11	8,37	6,4
10	3,23	5,8	3,14	7,18	9,76	7,51
15	3,95	6,95	3,93	8,52	11,56	8,88
20	4,67	8,1	4,72	9,86	13,35	10,25
25	5,39	9,5	5,71	11,5	15	11,94
30	6,45	10,9	6,7	13,14	16,65	13,63
35	7,53	12,6	7,93	15,13	19,78	15,69
40	8,6	14,3	9,16	17,11	22,9	17,74
45	10,25	16,3	10,67	19,51	26,2	20,25
50	11,9	18,3	12,18	21,9	29,5	22,75
55	13,08	20,75	14	24,76	-	25,8

Действительные условия на выходе из компрессора в точке С рассчитываются с помощью изэнтропического КПД [4]:

$$\eta = (h_B - h_A) / (h_C - h_A) \quad (1),$$

где, h_A , h_B , h_C – соответствуют энтальпии в точках А, Б и С.

Изменение энтальпии в конденсаторе и соответствующую точку D находим по пересечению изобары конденсации с левой пограничной кривой, пренебрегая при этом падением давления при теплообмене.

Рассчитываем COP реального цикла теплового насоса [5]:

$$\text{COP} = (h_C - h_D) / (h_C - h_A) \quad (2)$$

Данный расчет, как пример, для фреона R22 будет выглядеть следующим образом.

Строим точку А, при температуре в 0°C давление данного хладагента составит 3,98 бар. Строим точку Б, при температуре в 55°C, с такой температурой давление составляет 20,75 бар. Рассчитываем h_C исходя из формулы изэнтропического КПД (1):

$$h_C = ((450,97 - 414,3) / \eta) + 414,3 = 466,69 \text{ кДж/кг}$$

Далее наносим точку D ($h_D = 265,41$) которая соответствует пересечению изобары конденсации с левой пограничной кривой.

Рассчитываем COP теплового насоса, использующего в качестве рабочего тела фреон R22:

$$\text{COP} = (466,69 - 265,41) / (466,69 - 414,3) = 3,84$$

Теплообменный процесс на диаграмме p-h для хладагента R22 согласно существующей методике изображен на рис. 1.

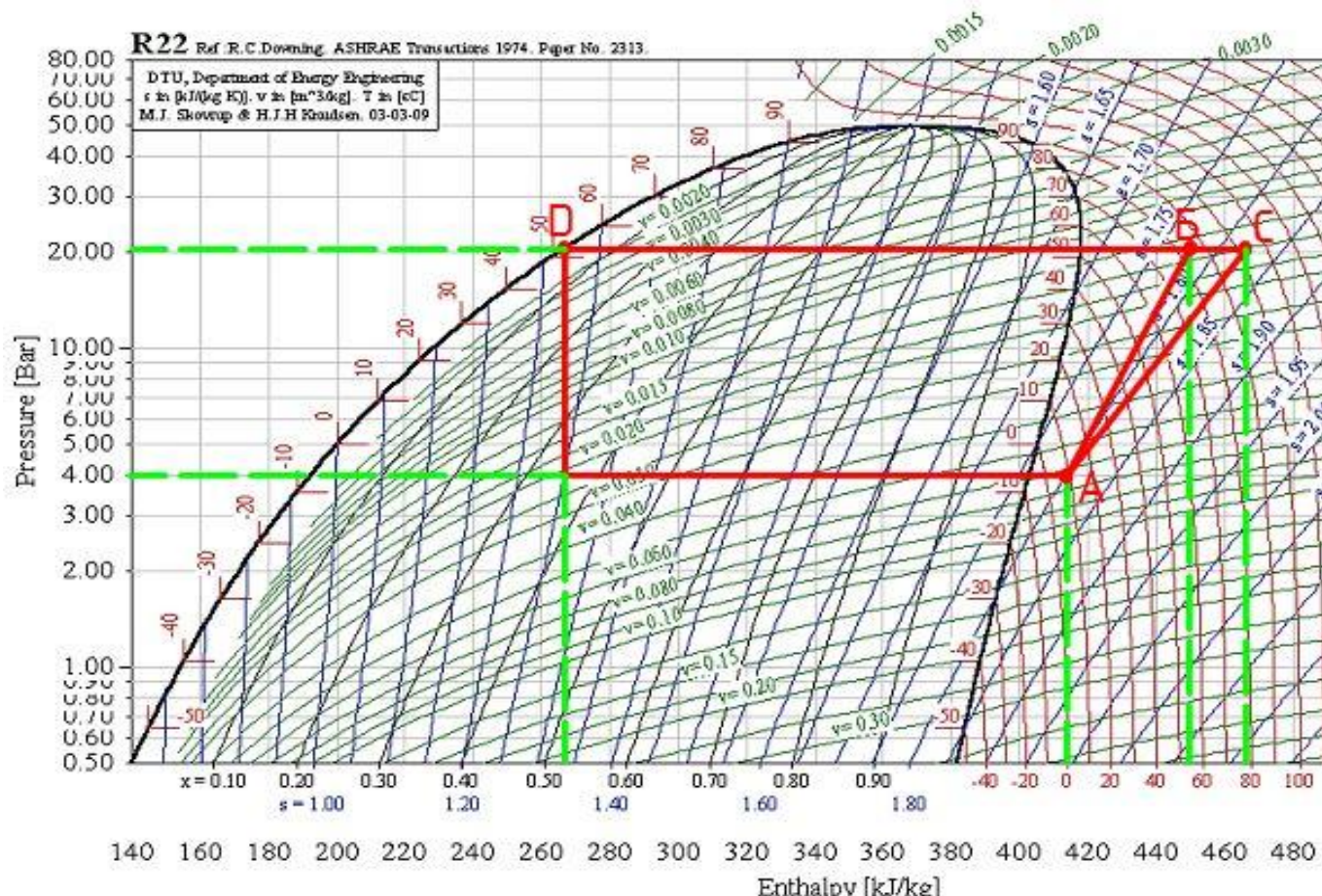


Рис. 1 – Обратный цикл Карно для ТН при подаче температуры на испаритель 0°C

Сводим все расчеты, полученные в ходе эксперимента, в табл. 2.

Из таблицы видно, что наиболее эффективно показал себя фреон R22.

В такой же последовательности рассчитаем рабочий цикл хладагента R22, при заданных условиях, при подаче температуры на испаритель $t=+5^{\circ}\text{C}$ (рис.2).

Таблица 2 - Значения энтальпии и COP фреонов при температуре 0°C на испарителе

Фреон	h_A , кДж/кг	h_B , кДж/кг	h_C , кДж/кг	h_D , кДж/кг	COP
R22	414,3	450,97	466,69	265,41	3,84
R410	437,5	482,7	502,07	287,5	3,32
R12	356,02	390,02	404,59	247,75	3,22
R134	401,1	448,3	468,53	279,58	2,80
R507	373,4	414,7	432,40	274,3	2,67
R404	376,5	424,9	445,64	287,1	2,29

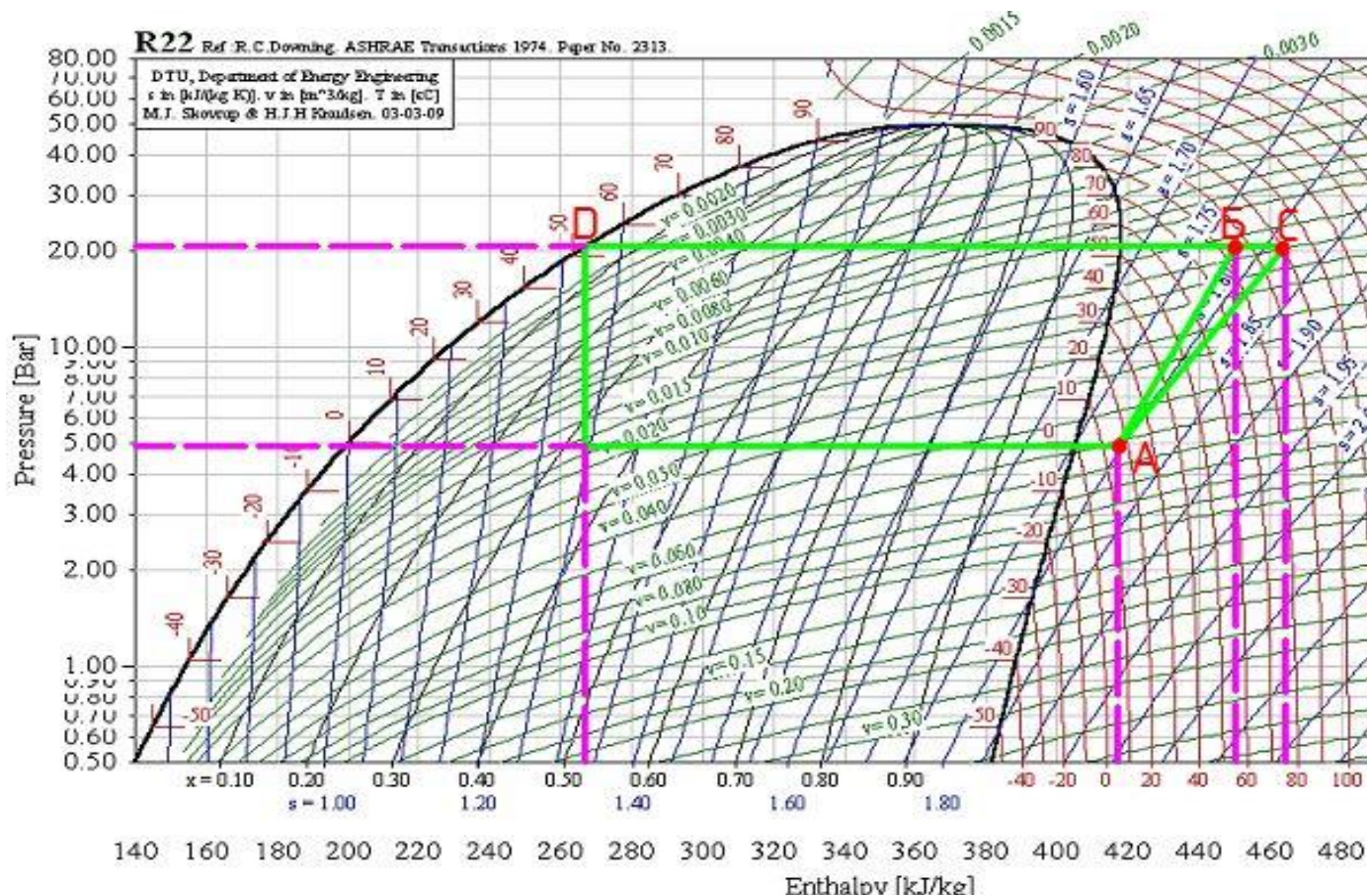


Рис. 2 – Обратный цикл Карно для ТН при подаче температуры на испаритель до +5°C

Расчетные данные так же сведем в табл. 3.

Для достоверности эксперимента изменяем температуру нагрева хладагента через испаритель с +5°C до +10°C. Вид рабочего цикла хладагента R22 на диаграмме p-h представлен на рис.3.

Таблица 3 - Значения энтальпии и COP фреонов при температуре 5°C на испарителе

Фреон	h_A , кДж/кг	h_B , кДж/кг	h_C , кДж/кг	h_D , кДж/кг	COP
R22	417,52	450,97	465,31	265,41	4,18
R410	441,4	482,7	500,40	287,5	3,60
R12	359,42	390,02	403,13	247,75	3,55
R134	404,6	448,3	467,03	279,58	3,00
R507	376,9	414,7	430,90	274,3	2,90
R404	380,6	424,9	443,89	287,1	2,47

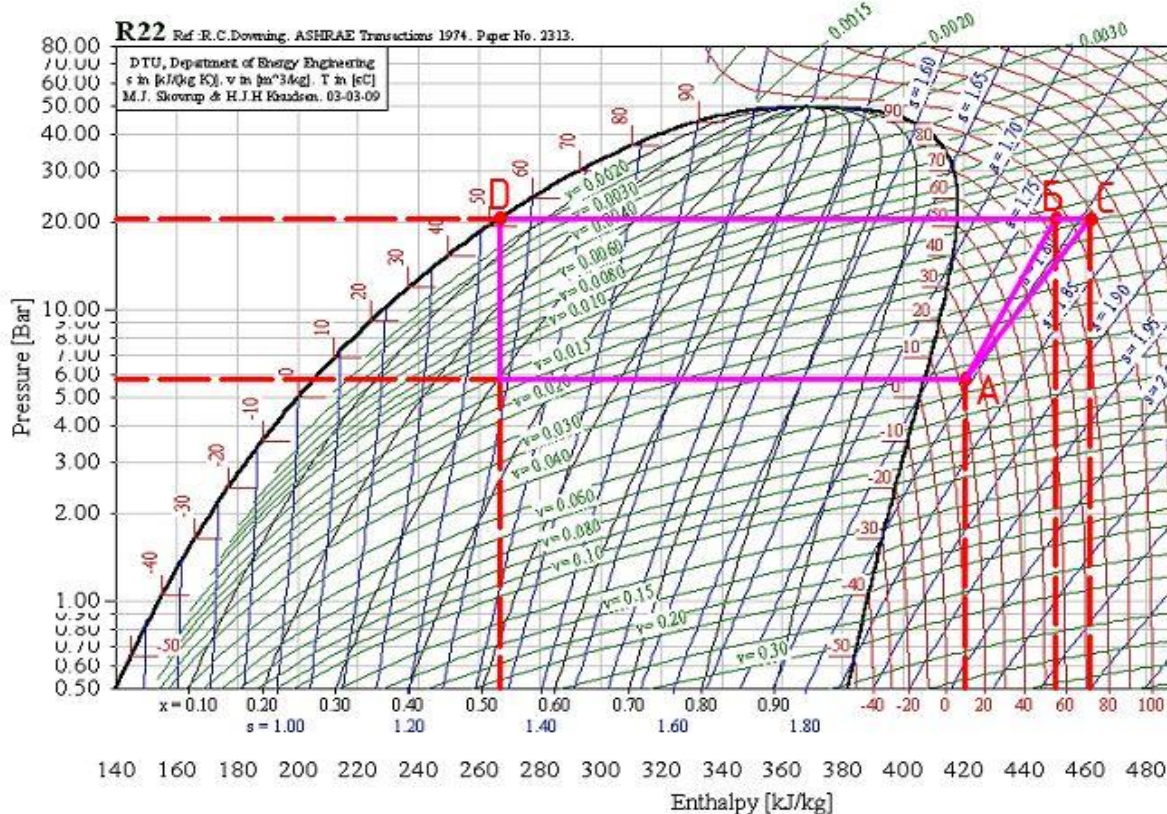


Рис. 3 – Обратный цикл Карно для ТН при подаче температуры на испаритель до +10°C

Расчетные данные сводим в табл. 4.

Таблица 4 - Значения энтальпии и COP фреонов при температуре 10°C на испарителе

Фреон	h_A , кДж/кг	h_B , кДж/кг	h_C , кДж/кг	h_D , кДж/кг	COP
R22	420,74	450,97	463,92	265,41	4,59
R12	362,82	390,02	401,67	247,75	3,96
R410	445,3	482,7	498,72	287,5	3,95
R134	409,34	448,3	464,99	279,58	3,33
R507	380,4	414,7	429,4	274,3	3,16
R404	384,7	424,9	442,12	287,1	2,69

Сведем полученные данные в табл. 5.

Таблица 5 - Коэффициент эффективности преобразования (COP) при различной температуре подачи воздуха на испаритель

Фреон	COP при 0°C	COP при 5°C	COP при 10°C
R22	3,84	4,18	4,59
R410	3,32	3,60	3,95
R12	3,22	3,55	3,96
R134	2,80	3,00	3,33
R507	2,67	2,90	3,16
R404	2,29	2,47	2,69

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы.

Во-первых, установлена линейная прямо пропорциональная зависимость эффективного COP от температуры, подаваемой на испаритель теплового насоса, что позволяет в дальнейшем прогнозировать возможности ВТН.

Во-вторых, выявлено, что динамика роста коэффициента эффективности преобразования с увеличением температуры на испаритель имеет наилучший эффект при температуре равной 10°C. В этом случае коэффициент преобразования (COP) ВТН максимален.

Таким образом, коэффициент преобразования в тепловом насосе будет более высоким в том случае, когда разность температур источника и приемника тепла будет минимальной. Поэтому важными мероприятиями по увеличению COP является теплоизоляция помещений, использование энергии альтернативных источников, применение систем рекуперационного типа, использование многотарифных приборов учета электроэнергии. Полученные зависимости расширяют возможности применения тепловых насосов в конкретных условиях использования экономически выгодного фреона.

Список литературы/ References

1. Бондаренко Д. В., Шевчук И. И. Высокотемпературный тепловой насос для нужд отопления, использующий в качестве источника теплоты воды озера «Старая Кубань» // Современные проблемы науки и образования. – 2015. № 2-2. // URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21629> (Дата обращения 24.09.2016).
2. Воронов В.А., Емелин В.А. Экономическая целесообразность применения теплового насоса в качестве системы теплоснабжения частного жилья // Информационная среда вуза. - 2015. № 1. С. 480-483.
3. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса: Сборник научных трудов: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. 2015. С. 241-251.
4. Основы холодильной техники. Доссат Рой Дж. пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 96 с.
5. Рей Д., Мак Майкал Д. Тепловые насосы: пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
6. Термодинамические диаграммы i – lgP для хладагентов. – М.: АВИСАНКО, 2003. – 50 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bondarenko D. V., Shevchuk I. I. Vysokotemperaturnyj teplovoj nasos dlja nuzhd otoplenija, ispol'zujushhij v kachestve istochnika teploty vody ozera «Staraja Kuban'» [The high-temperature thermal pump for needs of heating using as a source of warmth of water of the lake "Old Kuban"] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern problems of science and education]. – 2015. #2-2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21629> [in Russian]
2. Voronov V.A., Yemelin V. A. Jekonomicheskaja celesoobraznost' primeneniya teplovogo nasosa v kachestve sistemy teplosnabzhenija chastnogo zhil'ja [Economic feasibility of use of the thermal pump as system of heat supply of private housing] // Informacionnaja sreda vuza [The Information environment of university]. 2015. #1. P. 480-483. [in Russian]
3. Voronov V.A., Yemelin V. A., Fedoseyev V. N., Zaytseva I. A. Klimaticheskie uslovija i faktory, vlijajushhie na proizvoditel'nost' vozdušnogo teplovogo nasosa [The climatic conditions and factors influencing performance of the air thermal pump]: Sbornik nauchnyh trudov: Teorija i praktika tehničeskij, organizacionno-tehnologičeskij i jekonomičeskij reshenij [Collection of scientific works: Theory and practice of technical, organizational and technological and economic solutions]. 2015. P. 241-251. [in Russian]
4. Osnovy holodil'noj tehniki. Dossat Roj Dzh. [Fundamentals of refrigerating technique] per. s angl. – М.: Legkaja i pishhevaja promyšlennost' [Light and food industry], 1984. – 96 s.
5. Rej D., Mack Maykal D. Teplovye nasosy [Thermal pumps]: per. s angl. [the lane with english] – М.: Jenergoizdat [Energoizdat], 1982. – 224 p. [in Russian]
6. Termodinamicheskie diagrammy i – lgP dlja hladagentov [Thermodynamic charts i – lgP for coolants]. – М.: AVISANKO, 2003. – 50 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.072

Хорев П.Н.¹, Кухарев О.Н.², Яшин А.В.³, Семов И.Н.⁴¹Кандидат технических наук, доцент, ²доктор технических наук, профессор,³кандидат технических наук, доцент, ⁴ORCID: 0000-0001-9504-9357 Кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Пензенская государственная сельскохозяйственная академия

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВЫСАЖИВАЮЩЕГО АППАРАТА С ОРИЕНТИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Аннотация

Анализ результатов исследований ведущих научно-исследовательских организаций показал, что эффективность посадки лука-матки на семена зависит от равномерности распределения луковиц по площади питания, а также от их ориентации относительно поверхности почвы. Для качественного выполнения посадки разработана сажалка с цепочно-ложечным высаживающим аппаратом и ориентирующим устройством.

На основе анализа уравнения регрессии второго порядка, полученного при реализации трехфакторного эксперимента D-оптимального плана (Бокса на кубе), установлены оптимальные значения геометрических и кинематических параметров ориентирующего устройства: скорость движения щеточного ориентирующего устройства, расстояние между щеточным ориентирующим устройством и центром ложечек, расстояние между подпружиненными частями ложечек.

Ключевые слова: посадка, распределение, высаживающий аппарат.

Horev P.N.¹, Kukharev O.N.², Jashin A.V.³, Semov I.N.⁴¹PhD in Engineering, Associate professor, ²PhD in Engineering, Professor,³PhD in Engineering, Associate professor, ⁴ORCID: 0000-0001-9504-9357, PhD in Engineering, Associate professor, Federal State Educational Institution of Higher Education "Penza State Agricultural Academy"

STUDY OF THE PROCESS OF PLANTING UNIT WITH ORIENTING DEVICE

Abstract

Analysis of the research results of leading research organizations has shown that the effectiveness of the landing-uterine onion seeds depends on the uniformity of the distribution of the bulbs on the nutrition area, as well as their orientation relative to the surface of the soil. For high quality of planting designed planter with chain-lozhechnym planted device and orienting device.

On the basis of regression equations of the second order, resulting in the implementation of a three-factor experiment, D-optimal plan, the optimal values of the geometric and kinematic parameters orienting device: speed brush orienting device, the distance between the brush-locating device and the center of spoons, the distance between the spring-loaded parts of the spoons.

Keywords: planting, distribution, planted the device.

В настоящее время практикой возделывания корнеклубнеплодов (лука, сахарной свеклы) предъявляются повышенные требования не только к равномерному их распределению в рядке, но и к расположению оси корнеплода относительно поверхности почвы (так нормальным положением считается $90^\circ \pm 30^\circ$).

В связи с чем в ФГБОУ ВО разработана конструктивно-технологическая схема устройства реализующего эти требования (рис. 1).

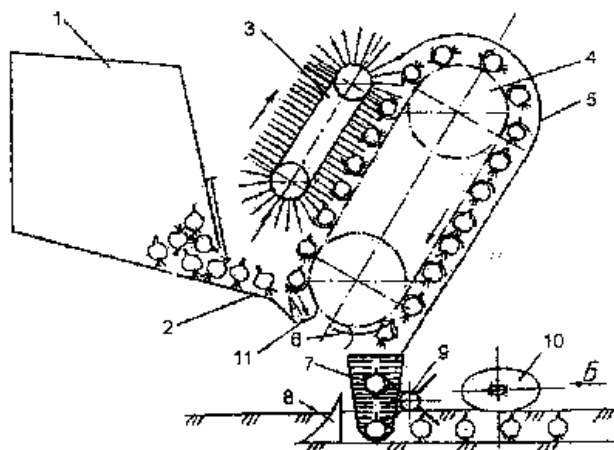


Рис. 1 – Схема устройства для ориентированной посадки:

1 - бункер; 2 - бункер-питатель; 3 - щеточное ориентирующее устройство; 4 - высаживающий аппарат; 5 - кожух; 6 - сбрасывающее устройство; 7 - семяпровод; 8 - сошник; 9 - битер; 10 - прикатывающий каток

Устройство работает следующим образом: при движении устройства для ориентированной посадки корнеплоды из бункера 1 подаются в бункер-питатель 2, где они захватываются подпружиненными ложечками высаживающего аппарата 4, выполненными по размерам и форме корнеплодов. При дальнейшем перемещении транспортера высаживающего аппарата 4 корнеплоды попадают под воздействие ориентирующего устройства 3, которое разворачивает их в ложечках вниз, за счет воздействия на них свободных концов эластичного ворса, расположенных не далее центра тяжести, находящихся в ложечках высаживающего аппарата 4. Подпружиненные части ложечек защемляют вешку и фиксируют заданное положение. В таком положении корнеплоды попадают под кожух 5. После прохождения кожуха 5 сориентированные корнеплоды попадают под воздействие сбрасывающего устройства 6, которое освобождает их от защемления подпружиненными частями ложечек и направляет их в семяпровод 7. Подача из семяпровода в борозду, их вдавливание и фиксация в почве происходит с помощью битера 8, имеющего на рабочей поверхности двухрядные эластичные лопасти, свободные концы которых в передней части по ходу движения устройства, во время вращения битера, заходят в вертикальные прорезы семяпровода 7 и воздействуют одновременно на плечики, при этом корнеплод под воздействием лопастей битера 8 вдавливается в почву, за счет чего сохраняется его ориентация. Скорость вращения свободных концов эластичных лопастей битера 8 равна поступательной скорости устройства для ориентированной посадки, при этом обжатие почвой осуществляется с помощью прикатывающих катков 10 [1].

Экспериментальные исследования проводились согласно ОСТ 70.5.1.-82 “Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методика испытаний.” и ОСТ 70.5.2.- 74 “Испытания сельскохозяйственной техники. Картофелесажалки. Программа и методика испытаний” [59] на экспериментальной установке, изготовленной на кафедре “Сельскохозяйственные машины” Пензенской ГСХА.

На всем протяжении опыта все исследуемые параметры цепочно-ложечного высаживающего аппарата оставались неизменными за исключением исследуемого. Режим и настройка исследуемого параметра заведомо задавались такими, чтобы можно было установить характер влияния его на объект исследования и на основе всестороннего изучения определить его оптимальное значение.

Скорость цепочно-ложечного высаживающего аппарата v регулировалась при помощи мотор редуктора типа СУПА- 00.11.20-01 (устанавливались следующие значения: 0,50; 1,00; 1,50; 2,0 и 2,50 м/с).

Путь, проходимый цепочно-ложечным высаживающим аппаратом под слоем лука-матки S (величина камеры заполнения), регулировался изменением подачи лука-матки в камеру заполнения в пределах 40...200 мм, через каждые 40 мм.

За критерий оценки равномерности распределения лука-матки принимаем вероятность P (%) нахождения 1 луковицы в заданном интервале. Исследования проводились при поступательной скорости движения высаживающего аппарата u равной скорости движения цепочно-ложечного высаживающего аппарата. Повторность для каждого

случая - трехкратная. Число замеров в каждом опыте не менее 100. Обработка результатов эксперимента проводилась на ПЭВМ с использованием прикладной программы STATISTIKA Version 5.0".

По результатам обработки опытных данных строили вероятностные кривые распределения лука-матки вдоль ряда в зависимости от скорости цепочно-ложечного высаживающего аппарата - $v_{ц}$ (рис.2); пути проходимо цепочно-ложечным высаживающим аппаратом под слоем лука-матки S (величина камеры заполнения) (рис.2).

