

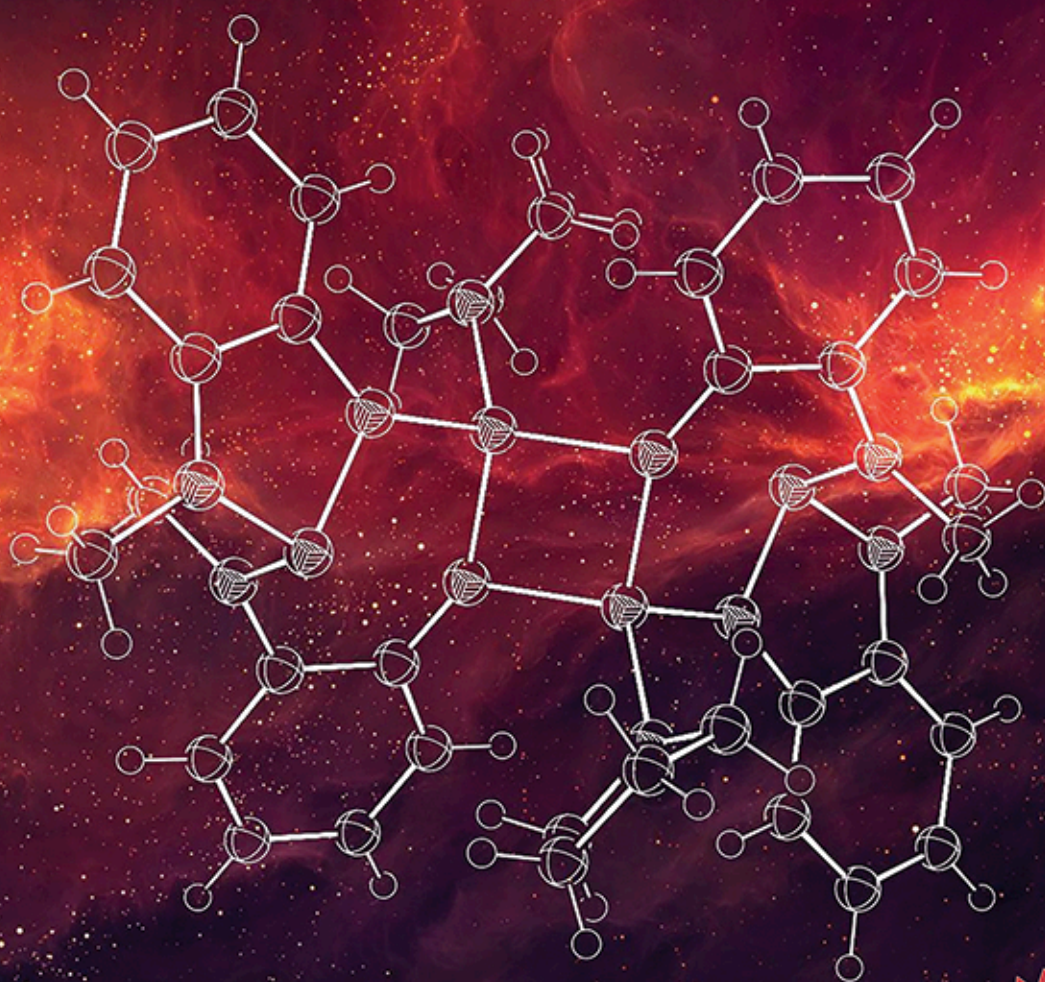
ISSN 2411-1899



ЕВРАЗИЙСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

66я Международная научная конференция



АВГУСТ
2020
ЧАСТЬ 2

МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Бабенко В.В., Хайченко И.А., Нефедов Ю.В.**
Определение оптимальных параметров управления локальных средств компенсации реактивной мощности распределительных сетей 71
- Белый В.С.**
Водопоглощение пенополимерминеральной изоляции стальных труб 74
- Белый В.С.**
Основные выводы по результатам исследования распределения влагосодержания в материале пенополимерминеральной изоляции стальных труб магистральных теплопроводов при погружении их в воду 87
- Голубев Е.В., Григорьев Б.В., Вершинин В.Е., Хлопотова Е.А.**
Научно-испытательный стенд массового расхода газожидкостных смесей 96
- Емелин А.В., Зименский А.С., Савенко А.В.**
Ремонт корпусов, подшипниковых щитов и резьбовых соединений электрических машин мощностью от 1 до 25 Квт 100
- Емелин А.В., Зименский А.С.**
Пропитка обмоток электрических машин мощностью до 15 кВт 102
- Колмыков А.Н.**
Исследование 5G 104
- Кондратьева Н.П., Бузмаков Д.В., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г.**
Управление поведением живых существ с помощью цифровых технологий 107

- Махоткина Л.Ю., Халилова А.А.**
Производство рабочей одежды с учетом гидрофобных свойств текстильных материалов 110
- Непряев А.А.**
Архитектура когнитивной многоагентной системы управления сложным техническим объектом 114
- Сатаркулов С., Мамбетов Э.М., Садыбакова Д.К.**
Способ определения величины коэффициента шероховатости параболических лотковых каналов 116
- Тяпин А.А., Кинев Е.С.**
Методика моделирования и расчета режимов индукционных нагревателей 119

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Астафуров В.И., Карл Л.Э.**
Разработка метода измерения альфа-активности жидких сред с применением погружного трекового детектора. 2. Вывод и анализ уравнений баланса и расчетных формул 124
- Працкова С.Е.**
Моделирование термодинамических равновесий в системе $\text{NaF} - \text{CaF}_2 - \text{AlF}_3$ 127



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Определение оптимальных параметров управления локальных средств компенсации реактивной мощности распределительных сетей

Бабенко Владимир Владимирович, аспирант;
Хайченко Илья Александрович, аспирант;
Нефедов Юрий Васильевич, аспирант
Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж)

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы определения основных параметров средств компенсации реактивной мощности распределительных электроэнергетических сетей. Предложен алгоритм оптимизационного расчета на основе подобной многофакторной целевой функции, который может быть применен для определения оптимальных параметров управления локальных средств КРМ распределительных сетей. Показана возможность определения оптимального количества ступеней и мощности регулирования установок компенсации реактивной мощности, минимальное значение среднегодовых издержек на компенсацию, оптимальное значение напряжения в контрольных точках. Предложенная расчетная модель может быть использована и для настроек систем автоматического управления локальных средств компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: распределительные электрические сети, компенсация реактивной мощности, снижение потерь электроэнергии, критерии оптимального управления, конденсаторные батареи.

Determination of optimal control parameters of local means of reactive power compensation of distribution networks

Babenko Vladimir Vladimirovich, aspirant;
Haichenko Ilya Aleksandrovich, aspirant;
Nefedov Yuriy Vasilyevich, aspirant
Voronezh State Technical University (Russia, g. Voronezh)

Abstract. The article considers the issues of determining the main parameters of means of compensation of reactive power of distribution electric power networks. An optimization calculation algorithm based on such a multifactor objective function is proposed, which can be used to determine optimal control parameters of local control means of distribution networks. The possibility of determining the optimal number of stages and the control power of reactive power compensation plants, the minimum value of the average annual compensation costs, the optimal voltage value at control points is shown. The proposed design model can also be used for settings of automatic control systems of local reactive power compensation devices.

Keywords: distribution electric networks, reactive power compensation, reduction of power losses, optimal control criteria, capacitor batteries.

DOI: 10.5281/zenodo.4023120

Для современной электроэнергетики особо актуальны вопросы снижения потерь электроэнергии, пути их реализации. Зачастую, в распределительных сетях, эта задача эффективно решается путем регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности.

Учитывая физическую специфику производства и потребления электроэнергии (ЭЭ), ее потери неизбежны, в виде некоего «технологического расхода». Важнейшая задача энергосберегающих технологий – максимальное снижение во всех распределительных сетях дополнительных потерь активной мощности от циркуляции реактивной мощности потребителям по линиям электропередачи. Нормируемым параметром (в соответствии с нормами качества электрической энергии) поддержания баланса реактивной мощности в любой электроэнергетической системе является уровень напряжения [1]. Он является локальным критерием для каждого конкретного узла нагрузки и каждой ступени номинального напряжения и должен обеспечивать экономичность режимов, поддержание уровней напряжения и частоты, симметрии синусоидальности формы кривой напряжения в сети.

С учетом ограниченных технических возможностей регулирования напряжения в узлах нагрузки распределительных сетей, компенсация реактивной мощности (КРМ), является эффективным направлением энергосберегающих технологий [2-4].