Анализируя кривые на рисунке, можно сделать заключение, что при диапазоне скоростей 0,5...2,5 м/с количество нормальных интервалов ($M \pm 0,25M$) уменьшается с 83% до 67%. При этом коэффициент вариации ($v, \%$) изменяется от 30,38 до 34,55, среднее значение возрастает с 17,25 до 22,65 см., среднеквадратичное отклонение (δ , см.) с 5,24 до 7,05 [2].

Из рис. 2, также видно, что оптимальной скоростью будет скорость движения цепочно-ложечного высаживающего аппарата $v_{ц} = 0,5$ м/с, при которой количество нормальных интервалов $M \pm 0,25M$ равно 83 %.

Из графиков на рис. 3 видно, что величина камеры заполнения для посадки лука-матки должна быть от 160 до 200 мм, при уменьшении камеры заполнения вероятность высадки лукович в нужный интервал резко падает с 83% до 58%, а количество пропусков возрастает. Это связано с тем, что уменьшается количество встреч лукович с ложечками. Коэффициент вариации ($v, \%$) изменяется от 30,38 до 34,55, среднее значение возрастает с 17,25 до 27,6 см., среднеквадратичное отклонение (δ , см.) с 5,24 до 7,52.

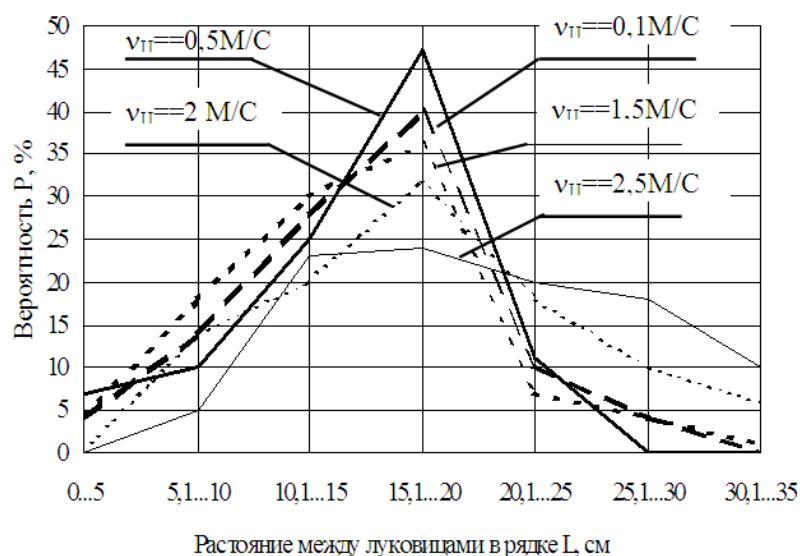


Рис. 2. – Вероятностные кривые распределения лука-матки в ряду в зависимости от скорости движения цепочно-ложечного высаживающего аппарата

При определении оптимальных геометрических и кинематических параметров щеточного ориентирующего устройства выполняли априорное ранжирование факторов. В качестве параметра оптимизации при оценке работы ориентирующего устройства нами была принят угол α , характеризующий разворот вешки лукович в ложечках высаживающего аппарата. На основе априорного ранжирования факторов были отобраны основные из них, влияющие на правильность расположения вешки лукович в ложечках высаживающего аппарата: скорость движения щеточного ориентирующего устройства - $v_{щ}$; расстояние между концами щетки ориентирующего устройства и центром ложечек - t ; расстояние между подпружиненными частями ложечек - e .

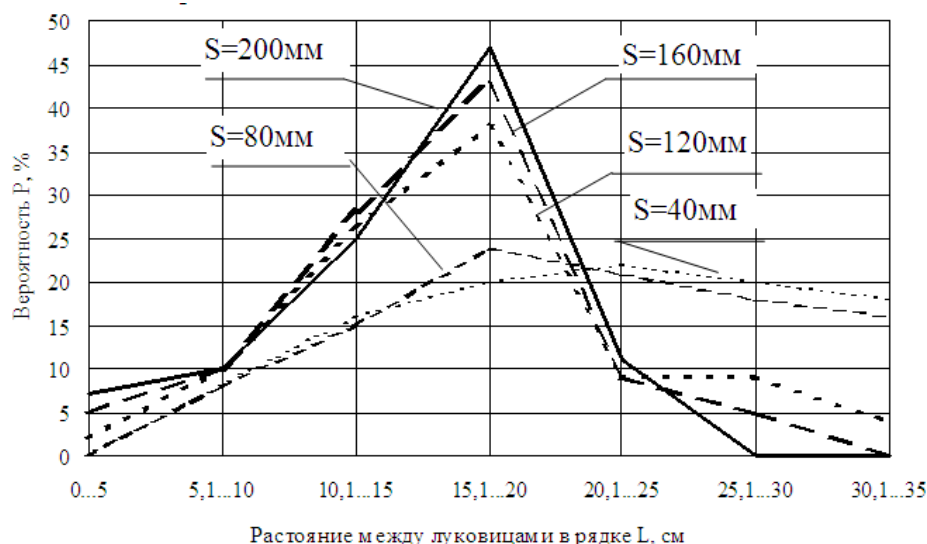


Рис. 3 – Вероятностные кривые распределения лукович в ряду в зависимости от пути проходимо цепочно-ложечным высаживающим аппаратом под слоем лука-матки (величина камеры заполнения)

Для описания поверхности отклика уравнением второго порядка использовали математическую теорию планирования трехфакторного эксперимента D- оптимального плана (Бокса на кубе). В результате расчета получена адекватная модель рабочего процесса поворота вешки лука-матки в ложечках высаживающего аппарата, которая в раскодированном виде запишется:

$$\alpha = -80,000 + 141,500v_{\text{ш}} + 6,975t + 6,875e - 2,750v_{\text{ш}}t + 2,250v_{\text{ш}}e - 0,138te - 62,5006v_{\text{ш}}^2 - 0,281t^2 - 0,156e^2.$$

С целью изучения поверхности отклика строились двумерные сечения с контурными линиями, соответствующие определенным значениям параметра оптимизации [3].

Анализируя графическое изображение двумерных сечений можно сделать вывод что, оптимальные значения исследуемых факторов находятся в интервалах: $v_{\text{ш}} = 1,99$ м/с, $t = 7,00$ мм, $e = 39,46$ мм, при этом параметр оптимизации (α) будет составлять $2,46...2,98^\circ$.

Экономические расчеты подтверждают эффективность применения предлагаемой сажалки с цепочно-ложечным высаживающим аппаратом и ориентирующим устройством. Эксплуатационные издержки на посадке лука-матки снизились на 6,25 руб./га., при этом годовая экономия благодаря полученной дополнительной продукции (рост урожайности) составляет 22625 руб./га. Сажалка с предлагаемым цепочно-ложечным высаживающим аппаратом и ориентирующим устройством окупится после посадки 0,91 га.

Список литературы/ References

1. Ларюшин Н.П., Кухарев О.Н., Хорев П.Н., Ларюшин С.Н., Барцев В.А., Голивец В.А. Устройство для ориентированной посадки лука // Патент России № 2201663. 2003. Бюл. № 10.
2. Проблемы и перспективы развития агропромышленного производства / РИО ПГСХА [под ред. Л.Б. Винничек, А.А. Галиуллина]. Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – 220с.
3. Кухарев О.Н. Организационно-экономические основы НИОКР: учебное пособие. / О.Н Кухарев, Е.В. Фудина, И.Н. Семов / Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – 88 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Larjushin N.P., Kukharev O.N., Horev P.N., Larjushin S.N., Barcev V.A., Golivec V.A. Ustrojstvo dlja orientirovannoj posadki luka [Device-oriented onion planting] // Patent Rossii [Russian Patent] № 2201663. 2003. bulletin. № 10. [in Russian]
2. Problemy i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo proizvodstva [Problems and prospects of development of agricultural production] / RIO PGSHA [pod red. L.B. Vinnichek, A.A. Galiullina]. Penza: RIO PGSHA, 2014. – 220 p. [in Russian]
3. Kuharev, O.N. Organizacionno-jekonomicheskie osnovy NIOKR: uchebnoe posobie. [Organizational-economic bases of R & D: a tutorial] / O.N Kukharev, E.V. Fudina, I.N. Semov / Penza: RIO PGSHA, 2016. – 88 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.116

Хузиахметов Р.Х.¹, Хузиахметова А.Р.²

¹Кандидат химических наук, доцент; ²ассистент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

ТЕХНОЛОГИЯ ЩЕЛОЧНОГО ФОСФОРНОГО УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Аннотация

Представлены результаты опытов по переработке низкокачественного Вятско-Камского фосфорита (ФВК) на щелочное фосфорное удобрение с использованием различных промышленных отходов. Установлено, что на основе сульфатно-содовой смеси – ССС (отход глиноземного производства) и органического шлама (отход некоторых производств нефтехимического синтеза) возможно получение термофосфата (ТФ) с содержанием 15-18 % усвояемого P_2O_5 [$P_2O_{5(усв)}$].

Ключевые слова: фосфорит, сульфатно-содовая смесь, шлам, продукт переработки шлама (ППШ), термофосфат.

Khuziakhmetov R.Kh.¹, Khuziakhmetova A.R.²

¹PhD in Chemistry, Associate Professor; ²Assistant

Kazan National Research Technological University

THE TECHNOLOGY OF ALKALINE PHOSPHORUS FERTILIZER ON THE BASIS OF VARIOUS INDUSTRIAL WASTE

Abstract

The results of experiments on the processing of low-grade Vyatka-Kama phosphate (VKP) for alkaline phosphoric fertilizer using different industrial wastes are presented in this paper. It was found that it was available to get the thermal phosphate (TP) with the content of 15-18 % of the digestible P_2O_5 [$P_2O_{5(dig)}$] on the basis of sulfate-soda mixture – SSM (waste alumina production) and organic sludge (waste of some of the industries of petrochemical synthesis).

Keywords: phosphate, sulfate-soda mixture, sludge, sludge recycling product (SRP), thermal phosphate.

Introduction

Despite the fact that Russia is one of the world leaders in the production of fertilizers (19,6 million tone NPK – the 4th place after China, USA, India) and cereals (116 million tons of grain), the country's agricultural sector is relatively poorly developed (low yield, high cost production). One of the reasons of low yields (in 2016 – 26,3 centner/ha) is a small quantity of fertilizers applied to the soil – 40 kg/ha (1,9 million tons NPK), because approx.80% of them are exported.

The least produced fertilizers are phosphate fertilizers – 3 million tons of P_2O_5 (N – 8,2 million tons, K_2O – 8,4 million

tons). The raw material for their production are apatites (the largest deposits of apatite are located in the United States, Brazil, Russia) and sedimentary phosphates (mainly in Morocco – about 64 billion tons). The main problems of production and application of phosphoric fertilizers are the following: monopolization of apatite deposits; continuous price increase for domestic consumers; high transport costs for the transport of concentrate to processing enterprises.

As per above, low cost low-quality phosphates of fields, which are located in agricultural regions, must be involved in the processing. Primarily it is **VKP** (approx. 50% of the reserves of phosphate, ~ 325 million tons P_2O_5) [1, P.169].

The most perspective possible way of processing of low-grade phosphate materials is the thermal alkaline processing method, which is suitable for processing of low quality phosphate raw material with high content of Fe_2O_3 and Al_2O_3 . Special attention is paid for the option of combined thermal alkaline processing with simultaneous utilization of alkaline industrial wastes (e.g., soda-sulfate mixture of alumina production, alkaline liquid combustible organic sludge from some production of petrochemical synthesis, as well as **SRP** [2].

The aim of this research is to develop the methods for producing alkaline phosphorous fertilizers based on the Vyatka-Kama's phosphate by using some industrial waste-additives mentioned above (**WA**).

Material and methods

Vyatka-Kama's phosphate has been chosen as a phosphorus raw material due to the following main factors: low cost, ease of concentrating the ore by washing (in P_2O_5 ore ~10-18%, in the concentrate – 20-24%); the impossibility of it's processing by classic acid method (the value of $M_{Fe-P} = Fe_2O_3/P_2O_5 = 0,2$ at the maximum allowable value $M_{Fe-P} = 0,14$).

Used additives-wastes predominantly contain Na_2CO_3 and Na_2SO_4 in their composition. Average composition of sulfate-soda mixture (SSM) – the waste of Bogoslavskih aluminum factory (Sverdlovsk region) – is the following: Na_2CO_3 - 20 %, Na_2SO_4 - 70 %, Al_2O_3 - 3 %; the sludge of «Nizhnekamskneftehim»: $NaOH$ -10 %, organic combustibles ~ 10 %, **SRP**: Na_2CO_3 - 90 %, others are impurities.

Experiments of the TP receiving using the different waste were conducted as per scheme shown in fig. 1, the method of thermal phosphate producing was identical to method of thermal phosphate producing using Na_2CO_3 [3].

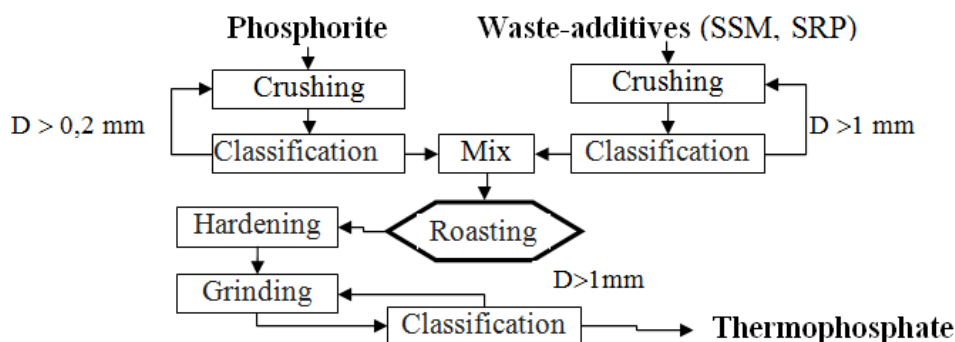


Fig. 1 – Scheme of thermal phosphate obtaining

Input parameters were varied in the following range: temperature – 900-1100 degrees; $\tau = 15-60$ minutes; the ratio of **WA:VKP** = 0,2÷1,5 weight; Na_2CO_3 concentration in the SSM and SRP (and also conditional Na_2CO_3 in the sludge) – 10-98 %. Output parameters in the experiments were the following: content of total phosphorus (P_2O_5) and digestible phosphorus [$P_{2O_5(dig)}$].

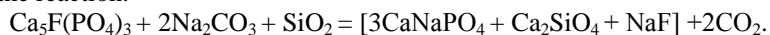
The optimization criteria is: $K_{(dig)} = (P_{2O_5(dig)} / P_{2O_5}) \cdot 100, \%$.

Results

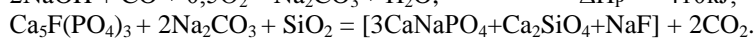
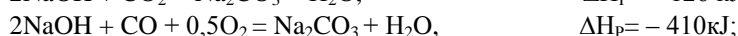
Calculation of the mixture of raw materials composition in the studied systems («VKP–sludge», «VKP– Na_2CO_3 », «VKP–SRP», «VKP–SSM») were conducted depending on the state of aggregation of additives (suspension or solid), the content of the reactants (Na_2CO_3 , Na_2SO_4) in them, the excessive amounts of coal. It was found that at the usage of an initial sludge the ratio of components is:

VKP : sludge = 41 % : 59 % = 1 : 1,45 wt. ($NaOH$ sludge ~11 %).

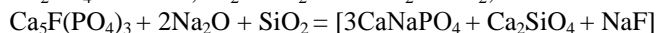
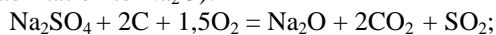
Thermal phosphate obtaining in the «VKP– Na_2CO_3 » («VKP–SRP») system is based on the assimilable $CaNaPO_4$ formation by the reaction:



Thermal phosphate obtaining in the «VKP–sludge» system during it's disposal process (by burning «phosphate + sludge» suspension) allows to obtain a finished fertilizer in one step. The burning process of an organic part of the sludge with the formation of Na_2CO_3 and its interaction with the phosphate occurs simultaneously (SiO_2 required as part of VKP):



Thermal phosphate obtaining in the «VKP–SSM» system is distinguished by the usage of additional coal (for Na_2SO_4 rehabilitation to Na_2O):



The experiments' results for obtaining alkaline phosphorous fertilizers based on **VPK** using the above industrial wastes are presented in table. 1.

Table 1 – Obtaining conditions and the composition of thermal phosphates, obtained using various waste-additives (WA)

Waste-additives (WA)			The firing conditions		TP Composition, %		$K_{(dig)}$, %
type	WA:VKP	excess, %	$T, ^\circ C$	τ, min	P_2O_5	$P_2O_{5(dig)}$	
Na_2CO_3	0,2	0	1000	30	22,2	15,3	69
	0,3	44	1000	30	20,9	20,2	97
SRP	0,22	0	1075	30	22,8	10,8	47
	0,3	44	1075	30	21,6	17,4	80
	0,33	58	1000	20	20	20	100
	0,35	68	1000	40	19,7	16,7	85
SSM+C _{Abs}	0,4	52	900	40	18,6	10,9	59
	0,6	128	900	40	16,9	14,1	84
	0,5	90	1000	30	22,2	21,6	97
SSM+C _{Tech}	0,4	53	1000	30	19,8	13	66
	0,5	90	1000	30	17,9	15	84
	0,6	130	1000	30	20,2	12	59

Discussion

A method of producing thermal phosphate in the «VKP–sludge» system, despite the reduction of energy consumption is quite difficult because of the low concentration of NaOH and the necessity of evaporating large volume of water (the amount of $K_{(dig)}$ does not exceed 40-50 %).

In the «VKP-SRP» system with a stoichiometric ratio $SRP:VKP = 0,22$, the experimental degree of $K_{(dig)}$ is very small (due to the occurrence of different reactions with impurities). Digestible form of $P_2O_{5(dig)}$ becomes optimally acceptable ($K_{(dig)} > 90$ %) only with a considerable excess of additives up to 60 %.

Usage of SSM system in the experiments with the absorbent carbon (C_{Abs}) under substantially identical optimal firing conditions (1100 degrees, 30 min) the fertilizer with the content of $P_2O_{5(dig)} \sim 20$ % has been received (as in the case of Na_2CO_3). However, when the absorbent carbon is replaced by the technical coal (C_{Tech}) the decrease in the content of $P_2O_{5(dig)}$ ~ 16 % can be observed (due to the large amount of ash in the coal ~ 10 %).

Data taken by the X-ray diffraction analyses shows (fig. 2) that thermal phosphates compositions derived on basis of Na_2CO_3 and Na_2SO_4 are identical.

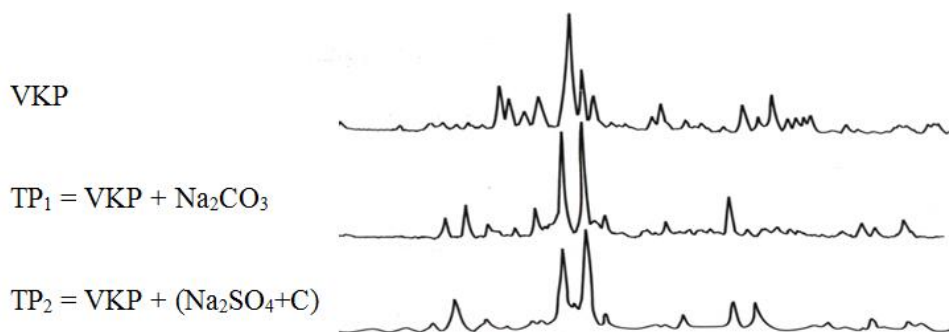


Fig. 2 – Diffraction pattern of initial phosphate (VKP) and thermal phosphate

Fertilizers derived by thermal method, which is based on VKP and mentioned waste, meet the requirements for simple superphosphate, in terms of $P_2O_{5(dig)}$ content. [4].

Conclusion

Thus, based on the provided research the following conclusion can be made: usage of sulfate-soda mixture and product disposal of organic sludge (waste of some of the industries of petrochemical synthesis) at the optimum firing conditions provides a phosphorus fertilizer with 20-21 % content of $P_2O_{5(dig)}$.

Список литературы/ References

1. Андреев М. В. Технология фосфорных и комплексных удобрений/ М. В. Андреев, А. А.Бродский, Ю.А. Забелешинский и др.; под ред.С.Д. Эвенчика и А.А.Бродского, М.:Химия, 1987. 464 с.
2. Способ получения термофосфата / Р.Х. Хузиахметов, Н.П. Мирошкин. Заявка №2015126585 от 02.07.2015 г. Решение о выдачи патента РФ от 07.09.2016 г.
3. Хузиахметов Р.Х. Технология фосфорных и комплексных удобрений из низкокачественных фосфоритов различных месторождений / Р.Х. Хузиахметов, А.М. Губайдуллина, И.П. Бреус // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – Т.12, № 6. – С. 52-56.
4. ГОСТ Р 5956-78. Суперфосфат простой гранулированный. Технические условия. – Введ. 1979-0101. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 31с

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andreev M. V. Technologiya fosfornyh i kompleksnyh udobrenij [Technology of phosphoric and complex fertilizers] / M. V. Andreev, A.A.Brodskiy, U.A.Zabeleshenskiy and others; / edited by S. D. Evenchik and A. A. Brodskiy, –M.; Khimiya, 1987. – 464 p. [in Russian]
2. Sposob polucheniya termofosfata [A method of thermophosphate producing] /R. Kh. Khuziakhmetov, N. P. Miroshkin // Zayavka №2015126585 ot 02.07.2015. Reshenie o vydachi patenta RF ot 07.09.2016 [Request №2015126585 from 02.07.2015. The decision on the patent RF issuance from 07.09.2016] [in Russian]

3. Khuziakhmetov R. Kh. *Technologija fosfornyh i kompleksnyh udobreniy iz nizkokachestvennyh fosforitov razlichnyh mestorozhdenij* [Technology of phosphoric and complex fertilizers from low quality phosphate rock of different fields] / R. Kh. Khuziakhmetov, A.M. Gubaydullina, I.P. Breus // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. – 2009. – Vol. 12, № 6. – P. 52-56 [in Russian]

4. GOST R 5956-78. *Superfosfat prostoy granulirovanniy. Tehnicheskie uslovija* [The simple superphosphate granular. Technical conditions]. – Vved. 1979–01–01. – M.: Izd-vo standartov, 1978. – 31 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.156

Шевчук Е.В.

Аспирант,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

ХРАНЕНИЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА И ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация

Сжиженный природный газ является достаточно перспективным энергоносителем, который прекрасно подходит для газоснабжения удаленных районов. Хранение сжиженного природного газа является важным процессом, в котором требуется обеспечение промышленной безопасности. В данной работе рассмотрены вопросы безопасности хранения сжиженного природного газа в резервуарах. Обеспечение безопасности эксплуатации резервуаров хранения СПГ необходимо рассматривать как систему, поэтому необходимо проводить постоянный контроль параметров их эксплуатации.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, хранение, безопасность, энергетика.

Shevchuk E.V.

Postgraduate,

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

LIQUIFIED NATURAL GAS STORAGE AND PROBLEMS OF INDUSTRIAL SAFETY

Abstract

Liquefied natural gas is quite promising energy source, which is suitable for gas supply in remote areas. Storage of liquefied natural gas is an important process in which it is important to ensure industrial safety. This paper discusses the safety of storage of liquefied natural gas in the tanks. Ensuring safe operation of liquefied natural gas storage in tanks should be considered as a system; therefore it is necessary to carry out the continuous monitoring of the parameters of their operation.

Keywords: liquefied natural gas, storage, safety, power engineering.

Сжиженный природный газ (СПГ) является достаточно перспективным энергоносителем, который прекрасно подходит для газоснабжения удаленных районов, куда доставка энергоносителя по трубопроводам является невозможной (в силу особенностей географического положения) или нерентабельной. Хранение СПГ проводится при криогенных температурах, поэтому соблюдение температурных параметров оказывает непосредственное влияние на промышленную безопасность. Разгерметизация резервуаров для хранения СПГ может привести к возникновению пожаров и взрывов, поэтому обеспечение безопасности на объектах его хранения является ключевой задачей. В данной работе рассмотрены вопросы безопасности хранения сжиженного природного газа в резервуарах.

Основными опасными факторами при эксплуатации резервуаров для хранения СПГ являются:

- Пролит;
- Возникновение пожара в результате пролива;
- Взрыв паров СПГ в ограниченном объеме;
- Выброс паров СПГ с воспламенением или без воспламенения.

Резервуары для хранения СПГ можно разделить на три основных группы:

- Стационарные. Резервуары входят в систему выдачи, газификации и хранения СПГ. Служат для долговременного хранения СПГ под давлением 0,2-6 атм [1]. Объем резервуаров достигает величины более 50 м³.
- Транспортные. Служат для доставки СПГ потребителю. Предельное давление, под которым находится продукт, достигает 16 атм.
- Технологические. Предназначены для СПГ, который производится на комплексе, и осуществляют функцию обеспечения потребителя сжиженным газом по определенному графику. Объем таких резервуаров составляет менее 50 м³ [2].

Для каждой из групп резервуаров характерны свои требования безопасности, которые устанавливаются нормативными документами Ростехнадзора (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», ПБ 08-342-00 Правила безопасности при производстве, хранении и выдаче сжиженного природного газа (СПГ) на газораспределительных станциях магистральных газопроводов (ГРС МГ) и автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС).).

Если рассматривать опасности, которые могут приводить к возникновению аварий резервуаров для хранения СПГ, то можно выделить две основные группы, связанные с воздействиями на внутренний корпус резервуаров и с воздействиями на внешний корпус. Обе группы данных воздействий могут приводить к широкому спектру аварий и инцидентов на опасных производственных объектах. Воздействия с внешней стороны могут возникать в результате сейсмической активности, воздействия ветровой нагрузки и ударных волн; воздействия высоких температур, а также

других факторов. Одним из частых внутренних явлений, которое приводит к повышению давления и температуры в резервуарах, является закачка в резервуар продукта с отличными характеристиками (температура, компонентный состав, плотность), нежели продукт, находящийся в резервуаре. Такое смешение может приводить к самопроизвольному повышению давления. Самопроизвольное повышение давления может приводить к возникновению быстропротекающих процессов, которые могут инициировать пожар с последующим взрывом (детонацией). Решением такой проблемы может быть откачка из хранилища СПГ газа, в объемах необходимых для снижения давления до проектных значений. Вне зависимости от системы управления откачкой СПГ из хранилища, резервуары должны обеспечиваться необходимой автоматикой для сброса давления в случае его резкого повышения и системой продувки резервуаров в случае возникновения аварийных ситуаций.