Для определения эффективности использования устройств КРМ, необходимо определить затратную часть исходного и оптимального режима. Последний определяется при решении оптимизационной задачи, целевая функция которой зависит от нагрузок узлов распределительной сети [5]. При этом необходимо решать систему уравнений, число которых равно числу узлов. Далее находятся оптимальные значения управляющих параметров, при которых достигается максимальный экономический эффект или минимальные приведенные затраты (издержки) на реализацию заданного режима.

Сложность оптимизации, как правило, заключается в учете всех существенных факторов, влияющих на издержки и формализации этого в виде целевой функции, зависящей от структуры сети, мощности устройств КРМ (конденсаторные батареи КБ, синхронные двигатели СД) и регуляторов напряжения, энергоэкономических характеристик узлов нагрузки и отдельных потребителей ЭЭ. Достаточно полно такой учет возможен при использовании целевой функции издержек следующего вида [6-9]:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma} = & \sum_{i=1}^k (A_i \mu_{im} + B_i \mu_{im}) X_i + \sum_{i=1}^k (C_i \mu_{im} + D_i \mu_{im}) Z_i + K_3 Q_{\varphi m} + \Delta P_k Q_{km} + \\ & + \sum_{i=1}^k (\Delta P_{ci} X_i + \Delta P_{ai} Y_i) a + \phi(K_{Um}) + 3_{ka} Q_{km} + (E_n + E_a + E_{\varepsilon}) \cdot \sum_{i=1}^k (K_{ci} X_i + K_{ai} Y_i) + \\ & + 3_{pc} + 3_{pv} + 3_{pk} + 3_{pnn} + 3_{lp} + \psi(r_{\varphi}) + \sum_{g=1}^p \end{aligned} \quad (1)$$

В ней учитываются потери (коэффициенты A, B) в X_i синхронных двигателях; в Y_i асинхронных двигателях (коэффициенты ΔP_A); в Z_i статических преобразователей; в КБ мощностью Q_k ; стоимость ЭЭ (коэффициент a); окупаемость капиталовложений, амортизация и эксплуатационные расходы (коэффициенты $E_n + E_a + E_{\varepsilon}$); дополнительные издержки от изменения уровня напряжения - $\phi(K_{Um})_g, f(K_{Ug})_g$; длительность рабочего режима t_g ; затраты на оборудование регулирующее напряжение и РМ ($3_{ка}, 3_{pc}$ - на конденсаторы, 3_{pv} - на управление СД, 3_{pnn} - на РПН, 3_{lp} - на локальные регуляторы напряжения); $\psi(r_{\varphi})$ - издержки, от снижения пропускной способности распределительных сетей.

Очевидно, что минимизация функции издержек возможна при реализации методов нелинейного математического программирования, требующих соответствующие дорогостоящие программные средства. Это положение неприемлемо для рассматриваемых задач управления локальных средств КРМ распределительных сетей и требует упрощение формы вышеуказанной целевой функции, с учетом точности задания и вариационности таких параметров (возмущающие факторы), как: величины нагрузок и напряжений, стоимостные показатели устройств распределительных сетей и т.д. При создании оптимизационной модели таких сетей оправдано использование в качестве управляющих факторов только регулирования реактивной мощности (т.к. маловероятно использование локальных средств регулирования напряжения в узлах нагрузки в режиме реального времени).

В этом случае решается задача оптимальной генерации РМ для компенсации РМ от нагрузки при ограничениях, накладываемых загрузкой СД и дискретностью переключения КБ при заданном графике нагрузки рассматриваемой распределительной сети. При заданных параметрах компенсации РМ, учет существенного влияния на стоимость управляемой КБ, ее мощности и количества ступеней (секций), требует оптимизации именно этих параметров. Ну а критерием оптимального варианта должна быть минимизация издержек при требуемой компенсации РМ (формула 1). Алгоритм расчетов (реализован в среде «Matlab») при этом следующий.

Определяется график нагрузки (ступенчатая форма), задаются все необходимые коэффициенты формулы (1), зона нечувствительности включения секций КБ (в соответствии с требуемой точностью поддержания нормативного коэффициента мощности), варьируются номинальная реактивная мощность (соответственно и стоимость) управляемой конденсаторной установки, варьируется число ступеней регулирования и проводятся расчеты издержек.

Результаты расчета издержек (затрат) на компенсацию РМ, с помощью управляемой КБ для выбранного объекта распределительной сети, использовались для построения трехмерных зависимостей значения издержек Z от стоимости конденсаторной установки C и числа ее секций i . а также трехмерных зависимостей значения издержек Z от мощности конденсаторной установки C и уровня сетевого напряжения (вариант учета локальных регуляторов напряжения). В качестве примера, результаты таких расчетов приведены на рисунках 1, 2. Издержки Z на дополнительную компенсацию РМ и стоимость управляемой конденсаторной установки в руб., количество секций - от 1 до 4, напряжение у потребителя ЭЭ - от 190 до 260 В.

Как видно из графиков (Рис. 1, 2), при вариации параметров всегда существует некий «провал», который соответствует оптимальному (по критерию минимума издержек) варианту количества секций и мощности управляемой конденсаторной установки, с учетом среднего значения напряжения в точке ее установки. Используемый алгоритм оптимизационных расчетов, позволяет, при необходимости, определить не только оптимальные параметры режима компенсации и ее эффективность, но и уставки («гистерезис») переключения секций КБ. Анализ результатов оптимизационных расчетов позволяет дополнительно утверждать, что при

возрастании потребления ЭЭ потребителями, существенно возрастают удельные издержки (на 1 кВА потребляемой мощности) на заданный уровень компенсации РМ, что требует дополнительного регулирования напряжения на понижение. Так же, на величину издержек (в сторону снижения) существенное влияние оказывает повышение количества ступеней КБ и чувствительности уставок по «гистерезису». Последнее приводит к возрастанию числа коммутаций секций КБ, что возможно реализовать только при использовании современных тиристорных конденсаторных установок[10-12].

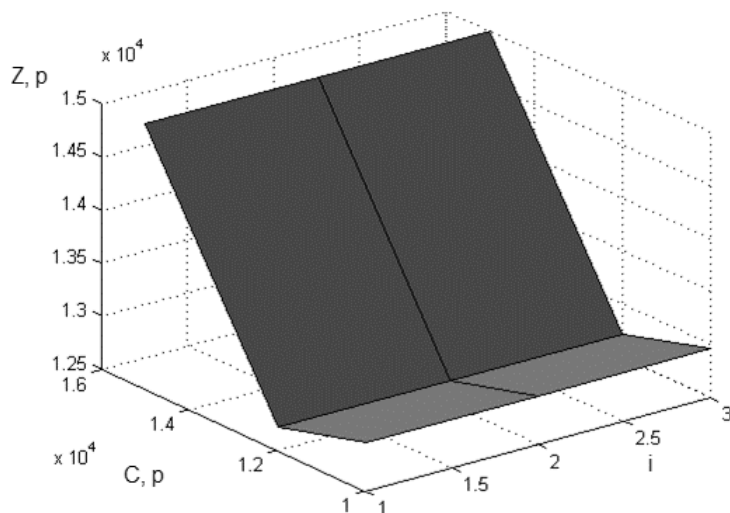


Рис. 1. Зависимость величины издержек на компенсацию РМ от стоимости управляемой конденсаторной установки и количества секций

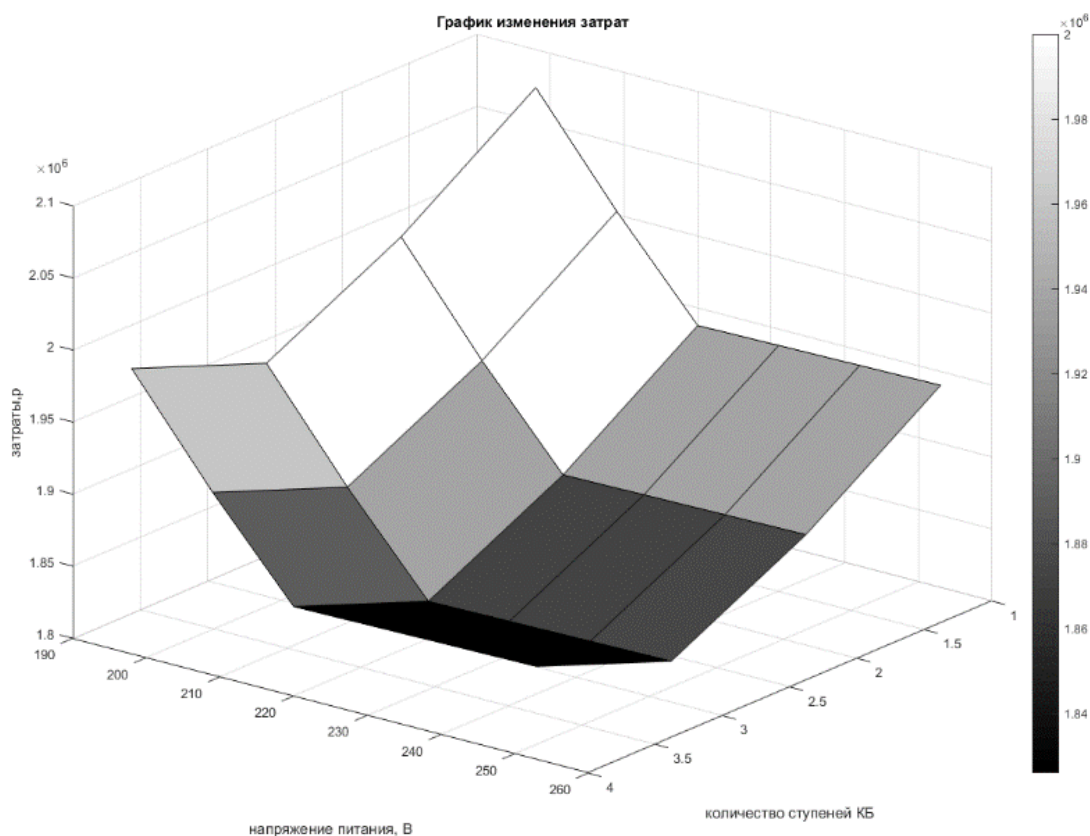


Рис. 2. Зависимость величины издержек на компенсацию РМ от стоимости управляемой конденсаторной установки и напряжения

Выводы

1. Оптимизацию режимов распределительных сетей, направленную на снижение потерь электроэнергии, целесообразно реализовывать с использованием многофакторной целевой функции минимальных издержек.
2. Предложенный алгоритм расчета, на основе подобной многофакторной целевой функции, может быть применен для определения оптимальных параметров управления локальных средств КРМ распределительных сетей.

3. Расчетная модель на основе данного алгоритма позволяет определить оптимальные: количество ступеней и мощность регулирования средств КРМ, среднегодовые издержки на компенсацию РМ, значение напряжения в контрольных точках.

4. Рассмотренная модель реализована в среде «Matlab» и адаптирована для применения в АСУ СЭС для настроек систем автоматического управления локальных средств КРМ.

5. Показано, что для обеспечения минимальных издержек в распределительных сетях при использовании метода компенсации РМ, целесообразно использование тиристорных конденсаторных установок.

Литература:

1. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
2. Крысанов В.Н., Зайцев А.И. Энергосберегающие технологии в распределенных электроэнергетических сетях. – Воронеж: ВГТУ, 2016. – 223 с.
3. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SMART GRID – М.: ИАЦ Энергия, 2010. –121 с.
4. Галяев, А. Н., Шевченко И.В. Проблемы повышения энергоэффективности в электроэнергетике. – Финансы и кредит. – 2010. – №11. – С. 8-13.
5. В. Н. Костин. Оптимизационные задачи электроэнергетики: Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2003 – 120 с.
6. Тайц, А.А. Регулирование напряжения и реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий [Текст] / А.А. Тайц, Б.С. Мешель. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 231 с.
7. Гофман, К.Г. Нормирование потребления энергии и энергетический баланс промышленных предприятий [Текст] / Г.К. Гофман. – М.: Энергия, 1961. – 215 с.
8. Борисов, Р.И. Регулирование напряжения в центрах питания по интегральному критерию качества напряжения [Текст] / Р.И. Борисов, В.В. Литвак. – М.: Наука, 1980. – 134 с.
9. Солдаткина, Л.А. О количественной оценке качества напряжения в распределительных сетях [Текст] / Л.А. Солдаткина // Электрические станции. – 1963. – № 9. – С. 44-49.
10. Крысанов, В.Н. Аппаратно-программное управление режимами узлов нагрузки региональных сетей электроснабжения с помощью статических устройств. – Воронеж: ВГТУ, 2017. – 244 с.
11. Крысанов В.Н. Эффективность использования тиристорных конденсаторных установок в промышленных системах электроснабжения. Энергобезопасность и энергосбережение – 2017. – № 3. – С. 15-20.
12. Булатов О.Г., Царенко А.И. Тиристорно-конденсаторные преобразователи. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.

Водопоглощение пенополимерминеральной изоляции стальных труб

Белый В.С., кандидат технических наук, учитель
МОУ Сергиевской СОШ

Аннотация. В данной статье приводятся результаты статистической обработки экспериментальных данных, полученных в процессе испытаний изоляции стальных труб магистральных теплопроводов на предмет водопоглощения, проведенных в заводских условиях специалистами ООО НПП «Пенополимер». В частности, определен вид и параметры распределения случайных величин конечного влагосодержания изоляции труб после непрерывного их пребывания в воде в течение установленных интервалов времени. Кроме того, выявлено наличие корреляционной взаимосвязи между параметрами исходного и конечного влагосодержания материала пенополимерминеральной изоляции стальных труб, используемых при сооружении магистральных теплопроводов.

Ключевые слова: материалы и изделия строительные теплоизоляционные, статистическая обработка экспериментальных данных, стальные трубы, коэффициент корреляции, корреляционная взаимосвязь.

Введение. По результатам испытаний пенополимерминеральной (ППМ) изоляции стальных труб на предмет исходного влагосодержания и водопоглощения после непрерывного пребывания в воде проведём статистическую обработку полученных экспериментальных данных. Целью обработки статистической информации является определение вида и параметров распределения случайной величины конечного влагосодержания ППМ изоляции, тенденции изменения этих параметров по мере пребывания изоляции в воде, а также наличия или отсутствия корреляционных связей между исходными и конечными величинами влагосодержания изоляции труб.

Данная цель достигается путём решения трёх взаимосвязанных статистических задач:

1. Определение вида и параметров распределения конечного влагосодержания образцов ППМ изоляции труб после непрерывного их нахождения в воде в течение разных фиксированных временных сроков.

2. Определение тенденции изменения параметров распределения конечного влагосодержания образцов ППМ изоляции труб при увеличении времени непрерывного пребывания труб в воде.

3. Определение корреляционной взаимосвязи между случайными величинами исходного и конечного влагосодержания образцов ППМ изоляции отдельно для каждого временного интервала пребывания их в воде.

Объектами исследования являются образцы четырёх стальных труб с нанесённой на них промышленным способом ППМ изоляцией одного типа одинаковой толщины в условиях реального производства. Предметом исследования являются статистические характеристики случайных величин конечного влагосодержания образцов ППМ изоляции труб, подверженных испытаниям. В качестве методического инструментария для проведения исследований в данной статье используется математический аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Методические основы исследований. В качестве исходных данных используются экспериментальные данные [1, с. 35-43], полученные по результатам испытаний образцов ППМ изоляции на предмет исходного и конечного влагосодержания, которые сводятся в таблицу 1.

Таблица 1. Исходные данные

№ п/п	$\omega_i, \%$	$\theta_{Ai} \%$...	$\theta_{Zi}, \%$
1	ω_1	θ_{A1}	...	θ_{Z1}
...
N	ω_N	θ_{AN}	...	θ_{ZN}

В таблице 1 обозначено:

N – количество исследуемых образцов ППМ изоляции трубы;

$\omega_i, i = \overline{1, N}$ – данные об исходном влагосодержании образцов;

A, Z – длительность (в сутках) фиксированных сроков непрерывного пребывания исследуемых образцов в воде;

$\theta_{Ai}, \dots, \theta_{Zi}$ – данные о конечном влагосодержании исследуемых образцов после их непрерывного пребывания в воде в течение A и Z суток соответственно.

Для решения **первой задачи** используется алгоритм статистической обработки информации о случайных величинах $\theta_{Ai}, \dots, \theta_{Zi}$. Алгоритм включает в себя следующую последовательность действий [1, с. 35-43], [1, с. 79-80]:

1. Весь диапазон значений, включающий в себя значения вариационного ряда $\theta_{A1}, \dots, \theta_{AN}$ разбивается на k равных интервалов и оценивается частота попадания случайной величины θ_{Ai} в каждый интервал. Результаты оценки сводятся в таблицу (таблица 2).