Одним из путей повышения стойкости резервуаров СПГ к воздействию вышеперечисленных внешних факторов, является повышение их устойчивости и прочности. На стадии проектирования должны быть заложены параметры оптимальных размеров резервуара, обеспечен прочный фундамент и необходимая толщина стенки. Толщина стенки закладывается на стадии проектирования исходя из условия прочности и предела текучести стали, и в обязательном порядке должна включать некоторый запас по прочности. Также необходимо проведение расчетов на устойчивость резервуара к аэродинамическим, сейсмическим и гидродинамическим нагрузкам. Особую важность обладают аэродинамические расчеты для резервуаров, высота которых превышает 3-4 м, поскольку вихревые потоки воздуха при больших скоростях могут приводить к возникновению колебаний и потере устойчивости данного сооружения вследствие деформации лап и креплений резервуаров.

Важным аспектом обеспечения безопасности эксплуатации резервуаров СПГ является их снабжение автоматизированной системой управления безопасностью, которая связывает между собой датчики (главным образом, датчики давления и температуры), сигнализаторы и исполнительные устройства (компрессоры, задвижки и т.п.). Данная система должна осуществлять управление работой резервуара для предотвращения следующих ситуаций [3-4]:

- Предотвращение перелива СПГ. Контроль перелива осуществляется с помощью датчиков уровня. При возникновении превышения уровня продукта, его откачка должна производиться в дополнительный резервуар через аварийный клапан. Проектирование таких систем должно осуществляться специальной организацией, сотрудники которой обладают соответствующей квалификацией.

- Предотвращение повышения (или понижения) давления выше (или ниже) проектного значения в резервуаре. Регистрация давления по высоте резервуара позволяет идентифицировать его повышение и в случае превышения, обеспечить его сброс с помощью клапанов отвода паров. Понижение давления должно компенсироваться подачей инерта либо природного газа в резервуар. В качестве инерта может использоваться аргон, но в силу его дороговизны более часто используют азот.

- Предотвращение повышения температуры резервуара (применение орошения). Система подачи, расположенная на крыше резервуара включается в случае превышения температуры по сигналу температурных датчиков (на обечайке).

- Предотвращение развития ролловера. Возникновение ролловера регистрируется датчиками температуры. В случае возникновения сильной неоднородности по показаниям температуры, включается система подачи газа в другой резервуар для смешения. Предотвращение развития ролловера также достигается за счет применения широкого спектра систем контроля, основанных на математических моделях различных потоков газа, находящихся в резервуаре.

Нельзя не отметить, что вышеперечисленные меры защиты резервуаров от аварии во многом имеют «внутренний» характер. К внешним мерам защиты хранилищ СПГ от возникновения пожаров и взрывов можно отнести организацию безопасности на территории хранилищ. Например, должен ограничиваться проезд транспорта и тяжелой техники по территории хранилищ; должны быть введены правила использования грузоподъемной техники на территории хранилищ; должен быть введен запрет на пролет воздушных средств (вертолетов, самолетов) над территорией хранилищ.

Обеспечение безопасности резервуаров хранения СПГ необходимо рассматривать как систему, поэтому необходимо проводить постоянный контроль параметров их эксплуатации. Разработка новых требований безопасности при хранении СПГ является ключом к предотвращению аварий на данных объектах.

Список литературы/ References

1. Кравнова В.С. Барьеры безопасности на хранилищах сжиженного природного газа / В.С. Кравнова, В.Ф. Мартынюк // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2011. – № 1. – С. 154-161.
2. Базаров Г.Р. Изучение аппаратов и технологий хранения сжиженных природных газов / Г.Р. Базаров, С.С. Мирзаев, И. Гимранов // Наука, техника и образование. – 2016. – № 2. – С. 28-29.
3. Васильев Г.Г. Особенности обеспечения безопасной эксплуатации крупногабаритных изотермических резервуаров для хранения сжиженного природного газа / Г.Г. Васильев, С.Г. Иванцова, А.И. Рахманин // Газовая промышленность. – 2013. – № 11. – С. 57-61.
4. Воронов В.А. Обеспечение экологической и пожарной безопасности хранения сжиженного природного газа в криогенных резервуарах / В.А. Воронов, Е.А. Любин, Е.Ю. Загороднева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S7. – С. 759-767.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kravnova, V.S. Bar'ery bezopasnosti na hranilishhah szhizhennogo prirodnogo gaza [Safety barriers in storage of liquefied natural gas] / V.S. Kravnova, V.F. Martynjuk // Trudy Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta nefi i gaza im. I.M. Gubkina [Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas]. – 2011. – Vol. 1. – P. 154-161. [in Russian]

2. Bazarov, G.R. Izuchenie apparatov i tehnologij hranenija szhizhennyh prirodnih gazov [Study of storage devices and technologies of liquefied natural gas] / G.R. Bazarov, S.S. Mirzaev, I. Gimranov // Nauka, tehnika i obrazovanie [Science, Engineering and Education]. – 2016. – Vol. 2. – P. 28-29. [in Russian]
3. Vasil'ev G.G. Osobennosti obespecheniya bezopasnoj jekspluatsii krupnogabaritnyh izotermicheskikh rezervuarov dlja hranenija szhizhennogo prirodnogo gaza [Features of the safe operation of large insulated tanks for storage of liquefied natural gas] / G.G. Vasil'ev, S.G. Ivancova, A.I. Rahmanin // Gazovaja promyshlennost' [Gas industry]. – 2013. – Vol. 11. – P. 57-61. [in Russian]
4. Voronov V.A. Obespechenie jekologicheskoy i pozharnoj bezopasnosti hranenija szhizhennogo prirodnogo gaza v kriogennyh rezervuarah [Ensuring the environmental and fire safety storage of liquefied natural gas in cryogenic tanks] / V.A. Voronov, E.A. Ljubin, E. Yu. Zagorodneva // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. – 2015. – Vol. 7. – P. 759-767. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.237

Шпрехер Д.М.

ORCID: 0000-0001-5095-1283, Кандидат технических наук,

Тульский государственный университет

СПОСОБ АДАПТИВНОГО СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация

Предложен способ сбора и передачи информации о техническом состоянии электромеханических систем, позволяющий повысить ее достоверность за счет исключения избыточных данных из общего объема контроля и уменьшения загрузки измерительных каналов. В основе лежит адаптивная схема контроля технического состояния многопараметрических объектов, обеспечивающая раннее выявление дефектов элементов оборудования и их своевременное устранение, что в конечном итоге позволяет повысить надежность электромеханического оборудования при системе технического обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: электромеханическая система, техническое состояние, точность диагностирования.

Sprekher D.M.

ORCID: 0000-0001-5095-1283, PhD in Engineering, Tula State University

THE ADAPTIVE WAY OF COLLECTING AND TRANSMITTING DIAGNOSTIC INFORMATION ABOUT THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Abstract

The proposed method of collection and transmission of information about the technical condition of Electromechanical systems, which allows to increase its accuracy by eliminating redundant data from the total control and decrease the load measuring channels. It is based on the adaptive scheme of control of technical condition of multiparameter objects that provide early detection of defects of components and their timely elimination, which ultimately allows to increase the reliability of the Electromechanical equipment in the maintenance system and repair on an actual technical condition.

Keywords: electromechanical system, the technical condition, the accuracy of diagnosis.

К современным системам технического диагностирования электромеханических систем (ЭМС) предъявляется ряд требований: повышенная информационная гибкость, позволяющая измерять минимально необходимый набор параметров, обеспечивающий решение задачи распознавания вида технического состояния (ТС) с заданной достоверностью; обеспечение обслуживания ЭМС различного назначения и сложности, в том числе одновременного обслуживания нескольких разнородных ЭМС; оперативное изменение технических характеристик диагностической аппаратуры, ее каналов связи в зависимости от состояния и времени жизненного цикла контролируемого объекта.

Системы технического диагностирования в связке с информационно-измерительными системами с постоянными характеристиками и циклическим опросом диагностических признаков ЭМС, разнородных по составу, в незначительной степени удовлетворяют современным требованиям. В максимальной степени этим требованиям отвечают адаптивные (приспосабливающиеся) диагностические комплексы, позволяющие реализовать эффективные методы сбора, предварительной отбраковки несущественных отсчетов, передачи сокращенной информации о признаках объекта и распознавании на их основе технического состояния контролируемого оборудования.

Классические системы контроля и диагностирования с исключением избыточных данных являются наиболее изученными и получили в настоящее время наибольшее распространение. Они отличаются простотой, высокой эффективностью сжатия диагностической информации и информационной гибкостью.

На рис.1 изображена структурная схема классического устройства сбора и передачи диагностической информации [1].

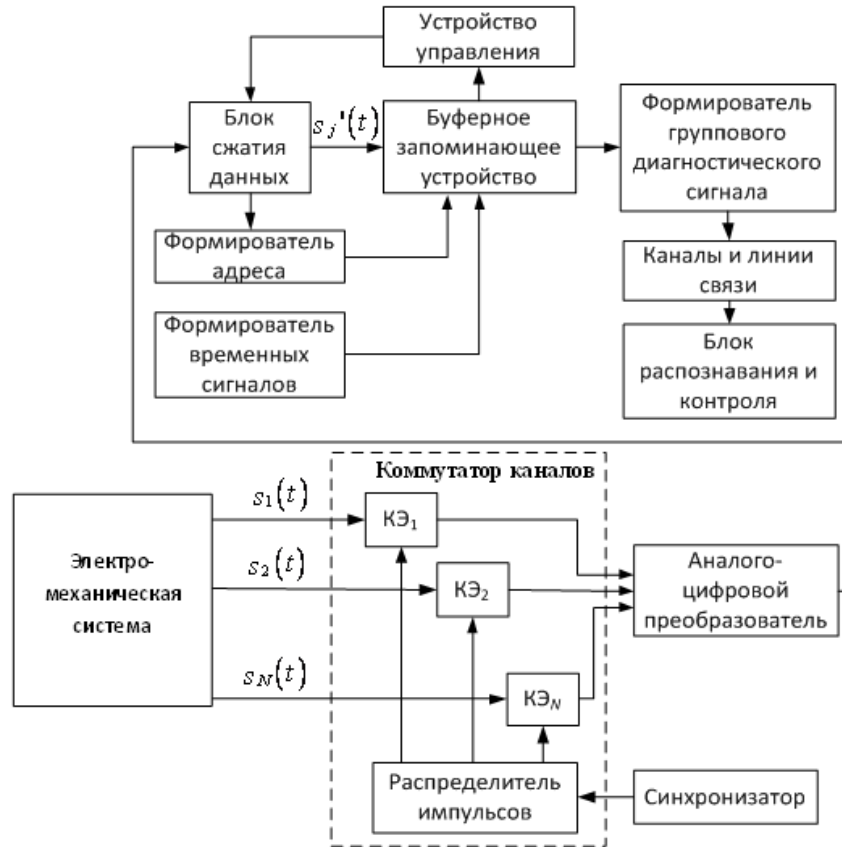


Рис. 1 – Структурная схема классического устройства сбора и передачи диагностической информации с блоком сжатия данных

Принцип работы общепринятого устройства сбора и передачи диагностической информации заключается в следующем.

Коммутатор каналов производит циклический опрос информационных сигналов $s_j(t)$ всех N информационных каналов с постоянной частотой опроса F_{0j} , $j = 1, \dots, N$. каналов, для этого в него включены каналные элементы (КЭ) и распределитель импульсов, вход которого связан с выходом синхронизатора. Сформированные циклические отсчеты $s_j(t_i)$, $T_{0j} = t_i - t_{i-1} = 1/F_{0j}$ преобразуются в цифровые сигналы (j – индекс номера канала, i – индекс номера отсчета в канале, один канал передает информацию об одном датчике) с помощью аналого-цифрового преобразователя.

С помощью блока сжатия данных из общего потока отсчетов $\{s_j(t_i)\}$ по определенному алгоритму исключаются избыточные (несущественные) отсчеты $s_j^*(t_i)$ и выделяются существенные отсчеты $s_j'(t_i)$, передача которых в подсистему распознавания и контроля обеспечивает возможность восстановления сигнала $s_j(t_i)$ с погрешностью $\varepsilon_j(t_i) \leq \varepsilon_{\max}$ для всех t_i . Существенные отсчеты $s_j'(t_i)$ формируются в случайные моменты времени t_i , кратные заданному интервалу T , поэтому поток отсчетов $s_j'(t_i)$ нерегулярен во времени. Это приводит к необходимости его согласования с постоянной пропускной способностью каналов связи /или тактовой частотой распознающего устройства.

Существенные отсчеты $s_j'(t_i)$ поступают на вход буферного запоминающего устройства, куда одновременно из формирователей адресных и временных сигналов поступают соответствующие сигналы. Буферное запоминающее устройство вместе с устройством управления обеспечивает согласование нерегулярного потока отсчетов $s_j'(t_i)$ с постоянной пропускной способностью каналов и линий связи. Регулярные во времени отсчеты с выхода буферного запоминающего устройства поступают на вход формирователя группового диагностического сигнала, где обеспечивается формирование необходимой для работы адаптивной системы диагностики служебной информации и кодирование всех сигналов или только отдельных его частей для прохождения через каналы и линии связи. В блоке распознавания и контроля осуществляется конечная операция – принятия диагностического решения относительно технического состояния ЭМС. Устройство управления формирует апертуру (порог) сравнения. Формирователь адреса и формирователь временных сигналов осуществляют вставку адреса и номера существенного отсчета в групповой диагностический сигнал.

Классическая операция, осуществляемая в блоке сжатия данных, реализует правило: "если $\varepsilon_j(t_i) = |s_j(t_i) - \hat{s}_j(t_i)| > \varepsilon_{j\max}$, то $s_j(t_i) \equiv s_j'(t_i)$ ", т.е. отсчет принимается существенным. При этом:

$\hat{s}_j(t) = \sum_j s_j(t_i) \varphi_j(t)$, где $\varphi_j(t)$ – базисные функции для восстановления непрерывного сигнала $s_j(t)$ по его дискретным отсчетам.

Несмотря на распространенность типовой архитектуры, главным ее недостатком применительно к контролю динамических режимов ЭМС является низкая достоверность определения существенности в отсчетах, описываемых системами связанных дифференциальных уравнений различных порядков.

Компенсировать этот недостаток предлагается за счет учета в схеме определения существенности отсчета разницы второго порядка, на основе которой обнаруживаются значимые отсчеты описываемые системами связанных дифференциальных уравнений второго порядка, путем исключения блока сжатия и введением оперативного запоминающего устройства, вычислительного устройства и устройства сравнения (рис.2) [2].

Оперативное запоминающее устройство запоминает совокупность предыдущих отсчетов $\{s_j(t_{i-k})\}$, $k = 1, 2, \dots$, поступающих в отдельных информационных каналах в моменты времени t_i с интервалом T . На основе этих отсчетов вычислительное устройство определяет интерполяционные или экстраполяционные сигналы: $\hat{s}_j(t) = \sum_j s_j(t) \varphi_j(t)$.

Полученные отсчеты $\hat{s}_j(t_i)$ сравниваются в устройстве сравнения с текущими сигналами $s_j(t_i)$. Отсчет считается существенным, если выполняется одно из двух условий:

$$\left(\varepsilon_j(t_i) = |s_j(t_i) - \hat{s}_j(t_i)| > \varepsilon_{j\max} \right) \text{ или } \left(\Delta_j(t_i) = |\varepsilon_j(t_i) - \varepsilon_j(t_{i-1})| > \Delta_{j\max} \right).$$

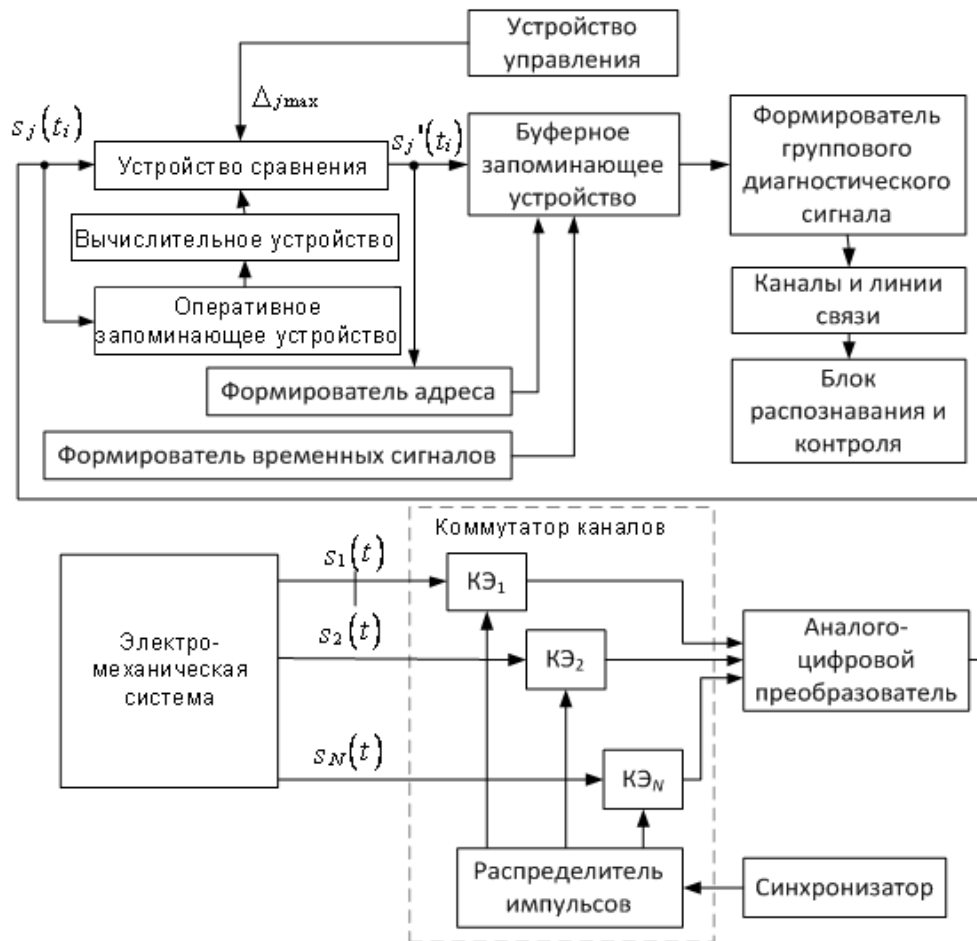


Рис.2 – Структурная схема устройства сбора и передачи диагностической информации с блоком вычисления разницы второго порядка

Далее данный отсчет через буферное запоминающее устройство, в составе группового диагностического сигнала по каналам и линиям связи поступает на блок распознавания и контроля. Точность сравнения двух разниц (разница разности эквивалентна второй производной по отсчетам) соответствует установленной апертуре $\Delta_{j\max}$ и может быть фиксированной для всех информационных каналов или устанавливаться для каждого канала в отдельности или регулироваться внешними командами.

Повышение достоверности определения существенных отсчетов обеспечивается за счет реализации правила, в соответствии с которым анализируется не только разница между значениями измеренных отсчетов и интерполированными (экстраполированными) значениями, но и контролируется разница более высокого порядка, превышение над апертурой которой свидетельствует об изменении в динамике контролируемого электромеханического объекта, описываемого системой связанных дифференциальных уравнений второго порядка.

Предлагаемый способ сбора и передачи диагностической информации осуществляется на базе современных вычислительных устройствах ПЛИС-технологий и представляет собой аппаратно-программный комплекс «ЭМС-НС» [3], поэтому потенциально обладает надежностью значительно выше заданной для систем диагностирования ЭМС общепромышленного назначения.

Предлагаемый технический комплекс может быть использован при построении адаптивных систем контроля технического состояния многопараметрических объектов ЭМС и применен на предприятиях промышленности. Целью предлагаемого способа является повышения достоверности за счет исключения избыточных данных контроля и

уменьшения загрузки измерительных каналов, и повышения надежности электромеханического оборудования за счет раннего выявления дефектов элементов оборудования и их своевременного устранения при системе технического обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию.

Список литературы/ References

1. Морозов В.М. Принципы построения адаптивных систем телеконтроля. – / В.М. Морозов. – МО СССР, 1983. – 94 с.
2. Шпрекхер Д.М., Степанов В.М., Назаров А.В. Устройство адаптации распределительной системы контроля многопараметрического объекта. Патент на полезную модель №RU146839, приоритет 20.06.2014, по заявке № 20141125060/08 – / Д.М. Шпрекхер, В.М. Степанов, А.В. Назаров. – Опубл. 20.10.2014. Бюл. № 29.
3. Шпрекхер Д.М. Программный продукт для диагностирования технического состояния электромеханических систем // Электротехника. – 2012. – № 7. – С. 34 – 37.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Morozov V.M. Principy postroeniya adaptivnyh sistem telekontrolja [Principles of construction of adaptive systems and telecontrol / V.M. Morozov. The USSR Ministry of defense, 1983. – 94 p. [in Russian]
2. Shprekher D.M., Stepanov V.M., Nazarov A.V. Ustrojstvo adaptacii raspredelitel'noj sistemy kontrolja mnogoparametricheskogo ob#ekta. Patent na poleznuju model' №RU146839, prioritet 20.06.2014, po zajavke № 20141125060/08 [Device adaptation the distribution system multi-parameter control object. Patent for useful model № RU 146839, priority 20.06.2014, at the request of № 20141125060/08] / D.M. Shprekher, V.M. Stepanov, A.V. Nazarov. – Publ. 20.10.2014, bull. No. 29. [in Russian]
3. Shprekher D.M. Programmnyj produkt dlja diagnostirovanija tehničeskogo sostojanija jelektromehanicheskikh system [Program product for diagnosing of technical condition of electromechanical systems] / D.M. Shprekher // Jelektrotehnika [Electrical engineering]. – 2012. – No. 7. – P. 34 –37. [in Russian]

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.077

Гуляев П.Ю.¹, Омельченко А.И.²

¹ORCID: 0000-0002-4337-1253, Доктор технических наук, Профессор,
Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

²ORCID: 0000-0001-8546-8187, Кандидат физико-математических наук,
ФНИЦ "Кристаллография и Фотоника" РАН, Москва, Россия

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС ОТТАИВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПОСЛЕ ИМПРЕГНИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ С АНОМАЛЬНО ВЫСОКИМ ФОТОТЕРМИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

Аннотация

Фототермический эффект лазерного излучения на замороженных биотканей имеет важное значение для целого ряда современных технологий. Например, ткань криоконсервации имеет потенциал для криохирургии и других видов медицинской обработки с использованием замораживания и лазерного нагрева. В настоящем исследовании рассмотрено применение биофункциональные наночастицы с высоким фототермическим эффектом, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), для лазерного нагрева замороженных биотканей. Стабилизированные крахмалом водные растворы наночастиц K_xMoO_3 и H_xMoO_3 демонстрирующие высокий уровень поглощения лазерного излучения с длиной волны 1,56 мкм были применены для импрегнирования свиной кожи. Лазерное нагревание замороженного уха свиньи о модифицированного наночастицами оксидных бронз позволяет контролировать температуру облучаемой ткани до +1 °С. Пропитка подкожной ткани наночастицами с высоким фототермическим эффектом может быть использована для процедуры лазерно-индуцированного оттаивания замороженной ткани уха.

Ключевые слова: Самораспространяющийся высокотемпературный синтез, бифункциональные наночастицы, замороженные биологические ткани, лазерно-индуцированный процесс оттаивания.

Gulyaev P.Yu.¹, Omelchenko A.I.²

¹ORCID: 0000-0002-4337-1253, PhD in Engineering, Professor,
Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

²ORCID: 0000-0001-8546-8187, PhD in Physics and Mathematics, Federal Research Center
"Crystallography and Photonics", RAS, Moscow, Russia

LASER-INDUCED PROCESS OF DEFROSTING IN BIOLOGICAL TISSUES AFTER IMPREGNATION BY NANOPARTICLES WITH ABNORMAL HIGH PHOTOTHERMAL EFFECT

Abstract

Photothermal effect of laser radiation on frozen biotissues is essential for a number of modern technologies. For example, tissue cryopreservation has potentials for cryosurgery and other types of medical treatment using tissue cooling, frizzling and laser heating. In the present study the self-propagating high temperature (SHT) synthesis and application of biofunctional nanoparticles (NPs) using high photo-thermal effect for laser heating of frozen biotissues are considered. Starch stabilized aqueous solutions of K_xMoO_3 and H_xMoO_3 NPs demonstrate high absorption of laser radiation with the wavelengths of 1.56 μm being applied to pig skin containing small amounts of NPs. For hydrogen-molybdenum oxide bronze the thermal effect on pig skin is higher at 1.44 μm than at 1.56 μm . Laser heating of frozen pig's ear previously modified by bronze NPs injection

allows controlling temperature of irradiated tissue up to +1 °C. Subcutaneous tissue impregnation with NPs of the metallic oxide bronzes can be used for careful laser treatment of frozen ear tissue.

Keywords: Self-propagating high-temperature synthesis, bifunctional nanoparticles, frozen biological tissues, laser-induced process of thawing.

1 Introduction

For numerous clinical purposes it is important to control the photothermal effect of near-IR laser irradiation of cartilage [1]. While the most of the researches are focused on fabrication of the NPs that possess photothermal effect in visible spectral range (for example, Au and Ag), the information of NPs that absorb in near IR is still limited. It is worth noting that UV-absorbance of metals has plasmon nature and is defined by free electrons weakly bonded to the metal lattice. Most of the metals absorb EM radiation in UV-range. Due to the quantum-sized effect the bathochromic shift of the plasmon resonance occurs for Au and Ag NPs and the resonance in Ag and Au NPs colloids is observed in visible spectral range. Noble metals do not absorb the near-IR radiation – thus, their photothermal effect in near-IR is poor [2].

Conversely, the absorbance of the most metal oxides and metal bronze NPs is defined by electrons bonded to the lattice. These electrons cannot abandon the allowed bands. Some oxides, for example, Fe_3O_4 (magnetite) and metal oxide bronzes: red ($\text{K}_{0.33}\text{MoO}_3$), blue ($\text{K}_{0.3}\text{MoO}_3$), are the narrow band semiconductors, which are close to conductors [3,18]. Spectral properties of these substances are quite similar. The considered oxides and oxide bronzes absorb radiation in near-IR range [2,9,18,19].

Transition metal oxides are of great interest for many applications due to the special chemical and optical properties. Such kind of materials is widely used in quantum electronic devices [19]. Metallic oxide bronzes $\text{A}_x\text{O} \cdot \text{BO}_y$, where $\text{A}=\text{K}, \text{H}, \text{Na}$, $\text{B}=\text{Ti}, \text{Mo}, \text{W}$, $0 < x < 2$, $y=2, 3$ present unusual electrochemical [15], photothermal [7,11], and catalytic [2] properties. For medical purposes, the bronze NPs can be used as absorbers of EM radiation in thermal therapy, contrast agents in diagnostics, and the carriers in targeted drug delivery, as well. High absorption of the bronze NPs in the near IR spectral region [11] makes them perspective in laser diagnostics and wound healing of a damaged articular cartilage [1] and cryosurgical procedure where the controllable defrost of skin and subcutaneous tissue is an urgent problem [7].