Таблица 2. Частота попадания значения θ_{Ai} в каждый интервал

Интервал	$[\theta_{min}, \theta_{min} + \Delta\theta)$...	$[\theta_{min} + (k - 1) \cdot \Delta\theta, \theta_{max})$
n_j	n_1	...	n_k
p_j	p_1	...	p_k

В таблице 2 обозначено:

$n_j, j = \overline{1, k}$ – количество попаданий случайных величин $\theta_{Ai}, i = \overline{1, N}$ в интервалы $[\theta_{min} + \Delta\theta, \theta_{min} + 2 \cdot \Delta\theta)$;

$\Delta\theta = \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{k}$ – длина интервала;

$p_j, j = \overline{1, k}$ – вероятность попадания случайной величины $\theta_{Ai}, i = \overline{1, N}$ в интервал $[\theta_{min} + \Delta\theta, \theta_{min} + 2 \cdot \Delta\theta)$.

2. По данным таблицы 2 строится гистограмма (рисунок 1), по которой грубо определяются вид $f(\theta_{Ai})$ и параметры распределения случайной величины θ_{Ai} .

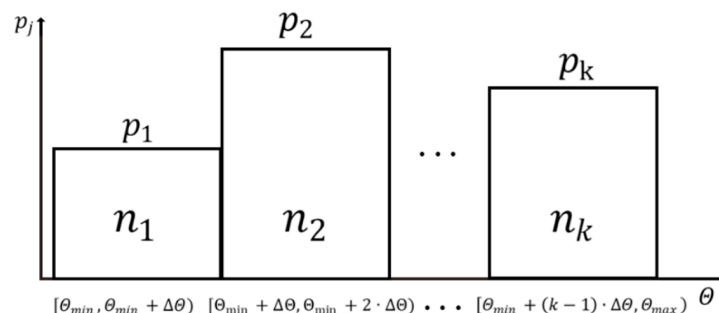


Рис. 1. Гистограмма распределения

3. Аналогично в соответствии с пунктами «1» и «2» выполняется статистическая обработка информации о других случайных величинах конечного влагосодержания, отличных от θ_{Ai} . По возможности, выполняется аппроксимация данных рисунка с целью определения явного вида функции плотности вероятности $f(\theta_i)$.

Решение **второй задачи** сводится к построению в одной координатной плоскости всех графиков $f(\theta_{Ai}), \dots, f(\theta_{Zi})$ и анализу тенденций изменения параметров этих графиков [3, с. 169-181], [4, с. 182-197].

Третья задача решается отдельно для каждой случайной величины $\theta_{Ai}, \dots, \theta_{Zi}$ [5, с. 25-30], [6, с. 11-16]. Исходные данные для решения такой задачи сводятся в таблицу 3.

Таблица 3. Исходное и конечное влагосодержание

№ п/п	Исх. влагосодержание		Конеч. влагосодержание		$\omega_i \cdot \theta_i$
	$\omega_i, \%$	$ \omega_i - m_{\omega_i} , \%$	$\theta_i, \%$	$ \theta_i - m_{\theta_i} , \%$	
1	ω_1	$ \omega_1 - m_{\omega_1} $	θ_1	$ \theta_1 - m_{\theta_1} $	$\omega_1 \cdot \theta_1$
...
N	ω_N	$ \omega_N - m_{\omega_N} $	θ_N	$ \theta_N - m_{\theta_N} $	$\omega_N \cdot \theta_N$

По данным таблицы 3 определяются математические ожидания

$$m_{\omega_i} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \omega_i, \quad m_{\theta_i} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \theta_i, \quad (1)$$

$$m_{\omega_i \cdot \theta_i} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \omega_i \cdot \theta_i, \quad (2)$$

среднеквадратические отклонения

$$\sigma_{\omega_i} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (\omega_i - m_{\omega_i})^2}, \quad \sigma_{\theta_i} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (\theta_i - m_{\theta_i})^2} \quad (3)$$

и коэффициент корреляции

$$r_{\omega_i \theta_i} = \frac{m_{\omega_i \cdot \theta_i} - m_{\omega_i} \cdot m_{\theta_i}}{\sigma_{\omega_i} \cdot \sigma_{\theta_i}}. \quad (4)$$

Используя значение коэффициента корреляции (4) проверяется выполнение критерия Чеддока:

$0.01 < r_{\omega\theta} \leq 0.3$ – слабая корреляционная связь;

$0.3 < r_{\omega\theta} \leq 0.5$ – умеренная корреляционная связь;

$0.5 < r_{\omega\theta} \leq 0.7$ – заметная корреляционная связь;

$0.7 < r_{\omega\theta} \leq 0.9$ – сильная корреляционная связь;

$0.9 < r_{\omega\theta} \leq 0.99$ – весьма сильная корреляционная связь.

Таким образом, устанавливается корреляционная связь между исходным и конечным влагосодержанием образцов ППМ изоляции труб, что может многое рассказать о таком свойстве материала изоляции как водопоглощение. Значения m_{ω_i} (2) и СКО (5) могут расходиться с соответствующими оценками, полученными по результатам аппроксимации приведённых на рисунке 1 данных в процессе решения первой задачи.

Обработка экспериментальных данных. Испытания ППМ изоляции труб на водопоглощение осуществлялось по методике, разработанной специалистами ООО «Пенополимер» и предусматривающей непрерывное пребывание исследуемых образцов в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток. Результаты испытаний образцов ППМ изоляции исследуемых труб на предмет исходного и конечного влагосодержания представлены в таблице 4.

Таблица 4. Исходное и конечное влагосодержание образцов изоляции

№ п/п	$\omega_i, \%$	$\theta_{7i}, \%$	$\theta_{21i}, \%$	$\theta_{42i}, \%$	$\theta_{77i}, \%$
1	0.29	0.88	0.79	0.89	1.27
2	0.33	0.93	0.80	0.91	1.36
3	0.34	1.03	0.91	0.94	1.43
4	0.40	1.07	0.92	1.01	1.54
5	0.44	1.07	0.92	1.02	1.56
6	0.48	1.11	0.95	1.18	1.57
7	0.50	1.11	0.96	1.22	1.57
8	0.54	1.11	0.97	1.26	1.59
9	0.56	1.12	0.97	1.26	1.59
10	0.57	1.12	1.07	1.27	1.61
11	0.57	1.13	1.07	1.28	1.69
12	0.58	1.13	1.10	1.29	1.82
13	0.59	1.16	1.10	1.40	1.84
14	0.59	1.18	1.14	1.40	1.98
15	0.62	1.19	1.16	1.44	2.01
16	0.62	1.21	1.18	1.46	2.04
17	0.63	1.22	1.22	1.47	2.09
18	0.65	1.23	1.26	1.51	2.11
19	0.65	1.26	1.26	1.57	2.12

№ п/п	$\omega_i, \%$	$\theta_{7i}, \%$	$\theta_{21i}, \%$	$\theta_{42i}, \%$	$\theta_{77i}, \%$
20	0.66	1.28	1.28	1.57	2.17
21	0.67	1.31	1.30	1.76	2.22
22	0.69	1.31	1.32	1.79	2.26
23	0.69	1.32	1.36	1.80	2.38
24	0.69	1.36	1.37	1.83	2.44
25	0.71	1.36	1.41	1.88	2.47
26	0.75	1.39	1.45	1.92	2.47
27	0.76	1.40	1.47	1.94	2.48
28	0.77	1.47	1.49	2.03	2.71
29	0.78	1.49	1.50	2.08	2.77
30	0.78	1.50	1.51	2.24	2.78
31	0.81	1.51	1.51	2.29	2.93
32	0.83	1.51	1.57	2.41	2.95
33	0.86	1.61	1.60	2.44	2.96
34	0.88	1.62	1.62	2.45	3.23
35	0.90	1.63	1.78	2.47	3.24
36	0.90	1.65	1.81	2.48	3.25
37	0.91	1.67	1.82	2.50	3.30
38	0.91	1.73	1.82	2.57	3.31
39	0.92	1.73	1.88	2.78	3.32
40	0.93	1.79	2.17	2.79	3.49
41	0.95	1.79	2.34	2.79	3.70
42	0.96	1.85	2.53	2.79	3.71
43	0.98	1.94	2.62	3.06	3.77
44	1.00	1.98	2.78	3.39	3.86
45	1.02	2.57	3.06	3.74	4.10
46	1.05	2.71	3.07	3.79	4.47
47	1.09	3.32	3.40	4.68	5.38
48	1.14	3.65	3.65	4.95	5.74

Из таблицы 4 следует:

- количество исследуемых образцов ППМ изоляции трубы $N = 48$;
- исходное влагосодержание образцов $\omega_i, i = \overline{1,48}$;
- конечное влагосодержание исследуемых образцов после их непрерывного пребывания в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток обозначено соответственно $\theta_{7i}, \theta_{21i}, \theta_{42i}$ и $\theta_{77i}, i = \overline{1,48}$.

Для решения **первой задачи** воспользуемся алгоритмом статистической обработки информации о случайных величинах $\theta_{7i}, \theta_{21i}, \theta_{42i}$ и $\theta_{77i}, i = \overline{1,48}$.

1. Для случайной величины θ_{7i} весь диапазон значений вариационного ряда $\theta_{71}, \dots, \theta_{7N}$ разбивается на 3 равные интервала и оценивается частота попадания случайной величины θ_{7i} в каждый интервал. При этом, исходя из опыта выполнения измерений в процессе испытаний, задаются минимальное $\theta_{min} [\%]$ и максимальное $\theta_{max} [\%]$ значения параметра конечного влагосодержания. Результаты оценки сводятся в таблицу (таблица 5).

Таблица 5. Распределение частот случайной величины θ_{7i}

Интервал	[0, 1.16)	[1.16, 2.32)	[2.32, 3.48)	[3.48, 4.64)	[4.64, 5.8)
n_j	14	30	3	1	0
p_j	0.30	0.62	0.06	0.02	0

Данные по случайным величинам $\theta_{21i}, \theta_{42i}$ и θ_{77i} представлены в таблицах 6, 7 и 8.

Таблица 6. Распределение частот случайной величины θ_{21i}

Интервал	[0, 1.16)	[1.16, 2.32)	[2.32, 3.48)	[3.48, 4.64)	[4.64, 5.8)
n_j	15	25	7	1	0
p_j	0.32	0.52	0.14	0.02	0

Таблица 7. Распределение частот случайной величины θ_{42i}

Интервал	[0, 1.16)	[1.16, 2.32)	[2.32, 3.48)	[3.48, 4.64)	[4.64, 5.8)
n_j	5	24	15	2	2
p_j	0.1	0.5	0.32	0.04	0.04

Таблица 8. Распределение частот случайной величины Θ_{77i}

Интервал	[0, 1.16)	[1.16, 2.32)	[2.32, 3.48)	[3.48, 4.64)	[4.64, 5.8)
n_j	0	22	17	7	2
p_j	0	0.46	0.35	0.15	0.04

2. По данным таблиц 5, 6, 7 и 8 строятся гистограммы (рисунки 2-3). «Грубая» аппроксимация, результаты которой на рисунках показаны прерывистой линией, примерно определяется вид функций плотностей распределений $f(\Theta_{7i})$, $f(\Theta_{21i})$, $f(\Theta_{42i})$ и $f(\Theta_{77i})$ и оцениваются значения параметров распределения случайных величин Θ_{7i} , Θ_{21i} , Θ_{42i} и Θ_{77i} .

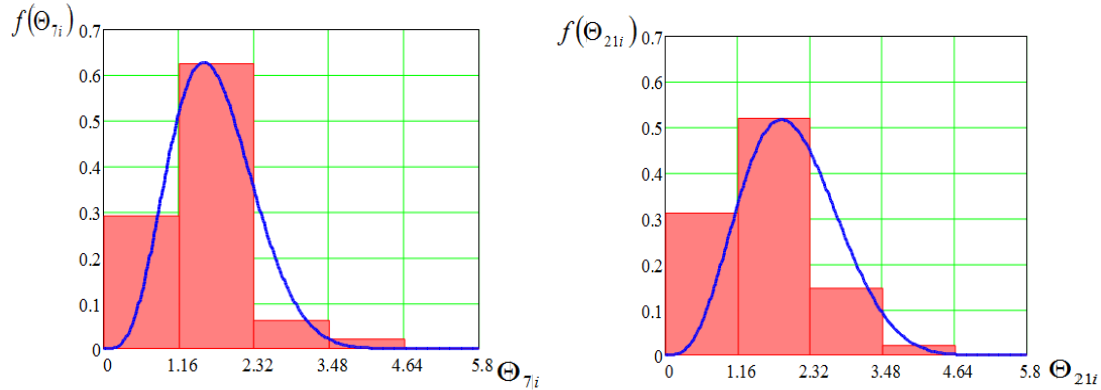


Рис. 2. Распределение водопоглощения образцов ППМ изоляции после 7 (слева) и 21 (справа) суток непрерывного пребывания в воде

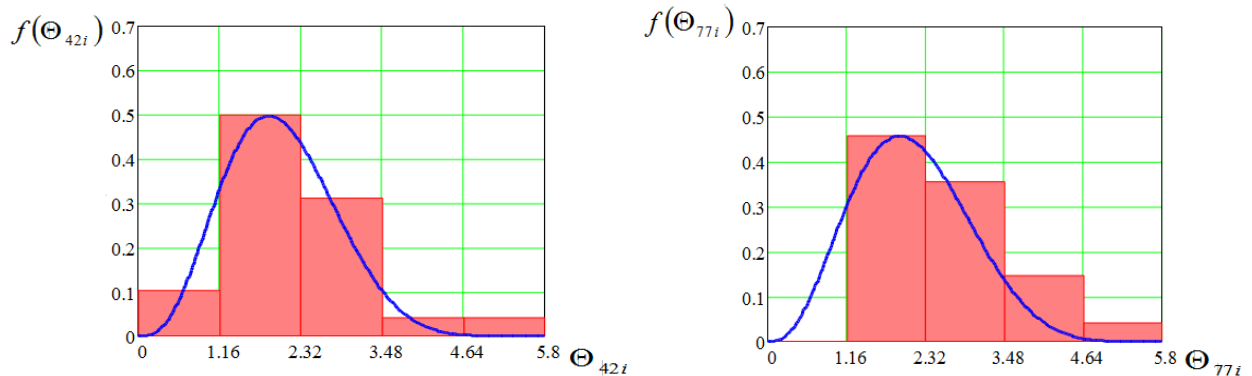
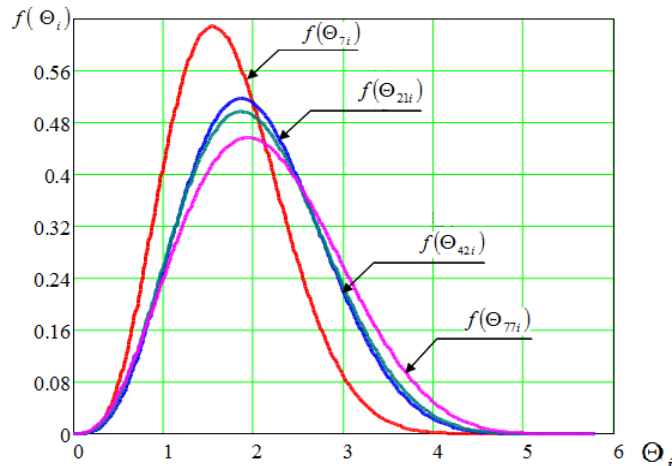


Рис. 3. Распределение водопоглощения образцов ППМ изоляции после 42 (слева) и 77 (справа) суток непрерывного пребывания в воде

Решение **второй задачи** сводится к построению в одной координатной плоскости всех графиков функций $f(\Theta_{7i})$, $f(\Theta_{21i})$, $f(\Theta_{42i})$, $f(\Theta_{77i})$ и анализу тенденций изменения параметров этих графиков. Графики функций $f(\Theta_{7i})$, $f(\Theta_{21i})$, $f(\Theta_{42i})$, $f(\Theta_{77i})$ представлены на рисунке 4, где в качестве аргумента имеет место обобщённая переменная Θ_i .

Рис. 4. Графики функций $f(\Theta_{7i})$, $f(\Theta_{21i})$, $f(\Theta_{42i})$ и $f(\Theta_{77i})$

Из анализа графиков, представленных на рисунке 4, можно сделать следующие выводы:

1. Случайная величина θ_i имеет бета-распределение вида:

$$f(\theta_i) = c \cdot (\theta_i - \theta_{min})^{p-1} \cdot (\theta_{max} - \theta_i)^{q-1} \quad (5)$$

с нормирующим множителем

$$c = \frac{1}{\int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} f(\theta_i) d\theta_i},$$

математическим ожиданием

$$m_{\theta_i} = \frac{2 \cdot \theta_{max} + 3 \cdot \theta_{min}}{5} \quad (6)$$

и среднеквадратическим отклонением

$$\sigma_{\theta_i} = \sqrt{\frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{25}}. \quad (7)$$

где p и q – коэффициенты масштаба и формы распределения (5).