Laser irradiation of frozen biological tissue results in gradual thawing of crystal ice [5]. But the process can be hardly controlled because of the high damage degree of the re-crystallization [7,25]. In the work [26], authors used theoretical approach for numerical study of the thawing process in biological tissue induced by laser radiation. Recently [22] showed that laser radiation of the iron oxide starch stabilized NPs embedded into the dense cartilaginous tissue does not cause additional structural alterations therein.

It is well known that new phase formation initiates near impurities, e.g. bubbles, small particles and others [16]. Thus, NPs impregnation into hydrated biological tissue should modify crystallization of interstitial water during its laser thawing. Although the fundamental problem of pure crystal ice thawing has been solved by Josef Stefan in 1889 [24], the controllable thawing of ice in biotissues is still an urgent problem. To demonstrate effectiveness for laser thawing of frozen biological tissue impregnated with NPs and safety of its laser heating we developed the new absorptive adds on the base of the metallic oxide bronzes.

The work aims at the synthesis of metallic oxide bronze NPs using SHT technique and studying the influence of high photothermal IR laser effect of these NPs on the frozen biotissue thawing.

2 Materials and methods

The reagents for metallic oxide bronzes synthesis were selected from commercially available powders of metal oxides: TiO_2 , MoO_3 , and WO_3 (mean particles size of 100 μm , CP purity 99%, ReaChem, Russia). Transition metal oxide bronzes were obtained by three different methods: (1) SHT-synthesis, (2) mechanical and (3) wet chemical synthesis.

SHT-synthesis

The synthesis was performed according with the previously developed technique [6,8]. Stoichiometric proportion $x/y=(0-2;)/(2-3;)$ of the chemically pure powders of $\text{Cu}(\text{OH})_2$, TiO_2 (MoO_3 , WO_3), NaI (KI) were mixed in agate mortar, pressed with ethanol into tablets of 5-10 mm in diameter and put into reactor. Then the mixture was burned in air flow using an incandescent wire. Combustion products have shown itself grayish crystals with metallic glint. Reaction time was approximately 2-5 s. During chemical reaction iodine vapor has been observed. After cooling the particles of the reduced metallic cooper were observed. Reaction yield was 75-90 %. The products were separated from metallic copper by multiple washing of the crystals in a 30% HNO_3 aqueous solution. After drying in air, the samples were milling in a planet-type ball mill AGO-3.

The time and the temperature of the diffusive processes in the course of the reaction were controlled by high-speed brightness and spectral micropymetry as described elsewhere [8,12].

Mechanical synthesis

Blending agents containing the stoichiometric proportion of TiO_2 (MoO_3 , WO_3), NaI (KI) were milling in AGO-3 ball mill during preset time of 5-50 s with the tungsten balls as grinding bodies.

Chemical (wet) synthesis

Surplus of a 2,5 M solution of HCl was added to the oxide powders of chemically pure WO_3 (MoO_3). Grains in amount of 2.5 g of metallic Zn were added therein. After the week, the blue-grayish powder was obtained, after the second week – the blue and deep blue colored products. Over the next weeks the violet and brown colored products were obtained (Fig.1).

Color palette (Fig.1a) corresponds to the colors of the NPs precipitates obtained in chemical synthesis. The precipitates were captured with high resolution and the pictures were used to obtain the color palette:

$\text{WO}_3 \rightarrow \text{H}_{0,1}\text{WO}_3 \rightarrow \text{H}_{0,1}\text{WO}_3 \rightarrow \text{H}_{0,23}\text{WO}_3 \rightarrow \text{H}_{0,33}\text{WO}_3 \rightarrow \text{H}_{0,5}\text{WO}_3$
 Yellowish \rightarrow blue-grayish \rightarrow blue \rightarrow deep-blue \rightarrow violet \rightarrow brown.

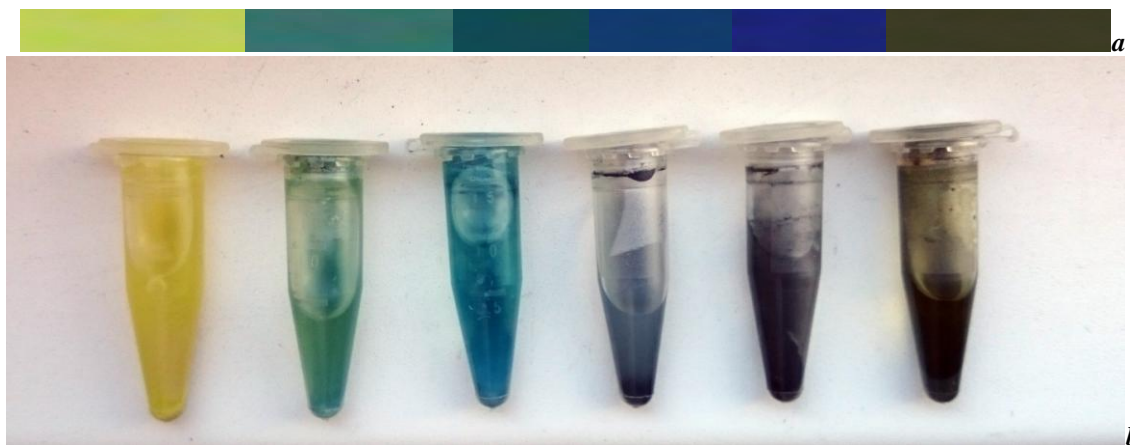


Fig. 1 – *a* – Color of the Hydrogen Tungsten bronzes variation in dependence on hydrogen stoichiometry; *b* – Images of the nanoparticles solutions in dependency on hydrogen stoichiometry

In case of MoO_3 , a deep-blue colored crystals of H_xMoO_3 , where $0,1 < x < 0,36$, were obtained [15].

Crystallinity

Crystal structure of the products of was examined previously [15] using X-ray diffraction analysis. X-ray diffraction analysis of hydrogen molybdenum bronze crystal has shown the octahedral structure with a layered ordering, which is supported by hydrogen bonds between oxide layers. Crystal structure of the tungsten bronzes is similar to that of hydrogen molybdenum ones [11,15]. The size, morphology or structure of the particles is the key factors for the absorption of laser radiation. Characterization of the hydrogen molybdenum bronzes has been made in our papers [11, 15, 21], where NPs size distribution, optical uv-vis absorption spectra, morphology or structure of these particles were studied. The NPs of hydrogen molybdenum oxide bronzes possess the needle-like shape and they have the 9 nm-maximum in size distribution. These nanoparticles have shown [9,11] an abnormal high photothermal effect of the radiation with an Erbium fiber laser ($\lambda=1.56 \mu\text{m}$).

Absorption measurements

NPs of tungsten and molybdenum bronzes were separated by sedimentation and centrifugation and then placed into the axial symmetric electromagnetic trap [20, 21] for separation of the electro-sensitive particles to obtain small neutral NPs. These NPs were used for preparation stabile colloids based on starch molecules aggregated with them [21]. Before colloid stabilization, size distribution of NPs was controlled using CPS 2400 analytical disc centrifuge. The measurements showed a narrow sized distribution of molybdenum oxide bronze NPs [11] with the maximum size about $\sim 10 \text{ nm}$ for the NPs, which were selected from center of the trap. These NPs were suspended with a 1% starch aqueous solution for stabilization of the colloid and functionalization of NPs for biointerface enhancement. To enhance NPs interaction with starch all the parent aqueous solutions containing particles were diluted with a 10 % ascorbic acid aqueous solution. Then, the colloids of NPs in aqueous solution were exposed to CW radiation of an Er-fiber laser (LS 2 IRE-Polus, Russia) at the wavelength (λ) of $1.56 \mu\text{m}$ during 0.5-1 min. Exposed dose was 50-100 J. Laser radiation were delivered into the solution by a $400 \mu\text{m}$ silica fiber with spherical lens at the tip. It allowed irradiation of the colloid in fragmentation mode [14]. All of the irradiated solutions were examined on transparency by spectrophotometer PE5400B (Ekros, Russia). Control of the NPs size (d) in aqueous solution was carried out using the wavelength dependency of visible light scattering (Omelchenko 2011), (Gulyaev 2012) corresponded to the Rayleigh's criteria $d \ll \lambda/20$. Reduced absorption coefficients (attenuation constant) of the NPs in aqueous solutions of the different concentrations were measured at the two wavelengths: near-IR lasers emitted low intensive radiation at $1.45 \mu\text{m}$ (Diode-based laser "Lahta-Milon", Model 1450-2.3 Quiltek manufacturing, Russia) and $1.56 \mu\text{m}$ (Er-fiber laser LS 2, IRE-Polus, Russia). Monochromatic absorption coefficient of the solutions at these wavelengths was measured using photometric technique. Measurement of attenuation of probe laser radiation with intensity I_0 in the solution of a fixed optical length (l) allows obtaining value of absorption coefficient α :

$$\alpha = (1/l) \cdot \ln(I_0/I_x),$$

where I_x – intensity of transmitted light.

Laser radiation power was measured by power meter Fieldmaster (Coherent, USA). Spatial distribution of laser radiation was recorded by laser beam profile imager based on CCD (VGA 640x480) with the visualization of IR-radiation by an up-converting fluorescent film (Polyronik, Russia). Laser beam size (r_0) was measured using a gauss approximation of intensity distribution $I(r) = I_0 \exp(-r^2/r_0^2)$.

Tissue impregnation testing

NPs of oxide bronzes in starch stabilized aqueous solutions were used for biotissues impregnation to change their optical properties. Fresh pig's ear tissues were used in our experiments for tissue modification by NPs. For this purpose we used tattoo making up to the pig's ear skin. A scarification machine filled with pigment based on the synthesized NPs has been used to impregnate ear tissue in shape of the word "ALT'15". The diameter of the tattoo was 0.3-0.5 mm on full depth of the ear skin. Adhesion of NPs of the oxide bronzes to pig's ear tissue was evaluated by washing of tattoo with a 0.1% sodium dodecyl sulfate aqueous solution.

Then the tissue samples of pig's ear were placed in freezer for 2-3 hours. After that they were taken from freezer and kept at an ambient temperature until their temperature reached $-2 - 0^\circ\text{C}$. Then the samples were irradiated by laser beam with Gaussian intensity distribution of radiation. Various regimes of laser radiation of 1.56 and $1.44 \mu\text{m}$ wavelengths were examined: power of laser radiation of 5 W and 2 W in repetitive pulse regime (pulse duration 400 ms , repetition rate 0.7 Hz)

were used for laser heating of the frozen tissue samples. Temperature of the skin and subcutaneous tissues was controlled by Testo 875 thermal vision system.

3 Results and Discussion

SNT-synthesis

At the combustion of reacting mixture, we observed a rapid propagating of high temperature along the tablet after its ignition (Fig.2).

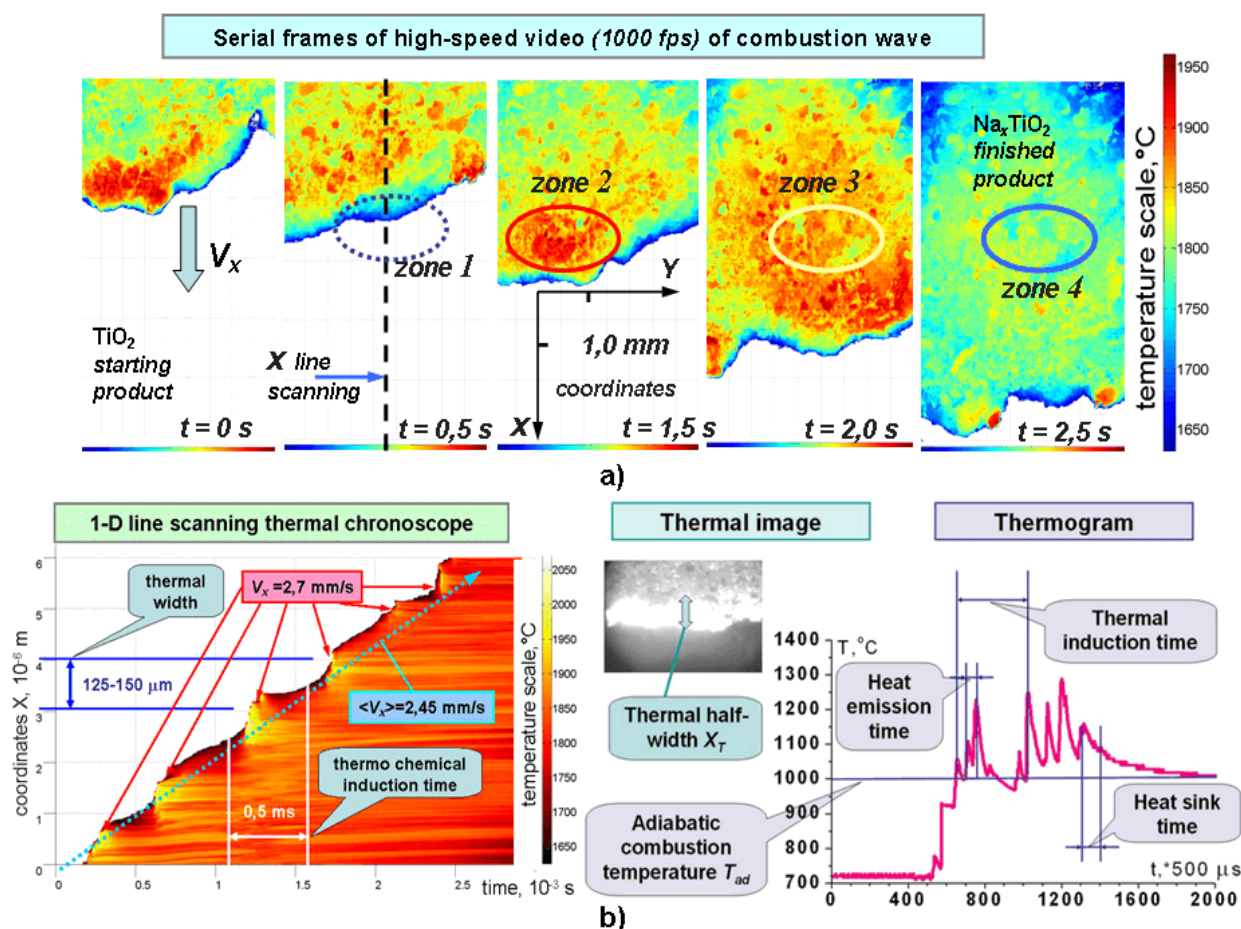


Fig. 2 – SHT-synthesis of metal oxides: *a* – serial frames of records of the solid state TiO₂ burning process; *b* – thermogram of the process of solid state burning

Fig.2a demonstrates serial frames of records of the solid state TiO₂ burning process. The basic stages of the process can be observed (Fig.2b). The warming up of the lowest cold layer is presented in zone 1. Here we do not observe any chemical reactions. In zone 2 the rapid ignition and exothermic combustion reaction as local thermal explosion take place [10,13]. The effective thermal width X_T varies from 0.15 to 1 mm. However the necessary structural and phase changes of the crystal lattice still do not have time to occur. Zone 3 presents the disintegration process of high-temperature site to the small ones due to internal heat outflow. The new sites form the extensive “thermal cloud” where the temperature approaches the adiabatic value and promotes the intercalation of Na atoms into the octahedral lattice of TiO₂ crystals. The next stage is presented in zone 4. The endothermic process of the bronze Na_xTiO₂ formation decrease the temperature of the final product and the needed stoichiometric proportion established. The micropyrometry measurements are presented in Fig.2b as the 1-D scanning thermal chronoscope along the dashed line of the heat monitoring photo-matrix. The thermal emission time in zone 2, the time of heat induction in zone 3 and the constant of the heat outflow time in zone 4 can be measured. The method of technological control of the values is the preliminary mechanical activation and grinding of the initial metal oxide powders in the mill under the controllable energy stress loading of the mill, time of activation and the specific surface of the powder [6]. Thus, the high reproducibility of the synthesized metal oxide bronzes can be achieved.

Optical measurements

The absorption coefficient measurements of the metal oxide bronze colloids have shown that absorption of laser radiation increases with the growth of NPs concentration in aqueous solution. The solutions of molybdenum oxide bronzes at the concentration of 30 mg/ml demonstrate a high value of absorption coefficient of approx. in four times higher than water absorption (Table 1). The monochromatic absorption coefficient of the colloids at the wavelength of 1.45 μm was higher than that coefficient measured at 1.56 μm . Measurement of absorption coefficient of the colloids based on the titanium oxide and tungsten oxide bronzes has shown the lower values of absorption than for the molybdenum. Also, absorption coefficient of the hydrogen molybdenum oxide bronze colloid was two times higher than aqueous solution of iron oxide NPs of the same concentration [15]. Therefore, further experiments with biotissues and NPs were carried out with molybdenum oxide bronze, which demonstrates higher photo-thermal effect.

Table 1 – Reduced absorption coefficient (attenuation constant) of Potassium and Hydrogen Molybdenum oxide bronze in aqueous solutions of the different concentrations at the wavelengths of a near-IR laser

Wave length, λ , nm	Concentration, C (mg/ml)	Transmission I_0/I_x		Absorption coefficient, α 1/cm		Extinction, ml/(mg·cm)	
		K_xMoO_3	H_xMoO_3	K_xMoO_3	H_xMoO_3	K_xMoO_3	H_xMoO_3
1560	30	540/90	475/60	35,8	39,6	$1,2 \pm 0,02$	$1,3 \pm 0,015$
	20	480/145	500/130	23,9	25,4		
	10	440/240	480/240	12,1	13,1		
1450	35	-	750/40	-	58,6	-	$1,67 \pm 0,025$
	25	-	380/45	-	42,7		

Note: *Intensity of laser radiation (I) in mW/cm^2

Ex-vivo testing of the molybdenum oxide bronzes

Starch stabilized aqueous solutions of the K_xMoO_3 and H_xMoO_3 NPs have demonstrated high absorption of laser radiation at the wavelengths of 1.44 μm and 1.56 μm . NPs of molybdenum oxide bronzes also have shown high adsorption in the pig's skin after tattoo making, moreover adsorption to the tissue of the H_xMoO_3 NPs was higher than other type of the used bronzes. It was proved by washing tests.

Photograph of pig's ear with tattoo is shown in Fig.3a. Fig.3b shows setup for laser irradiation of the samples of ear tissue. Ahead of the silent rod supported the fiber and the sample, there is Er- fiber laser used for sample irradiation. Thermal vision system is shown behind.

Thermograms obtained with Testo 875 thermal vision system are shown in Fig.3c and Fig.3d.

Fig.3c presents IR- thermograms of non-radiated pig's ear frozen to $-2-0^\circ C$. The word ALT'15 is hardly distinguishable. As it can be seen from IR- thermograms (Fig.3d), laser irradiation of tattoo modified skin of pig's ear demonstrate a high photo-thermal effect of pulse periodic laser radiation with power of 2W. The word made up with tattoo is well distinguishable. Besides, the hot spot due to thermal effect of Gaussian laser beam on pig's ear skin can be observed. Measurements of the distribution of intensity of laser radiation in the limit of this hot spot has shown that it's satisfy to Gaussian $I(r)=I_0 \exp(-r^2/r_0^2)$, where r_0 (beam radius) is 2 cm.

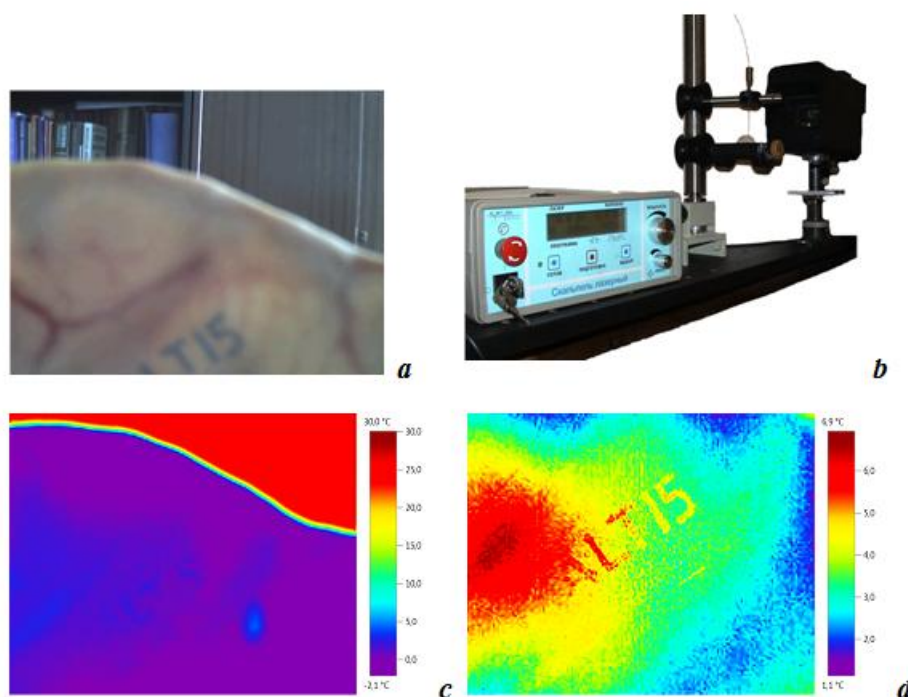


Fig. 3 – Measurements of the temperature distributions at surface of frozen tissue:

a – View of pig's ear in visible light (fragment of Tattoo bottom); b – setup for IR temperature measurements;

c –Thermogram of skin of the frozen pig's ear (non-radiated); d – Thermogram of the tissue irradiated by laser beam with intensity distribution: $I(r)=I_0 \exp(-r^2/r_0^2)$ in pulse periodic regime: power of 2W, pulse duration 400 ms, repetition rate 0.7 Hz

Laser radiation with this intensity distribution should generate heat produced stationary temperature distribution along radial coordinate at surface of irradiated tissue (Carslaw, Jaeger, 1993):

$$T(r) = \sqrt{\pi/2} \cdot I_0 \cdot r_0 / \kappa \cdot \exp(-r^2/r_0^2) \cdot J_0(-r^2/r_0^2),$$

where I_0 – intensity of laser radiation in center of beam. $J_0(-r^2/r_0^2)$ – Bessel's function, r_0 – beam radius, r – radial coordinate.

Thermal conductivity of frozen tissue (κ) contains two summands: κ_{ic} – ice thermal conductivity and κ_{ht} – convective part of thermal conductivity that corresponds to the heat transition in the tissue. Using the presented equation, we determined optimal intensity of laser radiation which is needed to heat frozen pig's ear up to +1 °C. In dependency of initial temperature of frozen tissue, it amounted from: $I_{opt} = 0.05-0.1 \text{ W/cm}^2$. Estimation of thermal conductivity of frozen tissue was made for laser heating of semi-infinite porous medium accounting for heat-mass transfer in ice of the tissue at laser-induced phase transition. It was experimentally revealed that κ is higher than κ_{ic} . Details for calculation of thermal conductivity of frozen tissue are presented in [23]. Calculation of heat transition in frozen tissue according to reference [24, 25] gives $\kappa_{ht} \sim 10 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$. It shows that convective part κ_{ht} of heat transition in the tissue is significant.

Results of the measurements of the temperature field's distribution at the surface of frozen pig's ear tissue with a hydrogen molybdenum oxide bronze NPs have shown that it is dependent on the NPs absorption, the wavelength and intensity of laser radiation, and the temporal regimes of laser irradiation of tissue, as well. It has been shown that pulse periodic regime of irradiation of the frozen biotissue allows localizing temperature field near tattoo picture drawn by NPs.

It is known [26] that laser radiation of ice changes the thawing process. This could be used not only for cell's cryopreservation, but it may be successfully used in the different application of the laser treatment of frozen biotissue modified by NPs with high photothermal effect (e.g. cryosurgery, laser-induced Tattoo removal and others). Temperature control in the limit of 0 °C to +1 °C of the frozen tissue impregnated with NPs allows laser heating of ice confined in the matrix only in the fixed place of tissue. It is important for safe treatment of live tissues and cells.

Conclusion

SHT-synthesis of metal oxide bronzes can be used for generation of biofunctional NPs with high photo-thermal effect on frozen biotissue. Laser irradiation of frozen pig ear with molybdenum oxide bronze NPs allows a temperature control of biotissue thawing. Photo-thermal effect of laser radiation on frozen pig skin impregnated with NPs depends on absorption of the NPs, laser wavelength and intensity of radiation, and the temporal regimes of laser irradiation of tissue, as well. Photothermal effect of laser radiation on frozen pig skin impregnated with NPs of hydrogen-molybdenum oxide bronze is higher at the wavelength of 1.45 μm than at 1.56 μm .

Acknowledgement: Authors thanks Russian Foundation for Basic Research for financial aid in this work. Grant RFBR-15-42-00106.

Список литературы/ References

1. Baum O.I. Nanoparticles for diagnostics and laser medical treatment of cartilage in orthopaedics / O. I. Baum, Y. M. Soshnikova, A. I. Omelchenko et al // Proc. SPIE 8595, Colloidal Nanocrystals for Biomedical Applications VIII.- 85951K. doi: 10.1117/12.2008536
2. Song X.-J. Microstructure and evolution of (TiB₂+Al₂O₃)/NiAl composites prepared by self-propagation high-temperature synthesis / Xiao-jie Song, Hong-zhi Cui, Li-li Cao, P.Y. Gulyaev // Transactions of Nonferrous Metals Society of China.- 2016.- Volume 26.- Issue 7.- Pages 1878-1884. doi: 10.1016/S1003-6326(16)64265-6
3. Brus L.E. Magnetite Fe₃O₄ nanocrystals: Spectroscopic observation of aqueous oxidation kinetics / L.E. Brus, K.A. Bosnick, M. Myers, J. Tang// J.Phys. Chem. B.- 2003.- Volume 107.- P. 7501-7506.
4. Gulyaev P.Yu. Plasma spraying of protective coatings from ferromagnetic SHS-materials / P.Yu. Gulyaev //Research Journal of International Studies.- 2013.- № 12-1 (19).- P. 74 -77.
5. Comini G. Thermal aspects of cryosurgery/ G. Comini, S. Del Giudice // J. Heat Trans.- 1976.-Volume 98.- P. 543-549.
6. Evstigneev V.V. Development Prospects of SHS Technologies in Altai State Technical University/ V.V. Evstigneev, P.J. Guljaev, I.V. Miljukova, V. D. Goncharov, V.A.Vagner and A.A. Gladkih// International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis.- 2006.- T. 15. № 1.- P. 99-104.
7. Gage A.A. Mechanisms of tissue injury in cryosurgery / A.A. Gage, J. Baust//Cryobiology.- 1998.- Volume 37, P. 171-186
8. Garkol' D.A. A new high-speed brightness pyrometry method to investigate self-propagating high-temperature synthesis/ D.A. Garkol', P.Y. Gulyaev, V.V. Evstigneev, A.B. Mukhachev // Combustion, Explosion, and Shock Waves.- 1994.- Volume 30, Issue 1.- P. 72-76. doi: 10.1007/BF00787888
9. Gulyaev P.Yu. SHT-Synthesis and application of biofunctional nanoparticles used high photo-thermal effect for laser heating of biotissues / P.Yu. Gulyaev, M.K. Kotvanova, A.I. Omelchenko, E.N. Sobol // The 23th Annual International Conference on Advanced Laser Technologies. ALT'15 Book of Abstracts.- 2015.- P. 46.
10. Boronenko M.P. Increasing accuracy of high temperature and speed processes micropyrometry / M. P. Boronenko, P. Yu. Gulyaev, A. E. Seregin and A. G Bebiya // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.- 2015.- Vol. 93.- № 1.- 012021. DOI:10.1088/1757-899X/93/1/012021
11. Gulyaev P.Y. Photothermal effects of laser heating iron oxide and oxide bronze nanoparticles in cartilaginous tissues/ P.Y. Gulyaev, M.K. Kotvanova, S.S. Pavlova, E.N. Sobol', A.I. Omel'chenko // Nanotechnologies in Russia.- 2012.- T. 7. № 3-4.- P. 127-131. doi: 10.1134/S1995078012020097
12. Gulyaev I.P. New High-Speed Combination of Spectroscopic And Brightness Pyrometry For Studying Particles Temperature Distribution In Plasma Jets/ I.P. Gulyaev, K.A. Ermakov, P.Yu. Gulyaev//European researcher. Series A.- 2014.- № 3-2 (71).- P. 564-570.
13. Gulyaev P.Yu. Temperature measurements for Ni-Al and Ti-Al phase control in SHS Synthesis and plasma spray processes / P.Yu. Gulyaev, I.P. Gulyaev, I.V. Milyukova, H.-Z. Cui // High Temperatures - High Pressures.- 2015.- T. 44. № 2.- P. 83-92.