2. Плотности $f(\theta_{7i})$, $f(\theta_{21i})$, $f(\theta_{42i})$, $f(\theta_{77i})$ и параметры p , q распределения величин θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} , θ_{77i} , представлены в таблице 9.

Таблица 9. Плотности распределения $f(\theta_{7i})$, $f(\theta_{21i})$, $f(\theta_{42i})$, $f(\theta_{77i})$ и значения коэффициентов p и q

Величина θ_i	Плотность распределения $f(\theta_i)$	Коэф-ты		Мож m_{θ_i} , %	СКО σ_{θ_i} , %
		p	q		
θ_{7i}	$f(\theta_i) = c_1 \cdot \theta_i^4 \cdot (\theta_{max} - \theta_i)^{11}$	5.0	12.00	2.32	0.48
θ_{21i}	$f(\theta_i) = c_2 \cdot \theta_i^{3.5} \cdot (\theta_{max} - \theta_i)^{7.4}$	4.5	8.40		
θ_{42i}	$f(\theta_i) = c_3 \cdot \theta_i^{3.2} \cdot (\theta_{max} - \theta_i)^{6.77}$	4.2	7.77		
θ_{77i}	$f(\theta_i) = c_4 \cdot \theta_i^{2.8} \cdot (\theta_{max} - \theta_i)^{5.58}$	3.8	6.58		

Из анализа данных таблицы 9, следует, что при увеличении времени пребывания образцов ППМ изоляции в воде уменьшаются коэффициенты масштаба и формы p и q .

3. Дальнейшее увеличение времени пребывания образцов в воде приведёт к полному насыщению влагой материала изоляции, т.е. $\lim_{Z \rightarrow \infty} \theta_{Zi} = \theta_{max}$. Это приведёт к дальнейшему уменьшению коэффициентов масштаба и формы p и q при постоянных значениях мож m_{θ_i} и среднеквадратического отклонения σ_{θ_i} .

При этом плотность вероятности

$$\lim_{\substack{\theta_i \rightarrow \theta_{max} \\ p \rightarrow 0 \\ q \rightarrow 0}} f(\theta_i) = \lim_{\substack{\theta_i \rightarrow \theta_{max} \\ p \rightarrow 0 \\ q \rightarrow 0}} c \cdot (\theta_i - \theta_{min})^{p-1} \cdot (\theta_{max} - \theta_i)^{q-1} \Big|_{\theta_{min}=0} = \delta. \quad (10)$$

будет представлять собой нормированную дельта-функцию.

Решение **третьей** задачи сводится к обработке статистического материала отдельно по каждому периоду пребывания изоляции в воде. Результаты обработки статистики после 7 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде приведены в таблице 10.

Таблица 10. Результаты обработки статистики после 7 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде

№ п/п	Исх. влагосодержание		Конеч. влагосодержание		$\omega_i \cdot \theta_i$
	ω_i , %	$ \omega_i - m_{\omega_i} $, %	θ , %	$ \theta_i - m_{\theta_i} $, %	
1	0.29	0.4379	0.88	0.63	0.26
2	0.33	0.3979	0.93	0.58	0.31
3	0.34	0.3879	1.03	0.48	0.35
4	0.40	0.3279	1.07	0.44	0.43
5	0.44	0.2879	1.07	0.44	0.47
6	0.48	0.2479	1.11	0.40	0.53
7	0.50	0.2279	1.11	0.40	0.56
8	0.54	0.1879	1.11	0.40	0.60
9	0.56	0.1679	1.12	0.39	0.63
10	0.57	0.1579	1.12	0.39	0.64
11	0.57	0.1579	1.13	0.38	0.64
12	0.58	0.1479	1.13	0.38	0.66
13	0.59	0.1379	1.16	0.35	0.68
14	0.59	0.1379	1.18	0.33	0.70
15	0.62	0.1079	1.19	0.32	0.74
16	0.62	0.1079	1.21	0.30	0.75

№ п/п	Исх. влагосодержание		Конеч. влагосодержание		$\omega_i \cdot \theta_i$
	$\omega_i, \%$	$ \omega_i - m_{\omega_i} , \%$	$\theta, \%$	$ \theta_i - m_{\theta_i} , \%$	
17	0.63	0.0979	1.22	0.29	0.77
18	0.65	0.0779	1.23	0.28	0.80
19	0.65	0.0779	1.26	0.25	0.82
20	0.66	0.0679	1.28	0.23	0.84
21	0.67	0.0579	1.31	0.20	0.88
22	0.69	0.0379	1.31	0.20	0.90
23	0.69	0.0379	1.32	0.19	0.91
24	0.69	0.0379	1.36	0.15	0.94
25	0.71	0.0179	1.36	0.15	0.97
26	0.75	0.0221	1.39	0.12	1.04
27	0.76	0.0321	1.40	0.11	1.06
28	0.77	0.0421	1.47	0.04	1.13
29	0.78	0.0521	1.49	0.02	1.16
30	0.78	0.0521	1.50	0.01	1.17
31	0.81	0.0821	1.51	0.00	1.22
32	0.83	0.1021	1.51	0.00	1.25
33	0.86	0.1321	1.61	0.10	1.38
34	0.88	0.1521	1.62	0.11	1.43
35	0.90	0.1721	1.63	0.12	1.47
36	0.90	0.1721	1.65	0.14	1.49
37	0.91	0.1821	1.67	0.16	1.52
38	0.91	0.1821	1.73	0.22	1.57
39	0.92	0.1921	1.73	0.22	1.59
40	0.93	0.2021	1.79	0.28	1.66
41	0.95	0.2221	1.79	0.28	1.70
42	0.96	0.2321	1.85	0.34	1.78
43	0.98	0.2521	1.94	0.43	1.90
44	1.00	0.2721	1.98	0.47	1.98
45	1.02	0.2921	2.57	1.06	2.62
46	1.05	0.3221	2.71	1.20	2.85
47	1.09	0.3621	3.32	1.81	3.62
48	1.14	0.4121	3.65	2.14	4.16

Математическое ожидание m_{ω_i} :

$$m_{\omega_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i = \frac{1}{48} \cdot (0.29 + 0.33 + 0.34 + 0.40 + 0.44 + 0.48 + 0.50 + 0.54 + 0.56 + 0.57 + 0.57 + 0.58 + 0.59 + 0.59 + 0.62 + 0.62 + 0.63 + 0.65 + 0.65 + 0.66 + 0.67 + 0.69 + 0.69 + 0.69 + 0.71 + 0.75 + 0.76 + 0.77 + 0.78 + 0.78 + 0.81 + 0.83 + 0.86 + 0.88 + 0.90 + 0.90 + 0.91 + 0.91 + 0.92 + 0.93 + 0.95 + 0.96 + 0.98 + 1.00 + 1.02 + 1.05 + 1.09 + 1.14) \approx 0.7279 [\%].$$

Математическое ожидание m_{θ_i} :

$$m_{\theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (0.88 + 0.93 + 1.03 + 1.07 + 1.07 + 1.11 + 1.11 + 1.11 + 1.12 + 1.12 + 1.13 + 1.13 + 1.16 + 1.18 + 1.19 + 1.21 + 1.22 + 1.23 + 1.26 + 1.28 + 1.31 + 1.31 + 1.32 + 1.36 + 1.36 + 1.39 + 1.40 + 1.47 + 1.49 + 1.50 + 1.51 + 1.51 + 1.61 + 1.62 + 1.63 + 1.65 + 1.67 + 1.73 + 1.73 + 1.79 + 1.79 + 1.85 + 1.94 + 1.98 + 2.57 + 2.71 + 3.32 + 3.65) \approx 1.51 [\%].$$

Математическое ожидание $m_{\omega_i \cdot \theta_i}$:

$$m_{\omega_i \cdot \theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i \cdot \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (0.26 + 0.31 + 0.35 + 0.43 + 0.47 + 0.53 + 0.56 + 0.6 + 0.63 + 0.64 + 0.64 + 0.66 + 0.68 + 0.7 + 0.74 + 0.75 + 0.77 + 0.8 + 0.82 + 0.84 + 0.88 + 0.9 + 0.91 + 0.94 + 0.97 + 1.04 + 1.06 + 1.13 + 1.16 + 1.17 + 1.22 + 1.25 + 1.38 + 1.43 + 1.47 + 1.49 + 1.52 + 1.57 + 1.59 + 1.66 + 1.7 + 1.78 + 1.9 + 1.98 + 2.62 + 2.85 + 3.62 + 4.16) \approx 1.14.$$

Среднеквадратическое отклонение σ_{ω_i} :

$$\sigma_{\omega_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\omega_i - m_{\omega_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [0.4379^2 + 0.3979^2 + 0.3879^2 + 0.3279^2 + 0.2879^2 + 0.2479^2 + 0.2279^2 + 0.1879^2 + 0.1679^2 + 0.1579^2 + 0.1579^2 + 0.1479^2 + 0.1379^2 + 0.1379^2 + 0.1079^2 + 0.1079^2 + 0.0979^2 + 0.0779^2 + 0.0779^2 + 0.0679^2 + 0.0579^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0179^2 + 0.0221^2 + 0.0321^2 + 0.0421^2 + 0.0521^2 + 0.0521^2 + 0.821^2 + 0.1021^2 + 0.1321^2 + 0.1521^2 + 0.1721^2 + 0.1721^2 + 0.1821^2 + 0.1821^2 + 0.1921^2 + 0.2021^2 + 0.2221^2 + 0.2321^2 + 0.2521^2 + 0.2721^2 + 0.2921^2 + 0.3221^2 + 0.3621^2 + 0.4121^2]^{\frac{1}{2}} \approx 0.1722 [\%].$$

Среднеквадратическое отклонение σ_{θ_i} :

$$\sigma_{\theta_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\theta_i - m_{\theta_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [0.63^2 + 0.58^2 + 0.48^2 + 0.44^2 + 0.44^2 + 0.4^2 + 0.4^2 + 0.4^2 + 0.39^2 + 0.39^2 + 0.38^2 + 0.38^2 + 0.35^2 + 0.33^2 + 0.32^2 + 0.3^2 + 0.29^2 + 0.28^2 + 0.25^2 + 0.23^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 0.19^2 + 0.15^2 + 0.15^2 + 0.12^2 + 0.11^2 + 0.04^2 + 0.02^2 + 0.01^2 + 0.1^2 + 0.11^2 + 0.12^2 + 0.14^2 + 0.16^2 + 0.22^2 + 0.22^2 + 0.28^2 + 0.28^2 + 0.34^2 + 0.43^2 + 0.47^2 + 1.06^2 + 1.20^2 + 1.81^2 + 2.14^2]^{\frac{1}{2}} \approx 0.37 [\%].$$

Коэффициент корреляции $r_{\omega_i\theta_i}$:

$$r_{\omega_i\theta_i} = \frac{m_{\omega_i\theta_i} - m_{\omega_i} \cdot m_{\theta_i}}{\sigma_{\omega_i} \cdot \sigma_{\theta_i}} = \frac{1.14 - 0.7279 \cdot 1.51}{0.1722 \cdot 0.37} \approx 0.64.$$

Результаты обработки статистики после 21 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде представлены в таблице 11.

Математическое ожидание m_{ω_i} :

$$m_{\omega_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i = \frac{1}{48} \cdot (0.29 + 0.33 + 0.34 + 0.40 + 0.44 + 0.48 + 0.50 + 0.54 + 0.56 + 0.57 + 0.57 + 0.58 + 0.59 + 0.59 + 0.62 + 0.62 + 0.63 + 0.65 + 0.65 + 0.66 + 0.67 + 0.69 + 0.69 + 0.69 + 0.71 + 0.75 + 0.76 + 0.77 + 0.78 + 0.78 + 0.81 + 0.83 + 0.86 + 0.88 + 0.90 + 0.90 + 0.91 + 0.91 + 0.92 + 0.93 + 0.95 + 0.96 + 0.98 + 1.00 + 1.02 + 1.05 + 1.09 + 1.14) \approx 0.7279 [\%].$$

Математическое ожидание m_{θ_i} :

$$m_{\theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (0.79 + 0.80 + 0.91 + 0.92 + 0.92 + 0.95 + 0.96 + 0.97 + 0.97 + 1.07 + 1.07 + 1.10 + 1.10 + 1.14 + 1.16 + 1.18 + 1.22 + 1.26 + 1.26 + 1.28 + 1.30 + 1.32 + 1.36 + 1.37 + 1.41 + 1.45 + 1.47 + 1.49 + 1.50 + 1.51 + 1.51 + 1.57 + 1.60 + 1.62 + 1.78 + 1.81 + 1.82 + 1.82 + 1.88 + 2.17 + 2.34 + 2.53 + 2.62 + 2.78 + 3.06 + 3.07 + 3.40 + 3.65) \approx 1.6 [\%].$$

Математическое ожидание $m_{\omega_i\theta_i}$:

$$m_{\omega_i\theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i \cdot \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (0.2291 + 0.264 + 0.3094 + 0.368 + 0.4048 + 0.456 + 0.48 + 0.5238 + 0.5432 + 0.6099 + 0.6099 + 0.638 + 0.649 + 0.6726 + 0.7192 + 0.7316 + 0.7686 + 0.819 + 0.819 + 0.8448 + 0.871 + 0.9108 + 0.9384 + 0.9453 + 1.0011 + 1.0875 + 1.1172 + 1.1473 + 1.17 + 1.1778 + 1.2231 + 1.3031 + 1.376 + 1.4256 + 1.602 + 1.629 + 1.6562 + 1.6562 + 1.7296 + 2.0181 + 2.223 + 2.4288 + 2.5676 + 2.78 + 3.1212 + 3.2235 + 3.706 + 4.161) \approx 1.27.$$

Таблица 11. Результаты обработки статистики после 21 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде

№ п/п	Исх. влагосодержание		Конеч. влагосодержание		$\omega_i \cdot \theta_i$
	$\omega_i, \%$	$ \omega_i - m_{\omega_i} , \%$	$\theta_i, \%$	$ \theta_i - m_{\theta_i} , \%$	
1	0.29	0.4379	0.79	0.80	0.2291
2	0.33	0.3979	0.80	0.79	0.2640
3	0.34	0.3879	0.91	0.68	0.3094
4	0.40	0.3279	0.92	0.67	0.3680
5	0.44	0.2879	0.92	0.67	0.4048
6	0.48	0.2479	0.95	0.64	0.4560
7	0.50	0.2279	0.96	0.63	0.4800
8	0.54	0.1879	0.97	0.62	0.5238
9	0.56	0.1679	0.97	0.62	0.5432
10	0.57	0.1579	1.07	0.52	0.6099
11	0.57	0.1579	1.07	0.52	0.6099
12	0.58	0.1479	1.10	0.49	0.6380

№ п/п	Исх. влагосодержание		Конеч. влагосодержание		$\omega_i \cdot \theta_i$
	$\omega_i, \%$	$ \omega_i - m_{\omega_i} , \%$	$\theta_i, \%$	$ \theta_i - m_{\theta_i} , \%$	
13	0.59	0.1379	1.10	0.49	0.6490
14	0.59	0.1379	1.14	0.45	0.6726
15	0.62	0.1079	1.16	0.43	0.7192
16	0.62	0.1079	1.18	0.41	0.7316
17	0.63	0.0979	1.22	0.37	0.7686
18	0.65	0.0779	1.26	0.33	0.8190
19	0.65	0.0779	1.26	0.33	0.8190
20	0.66	0.0679	1.28	0.31	0.8448
21	0.67	0.0579	1.30	0.29	0.8710
22	0.69	0.0379	1.32	0.27	0.9108
23	0.69	0.0379	1.36	0.23	0.9384
24	0.69	0.0379	1.37	0.22	0.9453
25	0.71	0.0179	1.41	0.18	1.0011
26	0.75	0.0221	1.45	0.14	1.0875
27	0.76	0.0321	1.47	0.12	1.1172
28	0.77	0.0421	1.49	0.10	1.1473
29	0.78	0.0521	1.50	0.09	1.1700
30	0.78	0.0521	1.51	0.08	1.1778
31	0.81	0.0821	1.51	0.08	1.2231
32	0.83	0.1021	1.57	0.02	1.3031
33	0.86	0.1321	1.60	0.01	1.3760
34	0.88	0.1521	1.62	0.03	1.4256
35	0.90	0.1721	1.78	0.19	1.6020
36	0.90	0.1721	1.81	0.22	1.6290
37	0.91	0.1821	1.82	0.23	1.6562
38	0.91	0.1821	1.82	0.23	1.6562
39	0.92	0.1921	1.88	0.29	1.7296
40	0.93	0.2021	2.17	0.58	2.0181
41	0.95	0.2221	2.34	0.75	2.2230
42	0.96	0.2321	2.53	0.94	2.4288
43	0.98	0.2521	2.62	1.03	2.5676
44	1.00	0.2721	2.78	1.19	2.7800
45	1.02	0.2921	3.06	1.47	3.1212
46	1.05	0.3221	3.07	1.48	3.2235
47	1.09	0.3621	3.40	1.81	3.7060
48	1.14	0.4121	3.65	2.06	4.1610