14. Omelchenko A.I. Biofunctional magnetic "core-shell" nanoparticles generation via laser ablation of metallic iron in liquids/A.I. Omelchenko, E.N. Sobol, A.V. Simakin, A.A. Serkov, I.A. Sukhov, G.A. Shafeev //Laser Physics. -2015. - Vol. 25.- No.2. - 025607.
15. Kotvanova M. Evolution of combustion temperature and combustion speed of process of SH-Synthesis of titanium oxide bronze / M. Kotvanova, N. Blinova, P. Gulyaev, A. Dolmatov, S. Pavlova// International symposium on self-propagating high temperature synthesis SHS XIII.- 2015.- P. 160-161.
16. Borodina K.A. Per-pixel adjustment of the afterglow effect EOC screen / K.A. Borodina, S.A. Sorokina, A. G. Bebiya, M.P. Boronenko, P.Yu. Gulyaev // Journal of Physics: Conference Series.- 2016.- Volume 741.- Number 1.- 012139. DOI:10.1088/1742-6596/741/1/012139
17. Mitrovic S. Mobile small polarons and the Peierls transition in the quasi-one-dimensional conductor $K_0.3MoO_3$ / S. Mitrovic, L. Perfetti, G. Margaritondo, M. Grioni, L. Forro, L. Degiorgi, H. Hochst, // Phys. Rev. B.- 2002.-Volume 66.- 075107.
18. Gulyaev I.P. Anomalous high-velocity outbursts ejected from the surface of tungsten microdroplets in a flow of argon-air plasma / I.P. Gulyaev, A.V. Dolmatov, P.Yu. Gulyaev, V.I. Iordan, M.Yu. Kharlamov, I.V. Krivtsun // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.- 2016.- Volume 110.- conference 1.- 012057 doi:10.1088/1757-899X/110/1/012057
19. Boronenko M.P. Phase formation time evaluation in NiAl combustion systems by the thermal fields visualization method/M.P. Boronenko, A.E. Seregin, P.Yu. Gulyaev, I.V. Milyukova //Scientific Visualization.- 2015.- T. 7.- № 5.- P. 102-108.
20. Sobol E.N. Study of cartilage shaping with holmium laser/ E.N. Sobol, V. Bagratashvili, A. Sviridov, A. Omel'chenko // Progress in Biomedical Optics and Imaging.- 1996.- T. 2623.- P. 544-552.
21. Sobol E.N. Laser reshaping and regeneration of cartilage/ E.N. Sobol, T.E. Milner, A.I. Omelchenko et al // Laser Phys. Lett.- 2007.- Volume 4(7).- P. 488-502. doi: 10.1002/lapl.200710019
22. Soshnikova Y.M. Laser radiation effect on chondrocytes and intercellular matrix of costal and articular cartilage impregnated with magnetite NPs / Y.M. Soshnikova, A.B. Shekhter, A.I. Omelchenko et al // Lasers in Surgery and Medicine. 2015. T. 47. № 3. P. 243-251. doi:10.1002/lsm.22331
23. Pham Q.T. Food Freezing and Thawing Calculations/ Q.T. Pham.- Springer, 2014.- 152 p. doi: 10.1007/978-1-4939-0557-7_1
24. Stefan, J.: Über einige probleme der theorie der wärmeleitung. Sitzungsberichte der kaiserliche akademie der wissenschaften in Wien. XCVIII. 473-484 (1889) (in German).
25. Vorotilin A.M. Cell injury at the stage of thawing / A.M. Vorotilin, A.V. Zinchenko, V.A. Moiseyev, // Cryo-Lett.- 1991.- Volume 12.- P. 77-86.
26. Zhu J. Numerical study on the thawing process of biological tissue induced by laser radiation/J. Zhu, J. Lu, A. Yu // J. Biomech. Eng.-2005.- Volume 127, P. 416-431.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.104

Давыдов А. П.¹, Злыднева Т. П.²

¹Кандидат физико-математических наук, доцент, ²Кандидат педагогических наук, доцент,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

О ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ФОТОНА В КООРДИНАТНОМ И ИМПУЛЬСНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ*Аннотация*

В статье приводится явный вид волновой функции свободного фотона в координатном и импульсном представлениях. Обсуждается отличие сконструированной волновой функции фотона в импульсном представлении от используемых вариантов в литературе. Указывается, что понятие волнового цуга, отнесенное к волновой функции фотона в координатном представлении, является более корректным при описании интерференции, чем аналогичное понятие классической электродинамики. Это позволяет значительно смягчить проблему корпускулярно-волнового дуализма света.

Ключевые слова: волновой пакет, бивектор, уравнение Шредингера.

Davydov A.P.¹, Zlydneva T.P.²

¹PhD in Physics and Mathematics, Associate professor, ²PhD in Pedagogy, Associate professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

ON THE RELATIVISTIC INVARIANCE OF THE CONTINUITY EQUATION IN QUANTUM MECHANICS OF THE PHOTON*Abstract*

The article provides an explicit form of the wave function of a free photon in the coordinate and momentum representations. The difference of the constructed photon wave function in the momentum representation, from its variants that used in the literature, is discussed. It is stated that the concept of the wave train, referred to the photon coordinate wave function, is more correct in describing interference than the analogous concept of classical electrodynamics. This allows to considerably mitigate the problem of wave-particle duality of light.

Keywords: wave packet, bivector, Schrödinger equation.

Построение волновой функции фотона в координатном представлении долгие десятилетия считалось невозможным, по-видимому, начиная с работы [1]. Однако в настоящее время ее актуальность начинает вновь рассматриваться в связи с новыми оптическими явлениями, в которых участвуют одно- и двухфотонные

состояния (квантовая запутанность, квантовые компьютеры, передача информации по квантовым каналам связи и др.). В [2–8] предлагалась **волновая функция фотона, нормированная на единичную вероятность**, сконструированная на основе уравнений Максвелла, записанных в форме Майорана для векторов $\xi = \mathbf{E} + i\mathbf{H}$ и $\eta = \mathbf{E} - i\mathbf{H}$, где \mathbf{E} и \mathbf{H} – напряженности поля. В соответствии с [5–8], она имеет вид

$$\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \int b(\mathbf{k}, \pm 1) \Psi_{\mathbf{k}, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) d^3\mathbf{k} + \int [b(-\mathbf{k}, \pm 1)]^* \Psi_{\mathbf{k}, \mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) d^3\mathbf{k}, \quad (1)$$

где

$$b(\mathbf{k}, \lambda) = \frac{(\text{Oe})}{\sqrt{8\pi\hbar kc}} B(\mathbf{k}, \lambda); \quad (2)$$

(Oe) – единица измерения (эрстед) векторов ξ , η . Их можно использовать для конструирования бивектора $\Phi_{bv} = \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix}$ с целью описания состояния фотона [9]. Однако в [9] этот бивектор, не нормируемый на единичную вероятность, упоминался лишь формально и, по сути, не был использован, хотя бы даже для квантования электромагнитного поля. Кроме того, в [9] подчеркивалось, что из данного бивектора нельзя построить плотность вероятности нахождения фотона в данной точке конфигурационного пространства.

Тем не менее, бивектор подобного вида может играть важную вспомогательную роль с целью построения волновой функции фотона (1), нормированной на единичную вероятность. В [5–8] построен бивектор

$$\Phi_{bv}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \int B(\mathbf{k}, \pm 1) \Phi_{bv; \mathbf{k}, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) d^3\mathbf{k} + \int [B(-\mathbf{k}, \mp 1)]^* \Phi_{bv; \mathbf{k}, \mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) d^3\mathbf{k}, \quad (3)$$

где верхние знаки индексов отвечают положительной энергии фотона, а нижние – отрицательной, «теоретически возможной», с точки зрения виртуальных состояний. Числа ± 1 в (3) являются значениями спиральности λ . В [5–8] утверждается, что коэффициенты разложения $B(\mathbf{k}, \lambda)$ однозначно выражаются через векторы \mathbf{E} и \mathbf{H} , если с их помощью задать состояние фотона в терминах классического электромагнитного поля. Также, в [5–8] установлено, что базисные бивекторы $\Phi_{bv; \mathbf{k}, \lambda}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)$ описывают состояния фотона с определенными значениями его импульса

$\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$, энергии $E^{(\pm)} = \pm\hbar kc$ и спиральности λ . Эти базисные векторы имеют следующий вид:

$$\Phi_{bv; \mathbf{k}, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \begin{pmatrix} \xi_{\mathbf{k}, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{(\text{Oe}) e_{\pm 1}(\mathbf{k})}{(2\pi)^{3/2}} e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} \mp kct)} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\Phi_{bv; \mathbf{k}, \mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \begin{pmatrix} 0 \\ \eta_{\mathbf{k}, \mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) \end{pmatrix} = \frac{(\text{Oe}) e_{\mp 1}(\mathbf{k})}{(2\pi)^{3/2}} e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} \pm kct)} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $e_{\lambda}(\mathbf{k})$ – комплексные векторы поляризации [5–8]:

$$\mathbf{e}_{\lambda}(\mathbf{k}) = [\mathbf{e}_I(\mathbf{k}) + i\lambda \mathbf{e}_{II}(\mathbf{k})] / \sqrt{2}; \quad (6)$$

\mathbf{e}_I , \mathbf{e}_{II} – вещественные взаимно перпендикулярные векторы, образующие правую тройку с вектором $\mathbf{n} = \mathbf{k}/k$ (при заданном волновом векторе $\mathbf{k} = \mathbf{p}/\hbar$):

$$|\mathbf{e}_I| = |\mathbf{e}_{II}| = 1, \quad (\mathbf{e}_I \mathbf{n}) = (\mathbf{e}_{II} \mathbf{n}) = (\mathbf{e}_I \mathbf{e}_{II}) = 0, \quad \mathbf{n} = [\mathbf{e}_I \times \mathbf{e}_{II}]. \quad (7)$$

Формулы (7) реализуют ортонормированность векторов \mathbf{e}_{λ} и некоторые важные соотношения, если \mathbf{e}_I не меняется при изменении знака вектора \mathbf{n} :

$$(\mathbf{e}_{\lambda}^*, \mathbf{e}_{\lambda}) = \delta_{\lambda'\lambda}, \quad \mathbf{e}_{\lambda}^+, \mathbf{e}_{\lambda} = \delta_{\lambda'\lambda}, \quad \mathbf{e}_{\lambda}(\mathbf{n}) = \mathbf{e}_{-\lambda}(-\mathbf{n}), \quad [\mathbf{e}_{\lambda}(\mathbf{k})]^* = \mathbf{e}_{-\lambda}(\mathbf{k}) = \mathbf{e}_{\lambda}(-\mathbf{k}). \quad (8)$$

В свою очередь, соотношения (8) обеспечивают ортонормированность бивекторов (4), (5), обуславливающую возможность разложения (3):

$$\int d^3\mathbf{r} [\Phi_{bv; \mathbf{k}', \lambda'}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \Phi_{bv; \mathbf{k}, \lambda}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = (\text{Oe})^2 \delta_{\lambda'\lambda} \delta(\mathbf{k}' - \mathbf{k}), \quad (9)$$

С помощью бивектора (3) пространственная плотность распределения энергии фотона в состоянии, описываемом этим бивектором или соответствующей волновой функцией $\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)$ вида (1), записывается как

$$\begin{aligned} \rho_E^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) &\equiv \frac{1}{8\pi} [\Phi_{bv}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \Phi_{bv}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{8\pi} \sum_{\lambda} [\Phi_{bv; \lambda}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \Phi_{bv; \lambda}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \\ &= \frac{1}{8\pi} \left\{ [\xi_{\pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \xi_{\pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) + [\eta_{\mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \eta_{\mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) \right\} \equiv \frac{1}{8\pi} \left\{ |\xi_{\pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)|^2 + |\eta_{\mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)|^2 \right\} \equiv \\ &= \frac{1}{8\pi} \left\{ [\mathbf{E}_{\xi, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^2 + [\mathbf{H}_{\xi, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^2 + [\mathbf{E}_{\eta, \mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^2 + [\mathbf{H}_{\eta, \mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^2 \right\}. \end{aligned} \quad (10)$$

При этом волновая функция (1) удовлетворяет уравнению вида Шредингера:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H}_{bv} \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t), \quad (11)$$

так же, как и бивектор $\Phi_{bv}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)$, определяемый в (3), где оператор Гамильтона

$$\hat{H}_{bv} = c(\hat{\alpha}_{bv} \hat{\mathbf{p}}) = \frac{c}{s} \begin{pmatrix} (\hat{\mathbf{s}}\hat{\mathbf{p}}) & 0 \\ 0 & -(\hat{\mathbf{s}}\hat{\mathbf{p}}) \end{pmatrix}, \quad (12)$$

матрица $\alpha_{bv} = \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{s}} & 0 \\ 0 & -\hat{\mathbf{s}} \end{pmatrix}$, $\hat{\mathbf{s}}$ – оператор спина фотона в векторном представлении:

$$\hat{\mathbf{s}} = \mathbf{e}_x \hat{s}_x + \mathbf{e}_y \hat{s}_y + \mathbf{e}_z \hat{s}_z = \mathbf{e}_x \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix} + \mathbf{e}_y \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix} + \mathbf{e}_z \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Описание состояния фотона с помощью волновой функции (1), нормированной на единичную вероятность, удовлетворяющей уравнению (11) и уравнению непрерывности [5–8] (см. ниже (15)) означает, очевидно, «первичное квантование» состояний фотона.

В [7–8, 10, 11] функция (1) применялась для однофотонного моделирования лазерного излучения в фемтосекундном диапазоне, с коэффициентами $b(\mathbf{k}, \lambda)$, параметризованными в гауссовой форме

$$b(\mathbf{k}, \pm 1) = [b(-\mathbf{k}, \mp 1)]^* = \sqrt{\frac{\alpha^3}{2\pi\sqrt{\pi}}} \exp \left[-\frac{\alpha^2}{2} (k_x^2 + k_y^2 + (k_z \mp k_0)^2) - i\mathbf{k}\mathbf{r}_0 \right]. \quad (14)$$

Волновую функцию (1) можно применить для объяснения интерференции света [12]. Как известно, в классической электродинамике интерференция света имеет место для (более-менее) монохроматических волн. Волновой пакет (1) в пределе $\alpha \rightarrow \infty$ в (14) трансформируется в плоскую монохроматическую волну, с сохранением нормировки на единичную вероятность. Именно такого вида волновой пакет, описывающий однофотонное состояние, при объяснении интерференции света приходит на замену некоего цуга («обрывка синусоиды») «реального» излучения (длительностью τ) электромагнитной волны одним атомом, привлекаемой в классической электродинамике. При этом, согласно соотношению неопределенностей для энергии и времени, при увеличении степени монохроматичности (когда неопределенность энергии фотона стремится к нулю) увеличивается время τ , в течение которого фотон должен быть излучен. Длительность же самого процесса излучения, однако, весьма мала, возможно, гораздо меньше, чем длительность, которая полагается в классической электродинамике, совпадающая со временем существования возбужденного состояния атома (порядка $\tau = 10^{-8}$ с для не метастабильных состояний). Время τ , тем не менее, играет такую же роль, что и время когерентности в классической электродинамике. Можно также говорить и о «длине цуга» $\ell = c\tau$ для одиночного фотона, причем с большей корректностью, чем о нем говорят в классической электродинамике, так как «разделение» неизмеряемой волновой функции (1) на несколько частей, идущих потом по разным оптическим путям, ничем не запрещено [13].

Волновая функция (1) удовлетворяет уравнению непрерывности [5–8],

$$\frac{\partial \rho_P^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} + \text{div} \mathbf{j}_P^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = 0, \quad (15)$$

где

$$\rho_P^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = [\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t), \quad \mathbf{j}_P^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = c[\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \alpha_{bv} \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t). \quad (16)$$

Волновой функции (1) соответствует волновая функция в импульсном представлении, согласно общим положениям квантовой механики:

$$\Psi^{(\pm)}(\mathbf{k}, t) \equiv \int \frac{e^{-i\mathbf{k}\mathbf{r}}}{(2\pi)^{3/2}} \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) d^3\mathbf{r} = e^{\mp i\mathbf{k}\mathbf{r}_0} \left\{ b(\mathbf{k}, \pm 1) \begin{pmatrix} \mathbf{e}_{\pm 1}(\mathbf{k}) \\ 0 \end{pmatrix} + [b(-\mathbf{k}, \mp 1)]^* \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{e}_{\mp 1}(\mathbf{k}) \end{pmatrix} \right\}. \quad (17)$$

Если $b(\mathbf{k}, \pm 1)$ известны, то, используя функции (1) или (17), можно вычислить все характеристики состояния фотона, например, его среднюю энергию

$$\overline{E^{(\pm)}} = \int (\pm \hbar k c) \left\{ |b(\mathbf{k}, \pm 1)|^2 + |b(-\mathbf{k}, \mp 1)|^2 \right\} d^3\mathbf{k} = \int E^{(\pm)}(k) \rho_P^{(\pm)}(\mathbf{k}) d^3\mathbf{k}. \quad (18)$$

Эта формула дает значение, совпадающее с имеющимся в классической электродинамике [5–8]. Данное обстоятельство выражает принцип соответствия, обуславливающий введение волновой функции (1). Вместе с тем, в традиционных изложениях вторичного квантования электромагнитного поля встречаются выражения, аналогичные (18), исходя из которых делается неправильный вывод, что совокупность коэффициентов $b(\mathbf{k}, \pm 1)$ является волновой функцией фотона в импульсном представлении (при этом $b(\mathbf{k}, \pm 1)$ не подразумеваются удовлетворяющими разложению (1)). Отсюда проистекает некорректная аргументация, что хотя в импульсном представлении волновая функция фотона существует, в координатном – она отсутствует [9]. Например, типичное выражение для энергии электромагнитного поля, сопоставляемой энергии одного фотона, имеет вид

$$E \equiv \frac{1}{8\pi} \int \{ [\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)]^2 + [\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)]^2 \} d^3\mathbf{r} = \int |\mathbf{f}^{(\pm)}(\mathbf{k})|^2 \hbar c d^3\mathbf{k}. \quad (19)$$

Если на функцию $\mathbf{f}^{(\pm)}(\mathbf{k})$ наложить условие нормировки

$$\int |\mathbf{f}^{(\pm)}(\mathbf{k})|^2 d^3\mathbf{k} = \int \{ |b(\mathbf{k}, \pm 1)|^2 + |b(-\mathbf{k}, \mp 1)|^2 \} d^3\mathbf{k} = \int \sum_{\lambda} |b(\mathbf{k}, \lambda)|^2 d^3\mathbf{k} = 1, \quad (20)$$

то из (19), (20) следует, что $|\mathbf{f}^{(\pm)}(\mathbf{k})|^2$ можно отождествить с плотностью импульсного распределения. В связи

с этим, сама функция $\mathbf{f}^{(+)}(\mathbf{k})$, часто полагается волновой функцией фотона в импульсном представлении (см., например, [9], с. 84). На наш взгляд, “правильной” волновой функцией фотона является бивектор (3) или волновой пакет (1). Поэтому в импульсном представлении волновой функцией фотона [см. (17)] является компонента Фурье от волновой функции в координатном представлении (1).

Введение волновой функции фотона *позволяет смягчить проблему корпускулярно-волнового дуализма* [6–8]. В [14] обсуждается построение волновой функции фотона в терминах комплексных потенциалов, возникающих при «извлечении квадратного корня» из волнового уравнения.

Список литературы/ References

1. Landau L. Quantenelectrodynamik im Konfigurationsraum / L. Landau, R. Peierls // Zeit. F. Phys. – 1930. – V. 62. – P. 188–198.
2. Bialynicki-Birula I. On the wave function of the photon / I. Bialynicki-Birula // Acta Phys. Pol. A. – 1994. – V. 86. – P. 97–116.
3. Sipe J. Photon wave functions // Phys. Rev. A. – 1995. – V. 52. – P. 1875.
4. Давыдов А. П. Квантовая механика фотона / А. П. Давыдов // НАУКА И ШКОЛА: тез. докл. XXXIII науч. конф. МГПИ. – Магнитогорск: Изд-во МГПИ, 1995. – С. 206–207.
5. Давыдов А. П. Волновая функция фотона в координатном представлении / А. П. Давыдов // Вестник МаГУ: Периодический научный журнал. Вып. 5. Естественные науки. – Магнитогорск: Изд-во МаГУ, 2004. – С. 235–243.
6. Давыдов А. П. Квантовая механика фотона: волновая функция в координатном представлении / А. П. Давыдов // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2015. – Т. 20. – № 5. – С. 43–61.
7. Давыдов А. П. Волновая функция фотона в координатном представлении. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2015. – 180 с.
8. Давыдов А. П. Однофотонный подход к моделированию короткоимпульсного лазерного излучения [Электронный ресурс] / А. П. Давыдов, Т. П. Злыднева // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2015. – Т. 1. – № 4. – URL: <http://vestnik-nauki.ru/> (дата обращения: 30.10.2016).
9. Ахиезер А. И. Квантовая электродинамика / А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий. – М.: Наука, 1981. – 432 с.
10. Davydov A. Modeling of short-pulse laser radiation in terms of photon wave function in coordinate representation [Electronic resource] / A. Davydov, T. Zlydneva // Instrumentation engineering, electronics and telecommunications – 2015: Paper book of the International Forum IEET-2015. – P. 51–63. – Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2016. – 208 p. – 7 MB. – URL: <http://pribor21.istu.ru/proceedings/IEET-2015.pdf> (accessed: 30.10.2016).
11. Давыдов А. П. О снижении скорости свободных фотонов при моделировании их распространения в пространстве с помощью волновой функции в координатном представлении [Электронный ресурс] / А. П. Давыдов, Т. П. Злыднева // Труды XIII междунар. научно-технической конф. АПЭП – 2016. – Том 8. – Новосибирск. – 2016. – С. 50–57. – URL: <https://cloud.mail.ru/public/FBMT/KugeZk8F7/TOM08.pdf> (дата обращения: 30.10.2016).
12. Davydov A. P., Zlydneva T. P. The Young's interference experiment in the light of the single-photon modeling of the laser radiation [Electronic resource] // Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSM 2016). – 2016. – P. 208–215. – URL: <http://www.atlantispress.com/php/pub.php?publication=itsmssm-16> (accessed: 30.10.2016).
13. Давыдов А. П. О релятивистской инвариантности уравнения непрерывности в квантовой механике фотона / А. П. Давыдов, Т. П. Злыднева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №4 (46). – Часть 6. – С. 134–137. doi: 10.18454/IRJ.2016.46.145
14. Давыдов А. П. Линеаризация волновых уравнений для потенциалов свободного электромагнитного поля с целью его квантовомеханического описания / А. П. Давыдов // Проблемы физ.-мат. образования в педагогич. вузах России на соврем. этапе: тез. докл. межвуз. науч.-практич. конф. / Магнитогорский гос. пед. ин-т. Магнитогорск: МГПИ, 1996. – С. 116–120.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Landau L. Quantenelectrodynamik im Konfigurationsraum / L. Landau, R. Peierls // Zeit. F. Phys. – 1930. – V. 62. – P. 188–198.
2. Bialynicki-Birula I. On the wave function of the photon / I. Bialynicki-Birula // Acta Phys. Pol. A. – 1994. – V. 86. – P. 97–116.
3. Sipe J. Photon wave functions // Phys. Rev. A. – 1995. – V. 52. – P. 1875.
4. Davydov A. P. Kvantovaya mehanika fotona [Photon quantum mechanics] / A. P. Davydov // NAUKA I ShKOLA: tez. dokl. XXXIII nauch. konf. MGPI [SCIENCE AND SCHOOL: abstracts of XXXIII conf. of the Magnitogorsk State Pedagog. Inst.]. – Magnitogorsk: Izdatelstvo MGPI, 1995. – P. 206–207. [in Russian]
5. Davydov A. P. Volnovaya funkciya fotona v koordinatnom predstavlenii [The photon wave function in the coordinate representation] / A. P. Davydov // Vestnik MaGU: Periodicheskij nauchnyj zhurnal. Vyp. 5. Estestvennye nauki [MaSU

Bulletin: Periodic Scientific Journal. Issue 5. Natural sciences]. – Magnitogorsk: Izdatelstvo MaSU, 2004. – P. 235–243. [in Russian]

6. Davydov A. P. Kvantovaja mehanika fotona: volnovaja funkcija v koordinatnom predstavlenii [Photon quantum mechanics: the wave function in the coordinate representation] / A. P. Davydov // Jelektromagnitnye volny i jelektronnye sistemy [Electromagnetic waves and electronic systems]. – 2015. – V. 20. – № 5. – P. 43–61. [in Russian]

7. Davydov A. P. Volnovaja funkcija fotona v koordinatnom predstavlenii [The photon wave function in the coordinate representation] / A. P. Davydov /. – Magnitogorsk: Nosov MSTU, 2015. – 180 P. [in Russian]

8. Davydov A. P. Odnofotonnyj podhod k modelirovaniju korotkoimpul'snogo lazernogo izluchenija [Single-photon approach to the modeling short-pulse laser radiation] [Electronic resource] / A. P. Davydov, T. P. Zlydneva // Vestnik nauki i obraz. Severo-Zapada Rossii: jelektr. Zhurnal [Bulletin of Science and Education of North-West Russia: electronic journal], 2015. – V. 1. – № 4. – URL: <http://vestnik-nauki.ru/> (accessed: 03.10.2016). [in Russian]

9. Ahiezer A. I. Kvantovaja jelektrodinamika [Quantum electrodynamics] / A. I. Ahiezer, V. B. Beresteckij. – M.: Nauka, 1981. – 432 P. [in Russian]

10. Davydov A. Modeling of short-pulse laser radiation in terms of photon wave function in coordinate representation [Electronic resource] / A. Davydov, T. Zlydneva // Instrumentation engineering, electronics and telecommunications – 2015: Paper book of the International Forum IEET-2015. – P. 51–63. – Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2016. – 208 p. – 7 MB. – URL: <http://pribor21.istu.ru/proceedings/IEET-2015.pdf> (accessed: 30.10.2016).

11. Davydov A. P. On the reduction of free photons speed in modeling of their propagation in space by the wave function in coordinate representation [Electronic resource] / A. P. Davydov, T. P. Zlydneva // 2016 13th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 39281 proceedings – V. 8. – Novosibirsk. – 2016. – P. 50–57. – URL: <https://cloud.mail.ru/public/FBMT/KugeZk8F7/TOM08.pdf> (accessed: 30.10.2016). [in Russian]

12. Davydov A. P. The Young's interference experiment in the light of the single-photon modeling of the laser radiation [Electronic resource] / A. P. Davydov, T. P. Zlydneva // Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016). – 2016. – P. 208–215. – URL: <http://www.atlantis-pess.com/php/pub.php?publication=itsmssm-16> (accessed: 30.10.2016).

13. Davydov A. P., Zlydneva T. P. O reljativistskoj invariantnosti uravnenija nepreryvnosti v kvantovoj mehanike fotona [On the relativistic invariance of the continuity equation in photon quantum mechanics] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2016. – №4 (46). – Part 6. – P. 134–137. doi: 10.18454/IRJ.2016.46.145 [in Russian]

14. Davydov A. P. Linearizacija volnovykh uravnenij dlja potencialov svobodnogo jelektromagnitnogo polja s cel'ju ego kvantovomehanicheskogo opisanija [The linearization of the wave equations for the free electromagnetic field potentials with a view to its quantum-mechanical description] / A. P. Davydov // Problemy fiz.-mat. obrazovanija v pedagogich. vuzah Rossii na sovrem. etape: tez. dokl. mezhvuz. nauch.-praktich. konf. [Problems of phys.-mathematical education in pedagogical universities of Russia at the present stage: abstracts interuniversity scientific-practical conf.] / Magnitogorskij gos. ped. in-t [Magnitogorsk State pedagogical Institute]. Magnitogorsk: MGPI, 1996. – P. 116–120. [in Russian]



*«Международный научно-исследовательский журнал» включен в базу данных **WorldCat**.*

WorldCat — крупнейшая в мире библиографическая база данных, насчитывающая свыше 240 млн записей о всех видах произведений на 470 языках мира. База создается совместными усилиями более чем 72 тыс. библиотек из 170 стран мира в рамках организации OCLC.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.081

Калытка В.А.¹, Оспанов Б.С.², Байдилядина Ж.Б.³, Рымханов Е.С.⁴¹Кандидат физико-математических наук, доцент, ²магистрант,³преподаватель кафедры энергетических систем, ⁴магистрант,

Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан

КВАНТОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**Аннотация**

Исследуется квантовый механизм миграционной поляризации в слоистых кристаллах в переменном электрическом поле в области низких температур. Вычисляется неравновесная матрица плотности для ансамбля невзаимодействующих протонов движущихся в одномерном многоямыном прямоугольном потенциальном рельефе возмущенном переменным поляризующим полем. Результаты квантово – механического исследования миграционной поляризации могут быть использованы при изучении туннельного механизма спонтанной поляризации сегнетоэлектриков (KDP, DKDP).

Ключевые слова: кристаллы с водородными связями (КВС); миграционная поляризация; протонная релаксация; неравновесная матрица плотности для протонов.

Kalytka V.A.¹, Ospanov B.S.², Baidildina Zh.B.³, Rymhanov Y.S.⁴¹PhD in Physics and Mathematics, Associate professor, ²Postgraduate student,³Lecturer in energy systems, ⁴postgraduate student,

Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan

QUANTUM ELECTRICAL PHENOMENA AT LOW TEMPERATURES**Abstracts**

Quantum mechanism of interlayer polarization in layered crystals in alternating electric field in the limits of low temperatures is studied. Unbalanced density matrix is calculated for the ensemble of noninteracting protons, moving in one-dimension multipit potential image of rectangular shape disturbed by variable polarizing field. Results of quantum-mechanical investigation of migratory polarization may be used in the study of tunnel mechanism of spontaneous polarization of ferroelectrics (KDP, DKDP).

Keywords: hydrogen – bonded crystals (HBC); interlayer polarization; proton relaxation; unbalanced proton density matrix.

Introduction

The investigating of nonlinear electrophysical, magnetic and optical properties of instrumental and constructional materials with compound structure of the crystal lattice (layered crystals, ceramics, MDS - structures) is an actual scientific - technical task, which decision should be built in a complex, on a combination of the experimental and theoretical results directed on detection of features of polarizing, magnetic and electrooptical effects in the field [1,2] of phase transition.

In the last 10 years considerable interest for physical materials science represents research of effects of a nanocrystalline state of dielectrics [3,4], semiconductors and a ferroelectric material in the range of low and ultralow temperatures that is important for space and medical technologies.

The kinetic phenomena excited by electric field, in various crystal structures, are reduced to the through movement of free electrons (conductivity current in conductors), diffusion –relaxation movement of interstitial ions [5, 6] (ionic conductivity and polarization in dielectrics), electronically – hole conductivity in semiconductors.

The studies of the kinetic phenomena at polarization and magnetization of a crystal, in case of distribution of carriers of a charge (or magnetic atoms) on levels of energy of a continuous range (classical statistics), has to be based on the solution of the kinetic equation of Boltzmann together with system of the equations of Maxwell under the set boundary conditions [1]. In a case distribution of particles on levels of energy of a diskette range research of statistical properties of system, in lack of degeneration, has to rely on quantum statistics of Boltzmann [2], and kinetics of polarizing and magnetic processes on the quantum kinetic equation of Liouville allowing to calculate the statistical operator of system depending on structure of its Hamiltonian revolted with an external field. From this point of view electrophysical and magnetic properties of various crystals in the wide range of tension of electric and magnetic fields and temperatures can be investigated on the basis of the uniform kinetic theory allowing to calculate experimentally measured macroscopic characteristics (polarization, magnetization) and, on this basis parameters of a crystal lattice and molecular parameters [2] the relaxing particles.

1. Unbalanced density matrix of many-particle system in external perturbations

We will consider a system of interacting particles (relaxation oscillator) moving in a steady crystal potential field

$\hat{W}_{0,S}(\vec{r})$. Unperturbed Hamiltonian of separate particle [1] says

$$\hat{H}_s^{(0)} = -\frac{\hbar^2}{2m} \hat{\nabla}^2 + \hat{W}_{0,S}(\vec{r}) \quad (1)$$

The particles are distributed over the energy levels of the discrete spectrum $E_n^{(0)}$, according to the [3] Liouville equation

$$\frac{\partial \hat{\rho}_s^{(0)}}{\partial t} + \frac{1}{i\hbar} [\hat{\rho}_s^{(0)}; \hat{H}_s^{(0)}] = 0, \quad (2)$$

describes by the unperturbed stationary statistical operator

$$\hat{\rho}_S^{(0)} = N_F [Z_S^{(0)}]^{-1} \exp \left(-\frac{\hat{H}_S^{(0)}}{k_B T} \right) \quad (3)$$

where $Z_S^{(0)} = \sum_{n=0}^{\infty} \exp \left(-\frac{E_n^{(0)}}{k_B T} \right)$ – statistic sum of system; N_F – full quantity of particles in system. Unperturbed equilibrium (balanced) density matrix of the system takes the form

$$\hat{\rho}_{S,n}^{(0)}(E_n^{(0)}) = N_F [Z_S^{(0)}]^{-1} \exp \left(-\frac{E_n^{(0)}}{k_B T} \right), \quad (4)$$

When imposing on a crystal of external perturbation $\hat{W}(\vec{r}; t)$, system of particles with Hamiltonian $\hat{H}_S = \hat{H}_S^{(0)} + \hat{W}(\vec{r}; t)$, described by the equation [3] of Liouville

$$\frac{\partial \hat{\rho}_S}{\partial t} + \frac{1}{i\hbar} [\hat{\rho}_S; \hat{H}_S] = 0 \quad (5)$$

The solution of the operator equation (5), in the first approximation of perturbation theory is constructed in the form $\hat{\rho}_S = \hat{\rho}_S^{(0)} + \delta \hat{\rho}_S(\vec{r}; t)$ [7], in the steady indignant state, going to asymptotic approach for the revolting amendment $\delta \hat{\rho}_S(\vec{r}; \infty)$, write indignant stationary statistical system operator

$$\hat{\rho}_S = N_F [Z_S]^{-1} \exp \left(-\frac{\hat{H}_S}{k_B T} \right), \quad (6)$$

In (6) $Z_S = \sum_{n=0}^{\infty} \exp \left(-\frac{E_n}{k_B T} \right)$ – the statistical sum of indignant states. The indignant equilibrium (balanced) density matrix of systems has the form

$$\hat{\rho}_{S,n}(E_n) = N_F [Z_S]^{-1} \exp \left(-\frac{E_n}{k_B T} \right), \quad (7)$$

In (7), power range of particles E_n it is calculated taking into account stationary indignation $\delta \hat{W}(\vec{r}) = \hat{W}(\vec{r}; \infty)$, in the linear approximation of the perturbation theory $|\delta \hat{W}_{n,m}| \ll |E_{n,m}^{(0)}|$ [4], so $E_n = E_n^{(0)} + \Delta E_n$, where $\Delta E_n = E_n^{(1)} = \langle n | \delta \hat{W} | n \rangle$. For large periods of oscillation of the external field, accepting $\hat{W}(\vec{r}; t) \rightarrow \delta \hat{W}(\vec{r})$ [1, 2], we receive the quasi stationary indignant range of energy

$$E_n(t) = E_n^{(0)} + \Delta E_n(t). \quad (8)$$

In (8) the expression $\Delta E_n(t) = \int_V \psi_n^+ \hat{W}(\vec{r}; t) \psi_n dV$ is calculated as the slowly changed in time function.

According to (8), transform (7) into the type

$$\hat{\rho}_{S,n}(E_n) = N_F \frac{\exp \left(-\frac{E_n^{(0)} + \Delta E_n(t)}{k_B T} \right)}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp \left(-\frac{E_n^{(0)} + \Delta E_n(t)}{k_B T} \right)}, \quad (9)$$

owing in the field of low indignations to $\frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \ll 1$ and taking into account (4), we receive approximate expression

$$\hat{\rho}_{S,n}(E_n^{(0)}; t) = \hat{\rho}_{S,n}^{(0)}(E_n^{(0)}) \times \left(\frac{1 - \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T}}{1 - \left\langle \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \right\rangle_0} \right). \quad (10)$$

In (10) accepted the designation

$$\left\langle \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \right\rangle_0 = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \exp\left(-\frac{E_n^{(0)}}{k_B T}\right) \right]}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp\left(-\frac{E_n^{(0)}}{k_B T}\right)} \quad (11)$$

According to $\xi = \left\langle \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \right\rangle_0 \ll 1$ [1], getting an approximate density matrix

$$\hat{\rho}_{S,n}(E_n) = \hat{\rho}_{S,n}^{(0)}(E_n^{(0)}) \times \left(1 + \left\langle \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \right\rangle_0 - \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} - \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \left\langle \frac{\Delta E_n(t)}{k_B T} \right\rangle_0 \right) \quad (12)$$

2. Quantum effects under polarization of dielectrics at low temperatures

The analysis of the experimental spectra of specific volumetric electric conductivity and tangent of dielectric losses of solid dielectrics with compound crystalline structure (layered minerals, ceramics) showed. That at high temperatures ($T = 100 - 450$ K) mechanism of dielectric relaxation is reduced to a thermo - activated threw relaxators (ions, dipoles) at the fastening (lattice sites) in the direction power lines (towards the electric lines) of the polarizing field (for cations; cation vacancies) or against the field (for anions, anion vacancies) [2].

The most effective relaxation polarization, is shown in hydrogen bonded crystals (HBC), classified by electrophysical properties in the voltage range of the polarizing field $E_{Pol} \approx 10^5 \div 10^6 \frac{V}{m}$ and temperatures $T = 100 \div 450$ K, as proton

semiconductors and dielectrics [2] and characterized by proton conductivity - diffusive transfer of hydrogen ions $[H^+]$ (protons) along the hydrogen links towards the electric lines of polarizing field [2]. The totality of the polarization processes associated with relaxation - diffusive motion of the protons in the HBC is determined as a proton relaxation. The molecular mechanism of the polarization of the hydrogen sublattice in the HBC [2] allows classifying it as a migratory polarization.

The kinetics of a proton relaxation in the field of high temperatures is rather well investigated, both experimentally, and theoretically [1]. We measured the temperature spectra of thermally stimulated depolarization currents (TCDP) and frequency - temperature spectra of the tangent of dielectric losses $tg\delta(\omega, T) = \frac{\varepsilon''(\omega, T)}{\varepsilon'(\omega, T)}$ in crystals of talc [1], mica and in plaster.

A linear theory of dielectric losses, in good agreement with measurements of the spectra of density of TCDP $J(T)$ in the HBC with a compound crystalline structure (mica, chalcantite, phlogopite) [1]. For theoretical research of a low-temperature proton relaxation, in HBC, it is not enough linear approach on the polarizing field [2]. In the range of low temperatures ($70 - 100$ K), as showed experiment, the dominating contribution to migratory polarization in layered crystals is made by tunneling of protons inside and among [2] the ions of an anion sublattice.

So, studies of the quantum properties of an ensemble of relaxing protons conducted on the basis of the unperturbed (non - disturbed) Hamiltonian of whole the system (crystal) $\hat{H}_C^{(0)} = \hat{H}_{pr}^{(0)} + \hat{H}_{ph} + \hat{H}_{pr,ph}$, without taking into account a proton - proton and a proton - phonon interaction $\hat{H}_{pr,pr} \rightarrow 0$; $\hat{H}_{pr,ph} \rightarrow 0$, in adiabatic approximation $\hat{H}_{ph} \rightarrow \text{const}$ [1]. Then, we [2] accept to approach

$$\hat{H}_C^{(0)} \rightarrow \sum_{i=1}^{N_{pr,F}} \left(\hat{H}_{pr}^{(0)} \right)_i + \text{const}, \quad \hat{H}_{pr}^{(0)} = -\frac{\hbar^2}{2m} \hat{\nabla}^2 + \hat{W}_{0,H}(\vec{r}) \quad (13)$$

where $N_{pr,F}$ - total number (full quantity) of protons relaxing at a predetermined activation energy U_0 [1]; $\hat{W}_{0,H}(\vec{r})$ - unperturbed potential image for the proton [2]. By analogy with (12) with respecting (11), in the area of low fields, write the perturbed quasi stationary proton density matrix in the linear approximation of external indignation (perturbation)

$$\hat{\rho}_{pr,n}^{(\omega)}(E_n^{(0)}; t) = \hat{\rho}_{pr,n}^{(0)}(E_n^{(0)}) \times \left\{ 1 - \frac{q E_0 \delta_0}{2 k_B T} \left(\langle \zeta \rangle_0 - \zeta_n \right) \exp(i\omega t) \right\} \quad (14)$$

In the (14) accepted the designations: $\hat{\rho}_{pr,n}^{(0)}(E_n^{(0)}) = N_{pr,F} [Z_{pr}^{(0)}]^{-1} \exp\left(-\frac{E_n^{(0)}}{k_B T}\right)$ - unperturbed balanced proton density matrix; $Z_{pr}^{(0)}$ - the statistical sum of system of the non - interacting protons distributed of levels $E_n^{(0)}$ of unperturbed energy

spectra. The parameter $\langle \bar{\zeta} \rangle_0 = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \left[\zeta_n \cdot \exp \left(-\frac{E_n^{(0)}}{k_B T} \right) \right]}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp \left(-\frac{E_n^{(0)}}{k_B T} \right)}$ determined for the $\zeta_n = \int_0^d \psi_n^+ \hat{\zeta} \psi_n dx$ – matrix element of

dimensionless coordinate $\hat{\zeta} = \frac{2\hat{x}}{\delta_0}$; d – crystal thickness. Upon based $\hat{\rho}_{pr}^{(0)}(\vec{r}) \psi_n = \rho_{pr,n}^{(0)} \psi_n$, $\hat{\rho}_{pr}^{(\omega)}(\vec{r}; t) \psi_n = \rho_{pr,n}^{(\omega)}(t) \psi_n$

[4], write the operator of the equilibrium concentration of excess

$$\delta \hat{n}_{pr}^{(\omega)}(\vec{r}; t) = \sum_{n=0}^{\infty} \psi_n^+ \delta \hat{\rho}_{pr,n}^{(\omega)}(\vec{r}; t) \psi_n \quad (15)$$

The wave functions ψ_n of stationary states $E_n^{(0)}$ were calculated in [1]. The operator of polarization of a proton subsystem, in a variation field $\hat{P}_{pr,pol}^{(\omega)} = q\hat{x} \cdot \delta \hat{n}_{pr}^{(\omega)}$ [2] taking into account (15) takes the form

$$\hat{P}_{pr,pol}^{(\omega)}(\vec{r}; t) = q\hat{x} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} |\psi_n|^2 \left(\hat{\rho}_{pr,n}^{(\omega)}(E_n^{(0)}; t) - \hat{\rho}_{pr,n}^{(0)}(E_n^{(0)}) \right) \quad (16)$$

Full quantum mechanical averaging of the operator $\hat{P}_{pr,pol}^{(\omega)}$ with the help of the wave functions of mixed states $\Psi = \sum_{k=0}^{\infty} a_k(t) \psi_k$, $\Psi^+ = \sum_{k=0}^{\infty} a_k^+(t) \psi_k$ [4], with respecting of (14), in approximation of unperturbed density matrix $\hat{\rho}_{pr,k}^{(\omega)}(E_k^{(0)}; t) \approx \rho_{pr,k}^{(0)}(E_k^{(0)})$ [1], finally gives

$$P_{pr,pol}^{(\omega)}(t) \approx \frac{q^2 \delta_0 E_0 \exp(i\omega t)}{2k_B T} \times \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \rho_{pr,k}^{(0)}(E_k^{(0)}) \times \hat{\rho}_{pr,n}^{(0)}(E_n^{(0)}) \left(\langle \bar{\zeta} \rangle_0 - \zeta_n \right) \times \right. \\ \left. \times \int_V |\psi_k|^2 \hat{x} |\psi_n|^2 dV \right\} \quad (17)$$

The expression (17) can be used for the calculating of theoretical temperature spectra of stationary (at optic frequency) dielectric constant (SDC) and frequency spectra of complex dielectric permittivity (CDP) of HBC and ferroelectrics (KDP, DKDP). Use of the device of a matrix of density to research of tunneling of protons in a hydrogen sublattice of KDP, will allow, to open, at the molecular level, the quantum nature of electro-voltage effect and to predict nonlinear electrooptical properties [5,6] of a ferroelectric material near a point of phase transition.

Список литературы/ References

1. Калытка В.А. "Аналитическое исследование термостимулированных токов деполяризации в кристаллах с водородными связями при низких температурах" // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук, по специальности 01.04.07 "физика конденсированного состояния", г. Томск, -2012. – Государственная публичная научно – техническая библиотека России. <http://library.gpntb.ru>.
2. Анненков Ю.М., Калытка В.А., Коровкин М.В. Квантовые эффекты при миграционной поляризации в нанометровых слоях протонных полупроводников и диэлектриков при сверхнизких температурах // Известия Вузов. Физика. – 2015 г. – Т. 58, № 1. – С. 35 – 41.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.: Наука, 1989. – Т.9. – 186 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. – М.: Наука, 1974. – Т. 3, – 34 с.
5. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики. М: Мир, –1981. –436 с.
6. Левин А. А., Долин С.П., Зайцев А.Р. Химическая физика. –1996. –Т. 15. – 84 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kalytka V. A. ["An analytical research of thermostimulated currents of depolarization in crystals with hydrogen communications at low temperatures"]//the Thesis for a degree of the candidate of the physicist – mathematical sciences, in the specialty 01.04.07 of ["the physicist of the condensed state"], Tomsk, -2012. – [The state public it is scientific – technical library of Russia]. <http://library.gpntb.ru>.
2. Annenkov Yu. M., Kalytka V. A., Korovkin M. V. [Quantum effects at migratory polarization in nanometer layers of proton semiconductors and dielectrics at ultralow temperatures]//News of Higher education institutions. Physics. – 2015 – V. 58, №. 1. – P. 35 – 41.
3. Landau L. D., Lifshits E. M. [Statistical physics]. – M: Nauka, 1989. – V.9. – P. 186.
4. Landau L. D., Lifshits E. M. [Quantum mechanics]. – M: Nauka, 1974. – V. 3, – P. 34.
5. Layns M., Glass A. [Ferroelectrics]. M: Mir, –1981. – P. 436.
6. Levin A. A., Dolin S. P., Zaytsev A.P. [Chemical physics]. –1996. – V. 15. – P. 84.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.160

Красий Н.П.

Доцент, кандидат физико-математических наук,
Донской государственный технический университет*Данная работа выполнена в рамках плана научных работ кафедры высшей математики ДГТУ при поддержке
РФФИ (грант № 16-01-00184а)***ОПТИМИЗАЦИЯ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ С ДВУМЯ СТРУКТУРАМИ
И НЕЗАВИСИМЫМИ ПРИОРИТЕТАМИ****Аннотация**

Представлены обоснование и математическая модель задачи принятия оптимальных решений при распределении независимых приоритетов между двумя конкурирующими структурами, взаимодействующими в единой системе. Исследована модель квазилинейного типа с независимыми приоритетами. Приведены условия существования точек глобального максимума целевой функции арбитра и описание этих точек. Рассмотрены специфические ситуации, когда достаточное условие наличия экстремума не выполняется или выполняется только для одного из приоритетов. Приведен пример для случая постоянных приоритетов.

Ключевые слова: квазилинейная модель, оптимизация, глобальный максимум, случайные приоритеты, максимальная эффективность, взаимодействие структур.

Krasiy N.P.

Associate professor, PhD in Physics and Mathematics,
Don State Technical University*This work was performed as part of the plan of scientific work of the Department of Higher Mathematics at Rostov
scientists supported by the RFBR (grant number 16-01-00184a)***OPTIMIZATION OF QUASI-LINEAR MODELS OF SYSTEMS WITH TWO STRUCTURES
AND INDEPENDENT PRIORITIES****Abstract**

Explanation and mathematical model of the problem of optimal decision making is presented in the case when two independent priorities are distributed among two competing structures interacting in a single system. A model of quasi-linear type with independent priorities is investigated. Conditions of existence and uniqueness of points of global maximum and description of these points are given. Specific situations where sufficient conditions for the existence of extremum are not fulfilled or are fulfilled for only one of the priorities are considered. An example in the case of constant priorities is given.

Keywords: quasi-linear model, optimization, global maximum, random priorities, maximum efficiency, interaction structures.

Подавляющее большинство организаций состоит из нескольких взаимодействующих между собой структур, цели которых зачастую разнонаправлены. Речь идет об организациях разного уровня – от некоторого отдельно взятого предприятия, до целой отрасли, управляемой министерством. Нередко работники управляющих подразделений – арбитры, принимающие решения по обеспечению деятельности такой организации на основании рекомендаций неких экспертов, сталкиваются с проблемой такого распределения приоритетов между ее внутренними структурами, чтобы вся организация имела при этом максимальную эффективность. Возник вопрос о возможности применения математических методов решения этой задачи. В работах [1], [2] представлена математическая формализация задачи, которая показала, что расставляемые приоритеты логично считать случайными величинами, причем решение оптимизационной задачи зависит как от их характера, так и от количества структур, входящих в систему.

Представляемая модель описывает систему с двумя структурами, целевые функции которых «квазилинейного» вида

$$F_1(x) = \left(\sum_{i=1}^n a_i x_i + b \right) I_{\left\{ \sum_{i=1}^n a_i x_i + b > 0 \right\}} \text{ и } F_2(x) = \left(\sum_{i=1}^n c_i x_i + d \right) I_{\left\{ \sum_{i=1}^n c_i x_i + d > 0 \right\}}$$

заданы в пространстве R^n , неотрицательны, не обращаются в ноль и дважды непрерывно дифференцируемы на открытых множествах $B = \{F_1 > 0\}$ и $D = \{F_2 > 0\}$ соответственно, причём пересечение этих множеств непусто и $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in B \cap D$.

Пусть $\alpha_i = \alpha_i(\omega)$, $i=1,2$ — произвольные независимые случайные величины, принимающие значения на некоторых множествах $A_i \subset [0;1]$ каждая, определенные на некотором вероятностном пространстве (Ω, \mathcal{F}, P) , где $\Omega = A_1 \cap A_2$. Естественно предполагать, что

$$P(\alpha_i > 0) > 0 \text{ и } P(\alpha_i < 1) > 0, i=1,2. \quad (1)$$

Следуя идеологии работ [1], [2] целевая функция арбитра при этом имеет вид

$$F = E(F_1^{\alpha_1}) E(F_2^{\alpha_2}). \quad (2)$$

Для определения ситуаций, когда существуют точки локальных и глобальных максимумов функции $F(x)$, найдем ее частные производные:

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = a_i E(\alpha_1 F_1^{\alpha_1-1}) E(F_2^{\alpha_2}) + c_i E(F_1^{\alpha_1}) E(\alpha_2 F_2^{\alpha_2-1})$$

(возможность дифференцирования под знаком интеграла обосновывается следствием 2.8.7 из [3]). Из того, что $x \in B \cap D$, и из условий (1) вытекает, что $E(\alpha_1 F_1^{\alpha_1-1}) > 0$ и $E(\alpha_2 F_2^{\alpha_2-1}) > 0$. Таким образом, существование точки $x \in B \cap D$, в которой $\frac{\partial F}{\partial x_i}(x) = 0$ при всех $i = 1, 2, \dots, n$, равносильно выполнению следующих условий:

- 1) существует такое число $c > 0$, что $\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$ выполняются равенства

$$c_i = -c a_i; \quad (3)$$

- 2) существует точка $x \in B \cap D$ такая, что

$$\frac{E(\alpha_1 F_1^{\alpha_1-1}(x)) E(F_2^{\alpha_2}(x))}{E(F_1^{\alpha_1}(x)) E(\alpha_2 F_2^{\alpha_2-1}(x))} = c. \quad (4)$$

Для $x \in B \cap D$ рассмотрим функцию $g(x) = E(\alpha_1 F_1^{\alpha_1-1}(x)) E(F_2^{\alpha_2}(x)) - c E(F_1^{\alpha_1}(x)) E(\alpha_2 F_2^{\alpha_2-1}(x))$. Ясно, что (4) совпадает с $g(x) = 0$.

Начиная с этого момента, будем предполагать, что условие (3) выполнено. Введем в рассмотрение функции:

$$F(t) := F(x) \Big|_{\sum_{i=1}^n a_i x_i = t} = E((t+b)^{\alpha_1}) E((-ct+d)^{\alpha_2}),$$

$$g(t) := g(x) \Big|_{\sum_{i=1}^n a_i x_i = t} = E(\alpha_1 (t+b)^{\alpha_1-1}) E((-ct+d)^{\alpha_2}) - c E((t+b)^{\alpha_1}) E(\alpha_2 (-ct+d)^{\alpha_2-1}).$$

Так как для $x \in B \cap D$ выполняются неравенства $\sum_{i=1}^n a_i x_i + b > 0$ и $\sum_{i=1}^n c_i x_i + d > 0$, то область определения функций $F(t)$ и $g(t)$ описывается неравенствами $t+b > 0$ и $-ct+d > 0$, то есть $-b < t < \frac{d}{c}$. Условие непустоты области $B \cap D$ равносильно условию

$$-b < \frac{d}{c}. \quad (5)$$

Итак, доказана следующая

Теорема 1. Для того, чтобы функция $F(x)$, заданная равенствами (1) и (2), имела стационарные точки, необходимо выполнение условий (3) и (5).

Теорема 2. Пусть выполняются условия (3), (5) и условие

$$P(0 < \alpha_i < 1) > 0, \quad i = 1, 2. \quad (6)$$

Тогда уравнение $g(t) = 0$ имеет единственный корень $t = t^* \left(-b < t^* < \frac{d}{c} \right)$ и все точки гиперплоскости

$\sum_{i=1}^n a_i x_i = t^*$ являются точками глобального максимума функции $F(x)$.

Доказательство. Дифференцируя под знаком интеграла (возможность такого дифференцирования опять обосновывается следствием 2.8.7 из [3]), получаем:

$$g'(t) = E(\alpha_1 (\alpha_1 - 1) (t+b)^{\alpha_1-2}) E((-ct+d)^{\alpha_2}) - 2c E(\alpha_1 (t+b)^{\alpha_1-1}) E(\alpha_2 (-ct+d)^{\alpha_2-1}) + c^2 E((t+b)^{\alpha_1}) E(\alpha_2 (\alpha_2 - 1) (-ct+d)^{\alpha_2-2}).$$

Так как в силу условия (5) $t+b > 0$ и $-ct+d > 0$, то $E((t+b)^{\alpha_1}) > 0$ и $E((-ct+d)^{\alpha_2}) > 0$, а из условия (6) вытекает, что $E(\alpha_1 (t+b)^{\alpha_1-1}) E(\alpha_2 (-ct+d)^{\alpha_2-1}) > 0$, $E(\alpha_1 (\alpha_1 - 1) (t+b)^{\alpha_1-2}) < 0$ и $E(\alpha_2 (\alpha_2 - 1) (-ct+d)^{\alpha_2-2}) < 0$. Следовательно, $g'(t) < 0$ при $-b < t < \frac{d}{c}$ и непрерывная функция $g(t)$ строго монотонно убывает на этом интервале.

Покажем теперь, что $g(t) \uparrow +\infty$ при $t \downarrow -b$. Обозначим

$$\begin{aligned} A &= \{0 < \alpha_1 < 1\} \cap \{0 < \alpha_2 < 1\}, \quad A_{00} = \{\alpha_1 = 0\} \cap \{\alpha_2 = 0\}, \quad A_{11} = \{\alpha_1 = 1\} \cap \{\alpha_2 = 1\}, \\ A_{01} &= \{\alpha_1 = 0\} \times \{\alpha_2 = 1\}, \quad A_{10} = \{\alpha_1 = 1\} \cap \{\alpha_2 = 0\}, \\ A_{02} &= \{\alpha_1 = 0\} \cap \{0 < \alpha_2 < 1\}, \quad A_{12} = \{\alpha_1 = 1\} \cap \{0 < \alpha_2 < 1\}, \\ A_0 &= \{0 < \alpha_1 < 1\} \cap \{\alpha_2 = 0\}, \quad A_1 = \{0 < \alpha_1 < 1\} \cap \{\alpha_2 = 1\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Имеем:

$$g(t) = E(\alpha_1(t+b)^{\alpha_1-1}(-ct+d)^{\alpha_2} I_A) - cE((t+b)^{\alpha_1} \alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_A) + \\ + P(A_{10}) + (d-b-2ct)P(A_{11}) - cP(A_{01}) - cE(\alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_{A_{02}}) + \\ + E((-ct+d)^{\alpha_2} I_{A_{12}}) - c(t+b)E(\alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_{A_{12}}) + \\ + E(\alpha_1(t+b)^{\alpha_1-1} I_{A_0}) + E(\alpha_1(t+b)^{\alpha_1-1} I_{A_1})(-ct+d) - cE((t+b)^{\alpha_1} I_{A_1}).$$

Так как $(t+b)^{\alpha_1} \downarrow +0$ при $t \downarrow -b$, то, применяя условие (6), по теореме Леви получаем, что при $t \downarrow -b$ $E(\alpha_1(t+b)^{\alpha_1-1}(-ct+d)^{\alpha_2} I_A) \uparrow +\infty$, $E((t+b)^{\alpha_1} \alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_A) \downarrow 0$, $(t+b)E(\alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_{A_{12}}) \downarrow 0$, $E(\alpha_1(t+b)^{\alpha_1-1} I_{A_0}) \uparrow +\infty$, $E((t+b)^{\alpha_1} I_{A_1}) \downarrow 0$ и $E(\alpha_1(t+b)^{\alpha_1-1} I_{A_1})(-ct+d) \uparrow +\infty$ откуда вытекает требуемое утверждение.

Аналогично доказывается, что $g(t) \downarrow -\infty$ при $t \uparrow \frac{d}{c}$.

Нами показано, что $g(t)$ — непрерывная строго убывающая на интервале $\left(-b, \frac{d}{c}\right)$ функция, принимающая на нем

все действительные значения, а значит, уравнение $g(t) = 0$ имеет единственный корень $t = t^*$. Кроме того ясно, что

$F'(t) = g(t)$ и $F''(t) = g'(t) < 0$, то есть t^* — единственная точка локального максимума функции $F(t)$, а, значит, и единственная точка глобального максимума на $\left(-b, \frac{d}{c}\right)$. Следовательно, все точки гиперплоскости

$\sum_{i=1}^n a_i x_i = t^*$ являются точками глобального максимума функции $F(x)$. Теорема доказана [4].

Замечание 1. Пусть выполняются условия (3), (5), а условие (6) не выполняется. Учитывая (1) и обозначения (7), имеем: $q_i := P(\alpha_i = 0) > 0$, $p_i := P(\alpha_i = 1) > 0$ и $p_i + q_i = 1$, $i = 1, 2$, а также $P(A_{00}) = q_1 q_2$, $P(A_{11}) = p_1 p_2$, $P(A_{01}) = q_1 p_2$, $P(A_{10}) = p_1 q_2$ и $q_1 q_2 + p_1 p_2 + q_1 p_2 + p_1 q_2 = 1$. В этом случае

$$F(x) = P(A_{00}) + F_1(x)F_2(x)P(A_{11}) + F_2(x)P(A_{01}) + F_1(x)P(A_{10}), \quad x \in B \cap D, \text{ а} \\ F(t) = q_1 q_2 + (t+b)(-ct+d)p_1 p_2 + (-ct+d)q_1 p_2 + (t+b)p_1 q_2 = \\ = ((t+b)p_1 + q_1)(-ct+d)p_2 + q_2) = \\ = -cp_1 p_2 t^2 + [(d-bc)p_1 p_2 + p_1 q_2 - cq_1 p_2]t + (bp_1 + q_1)(dp_2 + q_2), \quad -b < t < \frac{d}{c}.$$

Таким образом, график функции $F(t)$ — парабола с ветвями, направленными вниз, имеющая 2 точки пересечения с осью абсцисс (очевидно, что $D > 0$), а её точкой глобального максимума является вершина параболы с абсциссой

$$t^* = \frac{(d-bc)p_1 p_2 + p_1 q_2 - cq_1 p_2}{2cp_1 p_2} = \frac{1}{2c} \left(d - \frac{q_2}{p_2} \right) - \frac{1}{2} \left(b - \frac{q_1}{p_1} \right) \text{ для } \forall c > 0, \text{ причём}$$

$$F(t^*) = \frac{p_1 p_2}{4c} (cb+d)^2 + \frac{p_1 q_2 + cp_2 q_1}{2c} (cb+d) + \frac{3}{4} \left(q_1 + q_2 - p_1 q_2 \left(1 + \frac{q_2}{cp_2} \right) - p_2 q_1 \left(1 + \frac{q_1}{p_1} \right) \right), \text{ а все точки}$$

гиперплоскости $\sum_{i=1}^n a_i x_i = t^*$ являются точками глобального максимума функции $F(x)$ [5].

Замечание 2. Пусть выполняются условия (3), (5), а условие (6) выполнено только для одного из приоритетов, например, для α_2 . То есть, учитывая обозначения (7), $\Omega = A_{00} \cup A_{11} \cup A_{01} \cup A_{10} \cup A_{02} \cup A_{12}$. Тогда

$$g(t) = P(A_{10}) + (d-b-2ct)P(A_{11}) - cP(A_{01}) - cE(\alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_{A_{02}}) + \\ + E((-ct+d)^{\alpha_2} I_{A_{12}}) - c(t+b)E(\alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_{A_{12}}), \\ g'(t) = -2cP(A_{11}) + c^2 E(\alpha_2(\alpha_2-1)(-ct+d)^{\alpha_2-2} I_{A_{02}}) - 2cE(\alpha_2(-ct+d)^{\alpha_2-1} I_{A_{12}}) + \\ + c^2(t+b)E(\alpha_2(\alpha_2-1)(-ct+d)^{\alpha_2-2} I_{A_{12}}).$$

Так как из условия (6) для α_2 следует, что $E(\alpha_2(\alpha_2-1)(-ct+d)^{\alpha_2-2}) < 0$, то очевидно, что $g'(t) < 0$ при $-b < t < \frac{d}{c}$ (аналогично доказательству теоремы 2).

Так же, опираясь на доказательство теоремы 2, нетрудно показать, что $g(t) \downarrow -\infty$ при $t \uparrow \frac{d}{c}$, но при $t \downarrow -b$ $g(t) \uparrow a$, где $a = \text{const}$:

$$a = P(A_{10}) + (d - b + 2cb)P(A_{11}) - cP(A_{01}) - cE\left(\alpha_2(cb + d)^{\alpha_2-1} I_{A_{02}}\right) + E\left((cb + d)^{\alpha_2} I_{A_{12}}\right) \text{ и если } a \geq 0,$$

то, как и в теореме 2, в результате имеем единственный корень $t = t^*$ с такими же выводами, а если $a < 0$, то корней уравнения $g(t) = 0$ нет и нет точек глобального максимума функции $F(x)$.

Покажем, что число a может иметь разные знаки. Пусть $\alpha_2 = \text{const}$ ($0 < \alpha_2 < 1$), тогда, используя обозначения замечания 1,

$$a = (cb + d)^{\alpha_2} p_1 - c\alpha_2 (cb + d)^{\alpha_2-1} q_1 = \frac{(cb + d)p_1 - c\alpha_2 q_1}{(cb + d)^{1-\alpha_2}}.$$

Чтобы $a \geq 0$, нужно чтобы знаки числителя и знаменателя дроби совпадали. Если $cb + d \geq 0$, то таким условием является неравенство $\alpha_2 \leq \frac{(cb + d)p_1}{cq_1}$. Например, при $b = 1$, $d = 5$, $c = 2$, $q_1 = \frac{9}{10}$ имеем $\alpha_2 \leq \frac{7}{18}$. То есть, при $\alpha_2 = \frac{1}{3}$

$a \geq 0$ и единственное решение существует, а при $\alpha_2 = \frac{3}{4}$ $a < 0$ и решения нет.

Если $cb + d < 0$, то числитель не может быть положителен, так как неравенство $\alpha_2 \leq \frac{(cb + d)p_1}{cq_1}$ невыполнимо.

Значит, наличие решения зависит от отрицательности знаменателя. Так как $0 < \alpha_2 < 1$, предположим, что $\alpha_2 \in Q$ и $\alpha_2 = \frac{m}{n}$. Знаменатель отрицателен при выполнении условий: n нечётное, $n - m$ нечётное. Например, при $b = -3$,

$d = -1$, $c = 2$, $q_1 = \frac{9}{10}$ для $\alpha_2 = \frac{4}{5}$ условия выполнены, $a \geq 0$ и единственное решение существует, а при $\alpha_2 = \frac{3}{4}$

или $\alpha_2 = \frac{3}{5}$ $a < 0$ и решения нет [5].

Пример. Пусть $\alpha_i = \text{const}$ ($0 < \alpha_i < 1$), $i = 1, 2$. Тогда уравнение (4) принимает вид:

$$c = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot \frac{F_2(x)}{F_1(x)} \text{ или } c = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot \frac{-ct + d}{t + b}.$$

Единственным корнем этого уравнения является $t^* = \frac{\alpha_1 d - \alpha_2 cb}{c(\alpha_1 + \alpha_2)}$, а глобальным максимумом –

$$F(t^*) = \frac{\alpha_1^{\alpha_1} \alpha_2^{\alpha_2}}{c^{\alpha_1}} \left(\frac{cb + d}{\alpha_1 + \alpha_2} \right)^{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

В случае, когда $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, результат соответствует примеру 1, представленному в работе [2]:

$$t^* = \alpha_1 \left(b + \frac{d}{c} \right) - b \text{ и } F(t^*) = \frac{\alpha_1^{\alpha_1} (1 - \alpha_1)^{1 - \alpha_1}}{c^{\alpha_1}} (cb + d) \text{ с соответствующими выводами.}$$

Список литературы/ References

1. Вагин В.С. Оптимизация квазилинейных моделей сложных систем с учетом вероятностного характера приоритетов. / В.С. Вагин, И.В. Павлов // Международная конференция “XXVI Крымская осенняя математическая школа-симпозиум по спектральным и эволюционным задачам”. – Сборник тезисов. – 2015. – С. 109.
2. Вагин В.С., Павлов И.В. Моделирование и оптимизация квазилинейных сложных систем с учетом вероятностного характера приоритетов. // Вестник РГУПС, 2016, №1(61), С. 135–139.
3. Богачев В.И. Основы теории меры. / В.И. Богачев. – Москва-Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2006. – Т. 1. – С. 584.
4. Красий Н.П. Оптимизация квазилинейных моделей с независимыми приоритетами. // Современные методы и проблемы теории операторов и гармонического анализа и их приложения – VI, Ростов-на-Дону, 24-29 апреля 2016 г., материалы конференции, С. 134-135.
5. Красий Н.П. О некоторых особых случаях оптимизации квазилинейных моделей с независимыми приоритетами // Международная конференция “XXVII Крымская осенняя математическая школа-симпозиум по спектральным и эволюционным задачам”. – Сборник тезисов. – 2016. – С. 110.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vagin V.S. Optimizatsiya kvazilineynykh modeley slozhnykh system s uchetoм veroyatnostnogo haraktera prioritetov. [Optimization of quasi-linear models of complete systems in view of random nature of priorities.] / V.S. Vagin, I.V. Pavlov // Mezhdunarodnaya konferentsiya “ XXVI Krymskaya osenniyaya matematischeeskaya shkola-simpozium po spektralnim i evolyuzionnim zadatcham” [International Conference “KROMSH-XXVI”. Abstracts.] – 2015. – P. 109. [in Russian]

2. V.S. Vagin, I.V. Pavlov. Modelirovanie i optimizatsiya kvazilineynykh slozhnykh system s uchedom veroyatnostnogo haraktera prioriteto. [Modeling and Optimization of quasi-linear complete systems in view of random nature of priorities.] // Vestnik RGUPS [Vestnik RGUPS], 2016, №1(61), P. 135–139. [in Russian]
3. Bogachev, V.I. Osnovy teorii mery. [Foundations of Measure Theory.] / V.I. Bogachev. – Moskva-Ijevsk: NITs Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika [Moscow-Izhevsk: Scientific and Publishing Center Regular and chaotic dynamics], 2006. – V. 1. – P. 584. [in Russian]
4. Krasiy N.P. Optimizatsiya kvazilineynykh modeley s nezavisimimi prioritetami. [Optimization of quasi-linear models with independent priorities] // Sovremennye metody i problemi teorii operatorov i garmonicheskogo analiza i ih prilozheniya [Modern methods and problems of operator theory and harmonic analysis and their applications] – VI, Rostov-on-Don, 24-29 April 2016, P. 134-135. [in Russian]
5. Krasiy N.P. O nekotorykh osobykh sluchayah optimizatsiyi kvazilineynykh modeley s nezavisimimi prioritetami. [On some special cases of the optimization of quasi-linear models with independent priorities] // Mejdunarodnaya konferentsiya “XXVI Krymskaya osenniyaya matematicheskaya shkola-simpozium po spektralnym i evuzionnym zadacham” [International Conference “KROMSH-XXVI”. Abstracts.] – 2016. – P. 110. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.206

Проценко Е.А.¹, Кузнецова И.Ю.², Проценко С.В.³

¹Кандидат физико-математических наук, Ростовский государственный экономический университет, ²Кандидат физико-математических наук, Научно-исследовательский центр «Супер-ЭВМ и нейрокомпьютеров»,

³Магистрант, Ростовский государственный экономический университет

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проектам № 15-07-08626, № 16-3716-37-00129

ПОСТРОЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТА ВЗВЕСИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МЕЛКОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ

Аннотация

Работа посвящена математическому моделированию процессов переноса вещества в мелководных акваториях. Представлена дискретная модель транспорта взвеси в прибрежной зоне мелководных водоемов, для построения которой использован метод сеток. Для аппроксимации задачи по временной переменной применен метод расщепления на одномерно-двумерную задачу, что сокращает время расчета численной задачи. При аппроксимации задачи подъема, переноса и осаждения взвеси по пространственным переменным учтена заполненность ячеек, что повышает точность решения в случае, если расчетная область имеет сложную геометрию. Результаты математического и численного моделирования могут быть применены на практике для прогноза формирования рельефа дна, в частности, прогнозирования транспорта взвесей.

Ключевые слова: трехмерная дискретная модель, метод сеток, разностная схема, погрешность аппроксимации.

Proysenko E.A.¹, Kuznetsova I.U.², Proysenko S.V.³

¹PhD in Physics and Mathematics, Rostov State University of Economics,

²PhD in Physics and Mathematics, Research center «Supercomputers and Neurocomputers», ³Undergraduate, Rostov State University of Economics

This work was supported by RFBR project № 15-07-08626, № 16-3716-37-00129

DISCRETE MODEL OF THE TRANSPORT OF SUSPENDED MATTER IN THE COASTAL ZONE OF SHALLOW WATER AREAS

Abstract

The work is devoted to mathematical modeling of transport processes of substances in shallow waters. The article presents a discrete model of the transport of suspended matter in the coastal zone of shallow reservoirs, to build a where used grid method. For approximation tasks in a temporary variable splitting method applied to one-dimensional two-dimensional problem, which reduces the calculation time for the numerical tasks. In the approximation tasks of lifting, transport and deposition of suspended matter on the spatial variables taken into account, the occupancy of the cells, which increases the accuracy of the solution if the computational domain has complex geometry. The results of mathematical and numerical modelling can be applied in practice for the prediction of the formation of the bottom topography, in particular, prediction of sediment transport.

Keywords: three-dimensional discrete model, grid method, finite difference scheme, approximation error.

Модель распространения загрязняющих примесей в мелководном водоеме включает в себя гидродинамическую задачу мелкой воды и задачу переноса примеси [1]. Для описания транспорта взвешенных частиц использовано уравнение диффузии-конвекции-реакции, которое может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{a-b}{H} (\omega - \omega_s) \frac{\partial C}{\partial \sigma} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \left(\frac{a-b}{H} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_v \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right] + F, \end{aligned} \quad (1)$$

где C – концентрация осадка [г/л или кг/м³]; $V = \{u, v, w\}$ – составляющие поля вектора скорости [м/с]; ω_s –

гидравлическая крупность или скорость осаждения взвеси по σ -координате в вертикальном направлении [м/с]; H – глубина [м]; D_h, D_v – горизонтальный и вертикальный коэффициенты турбулентной диффузии [M^2 /сек]; x, y – координаты в горизонтальном направлении; σ -координата в вертикальном направлении; t – временная переменная [с]; F – функция, описывающая интенсивность распределения источников загрязняющих веществ.

Для построения дискретной модели транспорта взвешенных частиц использован метод сеток [2-5]. Область непрерывного изменения аргументов заменена дискретным множеством точек (узлов). Вместо функций непрерывного аргумента исследованы функции дискретного аргумента, значения которых заданы в узловых точках сетки.

Покроем расчетную область сеткой, используя допущение: расчетная область представляет собой параллелепипед, либо вписана в него.

Введем равномерную прямоугольную сетку: $\omega = \omega_x \times \omega_y \times \omega_\sigma \times \omega_t$,

$$\omega_x : \{x_i = ih_x, i = \overline{0, N_x - 1}, h_x(N_x - 1) = l_x\}, \omega_y : \{y_j = jh_y, j = \overline{0, N_y - 1}, h_y(N_y - 1) = l_y\},$$

$$\omega_\sigma : \{\sigma_k = kh_\sigma, k = \overline{0, N_\sigma - 1}, h_\sigma(N_\sigma - 1) = l_\sigma\}, \omega_t : \{t_n = n\tau, n = \overline{0, N_t}, \tau N_t = l_t\},$$

где τ – шаг по времени; h_x, h_y, h_σ – шаги по пространству; N_t – количество временных слоев; T – верхняя граница по времени; N_x, N_y, N_σ – количество узлов по пространству; l_x, l_y, l_σ – размеры параллелепипеда по координатным направлениям.

Для аппроксимации уравнения (1) по временной переменной используем схемы расщепления, при этом исходная задача расщепляется на две подзадачи. Введем вспомогательную временную сетку:

$$\omega_t'' = \omega_t' \cup \omega_t' : \left\{ t_{n+\frac{1}{2}} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\tau, n = \overline{0, N_t}, \tau N_t = l_t \right\}, \quad (2)$$

Для обозначения изменения профиля концентрации на промежуточном временном слое $t = t_n + 0,5$ будем использовать символ « \sim » над обозначением концентрации C .

Первую подзадачу представим одномерным уравнением диффузии-конвекции-реакции относительно расчетного временного слоя:

$$\begin{aligned} \frac{\tilde{C} - C}{\tau/2} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{a-b}{H} (\omega - \omega_s) \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \sigma} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \left(\frac{a-b}{H} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_v \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \sigma} \right] + F, \end{aligned} \quad (3)$$

где $C = C^n$ – значение концентрации на текущем временном слое, $\tilde{C} = C^{n+1/2}$ – значение концентрации на промежуточном временном слое.

Шаблон, который использован при решении данного уравнения, представлен на рисунке 3. Относительно расчетного временного слоя данный шаблон является трехточечным. Фиктивный или нерасчетный узел обозначен пустой точкой.

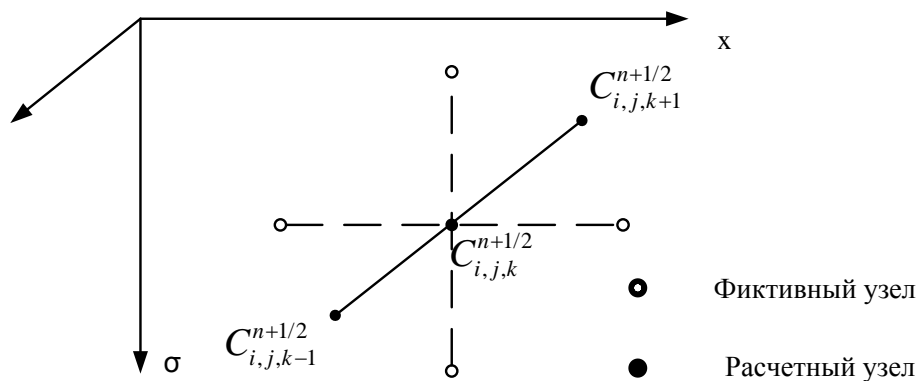


Рис. 1 – Шаблон, используемый для первой подзадачи

Введем вспомогательную временную сетку для второй подзадачи:

$$\ddot{\omega}_t = \dot{\omega}_t \cup \omega_t' : \left\{ t_{n+1} = (n+1)\tau, n = \overline{0, N_t}, \tau N_t = l_t \right\}, \quad (4)$$

Для обозначения изменения профиля концентрации на следующем временном слое $t = t_n + 1 \equiv t_{n+1}$ будем использовать символ « \rightarrow » над обозначением концентрации C .

Вторая подзадача описана следующим уравнением:

$$\frac{\bar{C} - \tilde{C}}{\tau/2} + u \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} + \frac{a-b}{H} (\omega - \omega_s) \frac{\partial \bar{C}}{\partial \sigma} =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) + \left(\frac{a-b}{H} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_v \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \sigma} \right] + F, \quad (5)$$

где $\tilde{C} = C^{n+1/2}$ – значение концентрации на промежуточном временном слое, $\bar{C} = C^{n+1}$ – значение концентрации на следующем временном слое.

Шаблон, который использован при решении данного уравнения, приведен на рисунке 2. Относительно расчетного временного слоя данный шаблон является пятиточечным.

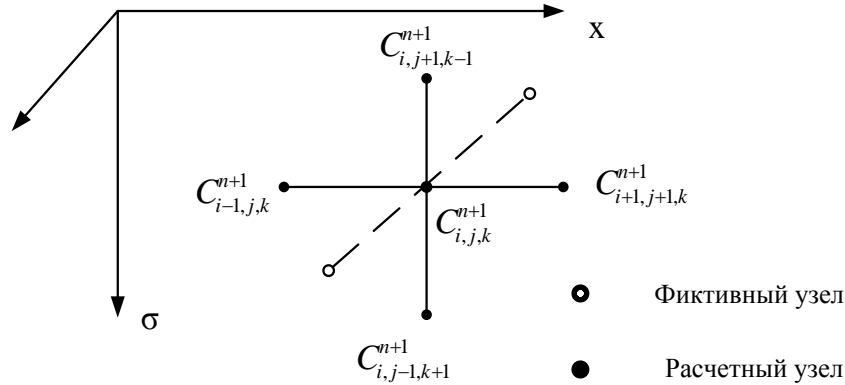


Рис. 2 – Шаблон, используемый для второй подзадачи

Согласно приведенной схеме, на первом этапе осуществляем решение системы трехдиагональных алгебраических уравнений методом прогонки в одном из направлений, в результате чего находим значения искомой функции на промежуточном $(n + 1/2)$ -м временном слое. На втором этапе находим искомое решение на верхнем $(n+1)$ -м временном слое.

Рассмотрим аппроксимацию задачи подъема, переноса и осаждения взвеси по пространственным переменным.

Для аппроксимации задачи транспорта взвесей будем учитывать заполненность ячеек, что повысит точность решения, так как расчетная область имеет сложную геометрию.

Заполненность ячейки (i, j, k) обозначим как $f_{i,j,k}$. Ячейка считается заполненной полностью когда $f_{i,j,k} = 1$. Ячейки представляют собой параллелепипеды, которые могут быть заполненными, пустыми или частично заполненными. Центры ячеек и узлы разнесены на $h_x/2$, $h_y/2$ и $h_\sigma/2$ по координатам x , y , σ соответственно. Поле скоростей и концентрация рассчитывают в вершинах ячейки, затем пересчитывают для следующих ячеек. Вершинами ячейки (i, j, k) (Рис. 3) являются узлы (i, j, k) , $(i-1, j, k)$, $(i, j-1, k)$, $(i-1, j-1, k)$, $(i-1, j, k-1)$, $(i, j-1, k-1)$, $(i-1, j-1, k-1)$.

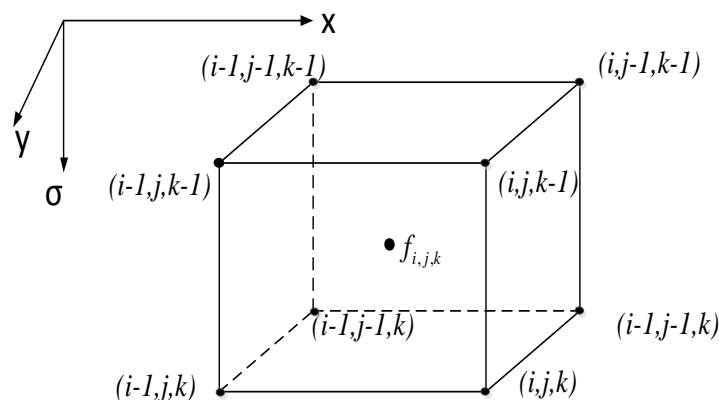


Рис. 3 – Расположение ячейки относительно прилегающих к ней узлов

Для описания заполненности контрольных областей введем коэффициенты $f_0, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$. Значение коэффициентов характеризует заполненность областей $D_0, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ соответственно (Рис.4):

$$f_0 - D_0 : \{ x \in (x_{i-1}, x_{i+1}), y \in (y_{j-1}, y_{j+1}), \sigma \in (\sigma_{k-1}, \sigma_{k+1}) \},$$

$$f_1 - D_1 : \{ x \in (x_i, x_{i+1}), y \in (y_{j-1}, y_{j+1}), \sigma \in (\sigma_{k-1}, \sigma_{k+1}) \},$$

$$\begin{aligned}
f_2 - D_2 &: \{x \in (x_{i-1}, x_i), y \in (y_{j-1}, y_{j+1}), \sigma \in (\sigma_{k-1}, \sigma_{k+1})\}, \\
f_3 - D_3 &: \{x \in (x_{i-1}, x_{i+1}), y \in (y_j, y_{j+1}), \sigma \in (\sigma_{k-1}, \sigma_{k+1})\}, \\
f_4 - D_4 &: \{x \in (x_{i-1}, x_{i+1}), y \in (y_{j-1}, y_j), \sigma \in (\sigma_{k-1}, \sigma_{k+1})\}, \\
f_5 - D_5 &: \{x \in (x_{i-1}, x_{i+1}), y \in (y_{j-1}, y_{j+1}), \sigma \in (\sigma_k, \sigma_{k+1})\}, \\
f_6 - D_6 &: \{x \in (x_{i-1}, x_{i+1}), y \in (y_{j-1}, y_{j+1}), \sigma \in (\sigma_{k-1}, \sigma_k)\}.
\end{aligned}$$

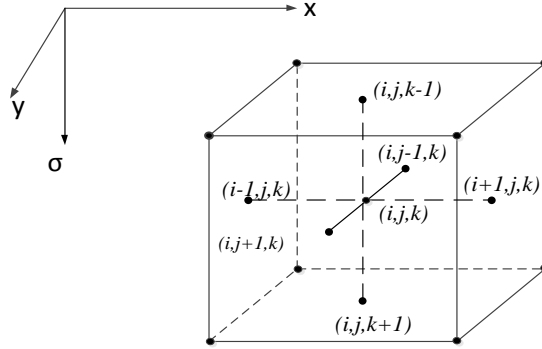


Рис.4 – Расположение расчетных узлов относительно ячеек

В окрестности узла (i, j, k) лежат ячейки $(i-1, j, k)$, $(i, j-1, k)$, $(i+1, j, k)$, $(i, j+1, k)$, $(i, j, k-1)$, $(i, j, k+1)$ (Рис. 4). Те части области D_m , которые будут заполнены, обозначим через Ω_m , где $m = \overline{0..6}$. Тогда коэффициенты f_m вычислим по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
(f_m)_{i,j,k} &= \frac{S_{\Omega_m}}{S_{D_m}}, (f_1)_{i,j,k} = \frac{o_{i+1,j,k} + o_{i+1,j+1,k} + o_{i+1,j,k+1} + o_{i+1,j+1,k+1}}{4}, \\
(f_2)_{i,j,k} &= \frac{o_{i,j,k} + o_{i,j+1,k} + o_{i,j,k+1} + o_{i,j+1,k+1}}{4}, (f_3)_{i,j,k} = \frac{o_{i+1,j+1,k} + o_{i,j+1,k} + o_{i+1,j+1,k+1} + o_{i,j+1,k+1}}{4}, \\
(f_4)_{i,j,k} &= \frac{o_{i,j,k} + o_{i+1,j,k} + o_{i,j,k+1} + o_{i+1,j,k+1}}{4}, \\
(f_5)_{i,j,k} &= \frac{o_{i,j,k+1} + o_{i+1,j,k+1} + o_{i+1,j+1,k+1} + o_{i,j+1,k+1}}{4}, \\
(f_6)_{i,j,k} &= \frac{o_{i,j,k} + o_{i+1,j,k} + o_{i+1,j+1,k} + o_{i,j+1,k}}{4}, \\
(f_0)_{i,j,k} &= \frac{1}{2} \left((f_1)_{i,j,k} + (f_2)_{i,j,k} \right).
\end{aligned}$$

Проинтегрируем по области Ω_0 уравнение (3), воспользовавшись свойством линейности интеграла, в результате получим:

$$\begin{aligned}
&\iiint_{\Omega_0} \frac{\tilde{C} - C}{\tau/2} dx dy d\sigma + \iiint_{\Omega_0} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma + \iiint_{\Omega_0} v \frac{\partial C}{\partial y} dx dy d\sigma + \\
&+ \iiint_{\Omega_0} \frac{a-b}{H} (\omega - \omega_s) \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \sigma} dx dy d\sigma = \iiint_{\Omega_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma + \\
&+ \iiint_{\Omega_0} \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial y} \right) dx dy d\sigma + \iiint_{\Omega_0} \left(\frac{a-b}{H} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_v \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \sigma} \right] dx dy d\sigma.
\end{aligned} \tag{6}$$

Вычислим каждый из полученных тройных интегралов отдельно с учетом следующих обозначений:

$$u_{i,j,k} = \frac{1}{h_x h_y h_\sigma} \iiint_{\Omega} u dx dy d\sigma, \quad v_{i,j,k} = \frac{1}{h_x h_y h_\sigma} \iiint_{\Omega} v dx dy d\sigma,$$

$$\frac{a-b}{H}(\omega-\omega_s)_{i,j,k} = \frac{1}{h_x h_y h_\sigma} \iiint_{\Omega} \frac{a-b}{H}(\omega-\omega_s) dx dy d\sigma.$$

При этом первый интеграл по области D_0 запишется в виде:

$$\iiint_{\Omega_0} \frac{\tilde{C}-C}{\tau/2} dx dy d\sigma = (f_0)_{i,j,k} \iiint_{D_0} \frac{\tilde{C}-C}{\tau/2} dx dy d\sigma = (f_0)_{i,j,k} \frac{\tilde{C}_{i,j,k}-C_{i,j,k}}{\tau/2} h_x h_y h_\sigma, \quad (7)$$

Второй интеграл в выражении (3) запишем следующим образом:

$$\begin{aligned} \iiint_{\Omega_0} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma &= \iiint_{\Omega_1} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma + \iiint_{\Omega_2} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma = \\ &= (f_1)_{i,j,k} \iiint_{D_1} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma + (f_2)_{i,j,k} \iiint_{D_2} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma. \end{aligned} \quad (8)$$

Вычислим интегралы по областям D_1 и D_2 :

$$\begin{aligned} \iiint_{D_1} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma &= \int_{\sigma_{k-1/2}}^{\sigma_{k+1/2}} d\sigma \int_{y_{j-1/2}}^{y_{j+1/2}} dy \int_{x_i}^{x_{i+1/2}} u \frac{\partial C}{\partial x} dx \approx u_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k}-C_{i,j,k}}{2} h_y h_\sigma, \\ \iiint_{D_2} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma &= \int_{\sigma_{k-1/2}}^{\sigma_{k+1/2}} d\sigma \int_{y_{j-1/2}}^{y_{j+1/2}} dy \int_{x_i}^{x_i} u \frac{\partial C}{\partial x} dx \approx u_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k}-C_{i-1,j,k}}{2} h_y h_\sigma, \end{aligned}$$

в результате получим:

$$\begin{aligned} \iiint_{\Omega_0} u \frac{\partial C}{\partial x} dx dy d\sigma &= (f_1)_{i,j,k} u_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k}-C_{i,j,k}}{2} h_y h_\sigma + \\ &+ (f_2)_{i,j,k} u_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k}-C_{i-1,j,k}}{2} h_y h_\sigma \end{aligned} \quad (9)$$

где $u_{i+1/2,j,k} = (u_{i+1,j,k} + u_{i,j,k})/2$.

Аналогично, для третьего и четвертого интеграла соответственно:

$$\begin{aligned} \iiint_{\Omega_0} v \frac{\partial C}{\partial y} dx dy d\sigma &= (f_3)_{i,j,k} v_{i,j+1/2,k} \frac{C_{i,j+1,k}-C_{i,j,k}}{2} h_x h_\sigma + \\ &+ (f_4)_{i,j,k} v_{i,j-1/2,k} \frac{C_{i,j,k}-C_{i,j-1,k}}{2} h_x h_\sigma \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \iiint_{\Omega_0} \frac{a-b}{H}(\omega-\omega_s) \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \sigma} dx dy d\sigma &= (f_5)_{i,j,k} \frac{a-b}{H}(\omega-\omega_s)_{i,j,k+1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k+1}-\tilde{C}_{i,j,k}}{2} h_x h_y + \\ &+ (f_6)_{i,j,k} \frac{a-b}{H}(\omega-\omega_s)_{i,j,k-1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k}-\tilde{C}_{i,j,k-1}}{2 h_\sigma} h_x h_y \end{aligned} \quad (11)$$

Вычислим интеграл, стоящий в правой части выражения (3):

$$\iiint_{\Omega_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma = \iiint_{\Omega_1} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma + \iiint_{\Omega_2} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma, \quad (12)$$

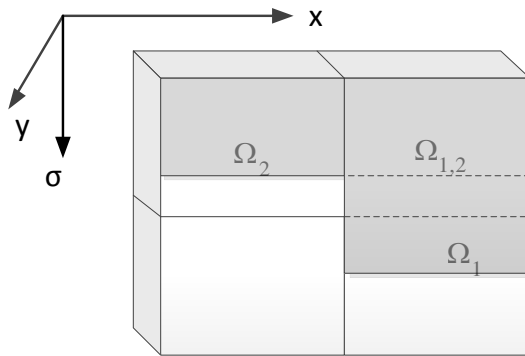


Рис. 5 – Схема заполнения областей

В выражении (12) для определенности будем полагать, что $S_{\Omega_1} > S_{\Omega_2}$, выделим из области Ω_1 фрагмент $\Omega_{1,2}$, смежный с областью Ω_2 , причем $S_{\Omega_2} = S_{\Omega_{1,2}}$ (Рис. 5).

$$\begin{aligned} \iiint_{\Omega_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma &= \iiint_{\Omega_1/\Omega_{1,2}} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma + \\ + \iiint_{\Omega_{1,2} \cup \Omega_2} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma &= ((f_1)_{i,j,k} - (f_2)_{i,j,k}) \iiint_{D_1} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma + \\ + (f_2)_{i,j,k} \iiint_{D_2} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma, \end{aligned} \quad (13)$$

Вычислим интеграл диффузионного переноса $\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right)$ по области D_0 :

$$\begin{aligned} \iiint_{D_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma &= \int_{\sigma_{k-1/2}}^{\sigma_{k+1/2}} d\sigma \int_{y_{j-1/2}}^{y_{j+1/2}} dy \int_{x_i}^{x_{i+1/2}} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx = \\ &= \left((D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{h_x} - (D_h)_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{h_x} \right) h_y h_\sigma. \end{aligned} \quad (14)$$

Вычислим интеграл от функции $\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right)$ по области D_1 :

$$\begin{aligned} \iiint_{D_1} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma &= \int_{\sigma_{k-1/2}}^{\sigma_{k+1/2}} d\sigma \int_{y_{j-1/2}}^{y_{j+1/2}} dy \int_{x_i}^{x_{i+1/2}} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx = \\ &= \left((D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{h_x} - (D_h)_{i-1/2,j,k} (\alpha_x C_{i,j,k} + \beta_x) \right) h_y h_\sigma. \end{aligned}$$

Интеграл, стоящий в правой части выражения (3), равен:

$$\begin{aligned} \iiint_{\Omega_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dy d\sigma &= \left((f_1)_{i,j,k} (D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{h_x} - \right. \\ &- (f_2)_{i,j,k} (D_h)_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{h_x} - \left. ((f_1)_{i,j,k} - (f_2)_{i,j,k}) \times \right. \\ &\times (D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{h_x} - \left. (D_h)_{i-1/2,j,k} (\alpha_x C_{i,j,k} + \beta_x) \right) h_y h_\sigma. \end{aligned} \quad (15)$$

В случае, если $S_{\Omega_2} > S_{\Omega_1}$, результат будет аналогичным. Подставим в уравнение (3) выражения (7) – (15), в результате получим дискретный аналог уравнения расчета концентрации на промежуточном временном слое:

$$\begin{aligned} (f_0)_{i,j,k} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - C_{i,j,k}}{\tau/2} h_x h_y h_\sigma &+ (f_1)_{i,j,k} u_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{2} h_y h_\sigma + \\ + (f_2)_{i,j,k} u_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{2} h_y h_\sigma &+ (f_3)_{i,j,k} v_{i,j+1/2,k} \frac{C_{i,j+1,k} - C_{i,j,k}}{2} h_x h_\sigma + \\ + (f_4)_{i,j,k} v_{i,j-1/2,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i,j-1,k}}{2} h_x h_\sigma &+ \\ + (f_5)_{i,j,k} \frac{a-b}{H} (\omega - \omega_s)_{i,j,k+1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k+1} - \tilde{C}_{i,j,k}}{2} h_x h_y &+ \\ + (f_6)_{i,j,k} \frac{a-b}{H} (\omega - \omega_s)_{i,j,k-1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - \tilde{C}_{i,j,k-1}}{2} h_x h_y &= \\ = (f_1)_{i,j,k} (D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{h_x} h_y h_\sigma &- (f_2)_{i,j,k} (D_h)_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{h_x} h_y h_\sigma + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (f_3)_{i,j,k} (D_h)_{i,j+1/2,k} \frac{C_{i,j+1,k} - C_{i,j,k}}{h_y} h_x h_\sigma - (f_4)_{i,j,k} (D_h)_{i,j-1/2,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i,j-1,k}}{h_y} h_x h_\sigma + \\
& + (f_5)_{i,j,k} \left(\frac{a-b}{H} \right)^2 (D_v)_{i,j,k+1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k+1} - \tilde{C}_{i,j,k}}{h_\sigma} h_x h_y - \\
& - (f_6)_{i,j,k} \left(\frac{a-b}{H} \right)^2 (D_v)_{i,j,k-1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - \tilde{C}_{i,j,k-1}}{h_\sigma} h_x h_y - \\
& - \left| (f_1)_{i,j,k} - (f_2)_{i,j,k} \right| \left((D_h)_{i,j,k} \alpha_x C_{i,j,k} + \beta_x \right) h_y h_\sigma - \\
& - \left| (f_3)_{i,j,k} - (f_4)_{i,j,k} \right| \left((D_h)_{i,j,k} \alpha_x C_{i,j,k} + \beta_x \right) h_x h_\sigma + F_{i,j,k} h_x h_y h_\sigma \cdot (f_0)_{i,j,k}
\end{aligned} \quad (16)$$

Разделим полученное выражение (16) на единичный объем ячейки $h_x h_y h_\sigma$, в результате получим дискретный аналог уравнения диффузии-конвекции-реакции (8) с граничными условиями третьего рода для первой подзадачи.

Учитывая, что $h_z = \frac{H}{a-b} h_\sigma$, получим:

$$\begin{aligned}
& (f_0)_{i,j,k} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - C_{i,j,k}}{\tau/2} + (f_1)_{i,j,k} u_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{2h_x} + \\
& + (f_2)_{i,j,k} u_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{2h_x} + (f_3)_{i,j,k} v_{i,j+1/2,k} \frac{C_{i,j+1,k} - C_{i,j,k}}{2h_y} + \\
& + (f_4)_{i,j,k} v_{i,j-1/2,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i,j-1,k}}{2h_y} + (f_5)_{i,j,k} (\omega - \omega_s)_{i,j,k+1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k+1} - \tilde{C}_{i,j,k}}{2h_z} + \\
& + (f_6)_{i,j,k} (\omega - \omega_s)_{i,j,k-1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - \tilde{C}_{i,j,k-1}}{2h_z} = \\
& = (f_1)_{i,j,k} (D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{h_x^2} - (f_2)_{i,j,k} (D_h)_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{h_x^2} + \\
& + (f_3)_{i,j,k} (D_h)_{i,j+1/2,k} \frac{C_{i,j+1,k} - C_{i,j,k}}{h_y^2} - (f_4)_{i,j,k} (D_h)_{i,j-1/2,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i,j-1,k}}{h_y^2} + \\
& + (f_5)_{i,j,k} (D_v)_{i,j,k+1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k+1} - \tilde{C}_{i,j,k}}{h_z^2} - (f_6)_{i,j,k} (D_v)_{i,j,k-1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - \tilde{C}_{i,j,k-1}}{h_\sigma^2} - \\
& - \left| (f_1)_{i,j,k} - (f_2)_{i,j,k} \right| (D_h)_{i,j,k} \frac{\alpha_x C_{i,j,k} + \beta_x}{h_x} - \\
& - \left| (f_3)_{i,j,k} - (f_4)_{i,j,k} \right| (D_h)_{i,j,k} \frac{\alpha_y C_{i,j,k} + \beta_y}{h_y} + F_{i,j,k} \cdot (f_0)_{i,j,k}.
\end{aligned} \quad (17)$$

Аналогично получим дискретный аналог уравнения диффузии-конвекции-реакции для второй подзадачи:

$$\begin{aligned}
& (f_0)_{i,j,k} \frac{\bar{C}_{i,j,k} - \tilde{C}_{i,j,k}}{\tau/2} + (f_1)_{i,j,k} u_{i+1/2,j,k} \frac{\bar{C}_{i+1,j,k} - \bar{C}_{i,j,k}}{2h_x} + \\
& + (f_2)_{i,j,k} u_{i-1/2,j,k} \frac{\bar{C}_{i,j,k} - \bar{C}_{i-1,j,k}}{2h_x} + (f_3)_{i,j,k} v_{i,j+1/2,k} \frac{\bar{C}_{i,j+1,k} - \bar{C}_{i,j,k}}{2h_y} + \\
& + (f_4)_{i,j,k} v_{i,j-1/2,k} \frac{\bar{C}_{i,j,k} - \bar{C}_{i,j-1,k}}{2h_y} + (f_5)_{i,j,k} (\omega - \omega_s)_{i,j,k+1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k+1} - \tilde{C}_{i,j,k}}{2h_z} + \\
& + (f_6)_{i,j,k} (\omega - \omega_s)_{i,j,k-1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - \tilde{C}_{i,j,k-1}}{2h_z} = (f_1)_{i,j,k} (D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{\bar{C}_{i+1,j,k} - \bar{C}_{i,j,k}}{h_x^2} -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -(f_2)_{i,j,k} (D_h)_{i-1/2,j,k} \frac{\bar{C}_{i,j,k} - \bar{C}_{i-1,j,k}}{h_x^2} + (f_3)_{i,j,k} (D_h)_{i,j+1/2,k} \frac{\bar{C}_{i,j+1,k} - \bar{C}_{i,j,k}}{h_y^2} - \\
& -(f_4)_{i,j,k} (D_h)_{i,j-1/2,k} \frac{\bar{C}_{i,j,k} - \bar{C}_{i,j-1,k}}{h_y^2} + (f_5)_{i,j,k} (D_v)_{i,j,k+1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k+1} - \tilde{C}_{i,j,k}}{h_z^2} - \\
& -(f_6)_{i,j,k} (D_v)_{i,j,k-1/2} \frac{\tilde{C}_{i,j,k} - \tilde{C}_{i,j,k-1}}{h_z^2} - \left| (f_1)_{i,j,k} - (f_2)_{i,j,k} \right| (D_h)_{i,j,k} \frac{\alpha_x \bar{C}_{i,j,k} + \beta_x}{h_x} - \\
& - \left| (f_3)_{i,j,k} - (f_4)_{i,j,k} \right| (D_h)_{i,j,k} \frac{\alpha_y \bar{C}_{i,j,k} + \beta_y}{h_y} F_{i,j,k} \cdot (f_0)_{i,j,k}.
\end{aligned} \quad (18)$$

Дискретные аналоги операторов конвективного и диффузионного переноса примут вид:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = u_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{2h_x} + u_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{2h_x}, \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
\left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right)'_x &= (f_1)_{i,j,k} (D_h)_{i+1/2,j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{h_x^2} - (f_2)_{i,j,k} (D_h)_{i-1/2,j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{h_x^2} - \\
& - \left| (f_1)_{i,j,k} - (f_2)_{i,j,k} \right| (D_h)_{i,j,k} \frac{\alpha C_{i,j,k} + \beta}{h_x}.
\end{aligned} \quad (20)$$

Таким образом, получен дискретный аналог уравнения диффузии-конвекции-реакции с граничными условиями третьего рода.

Список литературы/ References

1. Сухинов, А.И. Математическое моделирование транспорта донных отложений с учетом гидродинамических процессов / Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Дегтярева Е.Е. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 6 (131). – С. 57-62.
2. Сухинов, А.И. Методика построения разностных схем для задачи диффузии-конвекции-реакции, учитывающих степень заполненности контрольных ячеек / А.И. Сухинов, А.Е. Чистяков, Н.А. Фоменко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – №4. – С 87-96.
3. Сухинов, А.И. Построение дискретной двумерной математической модели транспорта наносов / А.И. Сухинов, А.Е. Чистяков, Е.А. Проценко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №8 (121). – С 32-44.
4. Сухинов, А.И. Построение и исследование дискретной математической модели расчета прибрежных волновых процессов / А.И. Сухинов, Е.Ф. Тимофеева, А.Е. Чистяков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №8 (121). – С 22-32.
5. Сухинов, А.И. Сравнение вычислительных эффективностей явной и неявной схем для задачи транспорта наносов в прибрежных водных системах / Сухинов А.И., Проценко Е.А., Чистяков А.Е., Шпретер С.А. // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2015. – Т. 16. № 3. – С. 328-338.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Suhinov, A.I. Matematicheskoe modelirovanie transporta donnykh otlozhenij s uchetom gidrodinamicheskikh processov [Mathematical modeling of the transport of bottom sediments taking into account the hydrodynamic processes] / Suhinov A.I., Chistjakov A.E., Degtyareva E.E. // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki [News of The STU. Engineering science]. – 2012. – № 6 (131). – S. 57-62. [in Russian]
2. Suhinov, A.I. Metodika postroenija raznostnyh shem dlja zadachi diffuzii-konvekcii-reakcii, uchityvajushih stepen' zapolnennosti kontrol'nyh jacheek [Methods of constructing difference schemes for the problem of diffusion-convection-reaction, taking into account the occupancy level of the control cells] / A.I. Suhinov, A.E. Chistjakov, N.A. Fomenko // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki [News of The STU. Engineering science]. – 2013. – № 4. – S 87-96. [in Russian]
3. Suhinov, A.I. Postroenie diskretnoj dvumernoj matematicheskoj modeli transporta nanosov [The construction of discrete two-dimensional mathematical model of sediment transport] / A.I. Suhinov, A.E. Chistjakov, E.A. Procenko // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki [News of The STU. Engineering science]. – 2012. – №8 (121). – S. 32-44. [in Russian]
4. Suhinov, A.I. Postroenie i issledovanie diskretnoj matematicheskoj modeli rascheta pribrezhnyh volnovykh processov [The construction and investigation of discrete mathematical models calculate coastal wave processes] / A.I. Suhinov, E.F. Timofeeva, A.E. Chistjakov // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki [News of The STU. Engineering science]. – 2012. – №8 (121). – S 22-32. [in Russian]
5. Suhinov, A.I. Sravnenie vychislitel'nyh jeffektivnostej javnoj i nejavnoj shem dlja zadachi transporta nanosov v pribrezhnyh vodnyh sistemah [Comparison of computational efficiencies of explicit and implicit schemes for problem of sediment transport in coastal water systems] / Suhinov A.I., Procenko E.A., Chistjakov A.E., Shreter S.A. // Vychislitel'nye metody i programmirovaniye: novye vychislitel'nye tehnologii [Numerical methods and programming: new computing technology]. – 2015. – Т. 16. № 3. – S. 328-338. [in Russian]