Среднеквадратическое отклонение σ_{ω_i} :

$$\sigma_{\omega_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\omega_i - m_{\omega_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [0.4379^2 + 0.3979^2 + 0.3879^2 + 0.3279^2 + 0.2879^2 + 0.2479^2 + 0.2279^2 + 0.1879^2 + 0.1679^2 + 0.1579^2 + 0.1579^2 + 0.1479^2 + 0.1379^2 + 0.1379^2 + 0.1079^2 + 0.1079^2 + 0.0979^2 + 0.0779^2 + 0.0779^2 + 0.0679^2 + 0.0579^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0179^2 + 0.0221^2 + 0.0321^2 + 0.0421^2 + 0.0521^2 + 0.0521^2 + 0.821^2 + 0.1021^2 + 0.1321^2 + 0.1521^2 + 0.1721^2 + 0.1721^2 + 0.1821^2 + 0.1821^2 + 0.1921^2 + 0.2021^2 + 0.2221^2 + 0.2321^2 + 0.2521^2 + 0.2721^2 + 0.2921^2 + 0.3221^2 + 0.3621^2 + 0.4121^2]^{\frac{1}{2}} \approx 0.1722 [\%].$$

Среднеквадратическое отклонение σ_{θ_i} :

$$\sigma_{\theta_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\theta_i - m_{\theta_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [0.8^2 + 0.79^2 + 0.68^2 + 0.67^2 + 0.67^2 + 0.64^2 + 0.63^2 + 0.62^2 + 0.62^2 + 0.52^2 + 0.52^2 + 0.49^2 + 0.49^2 + 0.45^2 + 0.43^2 + 0.41^2 + 0.37^2 + 0.33^2 + 0.33^2 + 0.31^2 + 0.29^2 + 0.27^2 + 0.23^2 + 0.22^2 + 0.18^2 + 0.14^2 + 0.12^2 + 0.1^2 + 0.09^2 + 0.08^2 + 0.08^2 + 0.02^2 + 0.01^2 + 0.03^2 + 0.19^2 + 0.22^2 + 0.23^2 + 0.23^2 + 0.29^2 + 0.58^2 + 0.75^2 + 0.94^2 + 1.03^2 + 1.19^2 + 1.47^2 + 1.48^2 + 1.81^2 + 2.06^2] \approx 0.7 [\%].$$

Коэффициент корреляции $r_{\omega_i \theta_i}$:

$$r_{\omega_i \theta_i} = \frac{m_{\omega_i \cdot \theta_i} - m_{\omega_i} \cdot m_{\theta_i}}{\sigma_{\omega_i} \cdot \sigma_{\theta_i}} = \frac{1.27 - 0.7279 \cdot 1.6}{0.1722 \cdot 0.7} \approx 0.85.$$

Результаты обработки статистики после 42 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде представлены в таблице 12.

Математическое ожидание m_{ω_i} :

$$m_{\omega_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i = \frac{1}{48} \cdot (0.29 + 0.33 + 0.34 + 0.40 + 0.44 + 0.48 + 0.50 + 0.54 + 0.56 + 0.57 + 0.57 + 0.58 + 0.59 + 0.59 + 0.62 + 0.62 + 0.63 + 0.65 + 0.65 + 0.66 + 0.67 + 0.69 + 0.69 + 0.69 + 0.71 + 0.75 + 0.76 + 0.77 + 0.78 + 0.78 + 0.81 + 0.83 + 0.86 + 0.88 + 0.90 + 0.90 + 0.91 + 0.91 + 0.92 + 0.93 + 0.95 + 0.96 + 0.98 + 1.00 + 1.02 + 1.05 + 1.09 + 1.14) \approx 0.7279 [\%].$$

Таблица 12. Результаты обработки статистики после 42 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде

№ п/п	Исх. влагосодержание		Конеч. влагосодержание		$\omega_i \cdot \theta_i$
	$\omega_i, \%$	$ \omega_i - m_{\omega_i} , \%$	$\theta_i, \%$	$ \theta_i - m_{\theta_i} , \%$	
1	0.29	0.4379	0.89	1.17	0.2581
2	0.33	0.3979	0.91	1.15	0.3003
3	0.34	0.3879	0.94	1.12	0.3196
4	0.40	0.3279	1.01	1.05	0.4040
5	0.44	0.2879	1.02	1.04	0.4488
6	0.48	0.2479	1.18	0.88	0.5664
7	0.50	0.2279	1.22	0.84	0.6100
8	0.54	0.1879	1.26	0.80	0.6804
9	0.56	0.1679	1.26	0.80	0.7056
10	0.57	0.1579	1.27	0.79	0.7239
11	0.57	0.1579	1.28	0.78	0.7296
12	0.58	0.1479	1.29	0.77	0.7482
13	0.59	0.1379	1.40	0.66	0.8260
14	0.59	0.1379	1.40	0.66	0.8260
15	0.62	0.1079	1.44	0.62	0.8928
16	0.62	0.1079	1.46	0.60	0.9052
17	0.63	0.0979	1.47	0.59	0.9261
18	0.65	0.0779	1.51	0.55	0.9815
19	0.65	0.0779	1.57	0.49	1.0205
20	0.66	0.0679	1.57	0.49	1.0362
21	0.67	0.0579	1.76	0.30	1.1792
22	0.69	0.0379	1.79	0.27	1.2351
23	0.69	0.0379	1.80	0.26	1.2420
24	0.69	0.0379	1.83	0.23	1.2627
25	0.71	0.0179	1.88	0.18	1.3348
26	0.75	0.0221	1.92	0.14	1.4400
27	0.76	0.0321	1.94	0.12	1.4744
28	0.77	0.0421	2.03	0.03	1.5631
29	0.78	0.0521	2.08	0.02	1.6224
30	0.78	0.0521	2.24	0.18	1.7472
31	0.81	0.0821	2.29	0.23	1.8549
32	0.83	0.1021	2.41	0.35	2.0003
33	0.86	0.1321	2.44	0.38	2.0984
34	0.88	0.1521	2.45	0.39	2.1560
35	0.90	0.1721	2.47	0.41	2.2230
36	0.90	0.1721	2.48	0.42	2.2320
37	0.91	0.1821	2.50	0.44	2.2750
38	0.91	0.1821	2.57	0.51	2.3387
39	0.92	0.1921	2.78	0.72	2.5576
40	0.93	0.2021	2.79	0.73	2.5947
41	0.95	0.2221	2.79	0.73	2.6505
42	0.96	0.2321	2.79	0.73	2.6784
43	0.98	0.2521	3.06	1.00	2.9988
44	1.00	0.2721	3.39	1.33	3.3900
45	1.02	0.2921	3.74	1.68	3.8148
46	1.05	0.3221	3.79	1.73	3.9795
47	1.09	0.3621	4.68	2.62	5.1012
48	1.14	0.4121	4.95	2.89	5.6430

Математическое ожидание m_{θ_i} :

$$m_{\theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (0.89 + 0.91 + 0.94 + 1.01 + 1.02 + 1.18 + 1.22 + 1.26 + 1.26 + 1.27 + 1.28 + 1.29 + 1.40 + 1.40 + 1.44 + 1.46 + 1.47 + 1.51 + 1.57 + 1.57 + 1.76 + 1.79 + 1.80 + 1.83 + 1.88 + 1.92 + 1.94 + 2.03 + 2.08 + 2.24 + 2.29 + 2.41 + 2.44 + 2.45 + 2.47 + 2.48 + 2.50 + 2.57 + 2.78 + 2.79 + 2.79 + 2.79 + 3.06 + 3.39 + 3.74 + 3.79 + 4.68 + 4.95) \approx 2.16 [\%].$$

Математическое ожидание $m_{\omega_i \cdot \theta_i}$:

$$m_{\omega_i \cdot \theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i \cdot \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (0.2581 + 0.3003 + 0.3196 + 0.404 + 0.4488 + 0.5664 + 0.61 + 0.6804 + 0.7056 + 0.7239 + 0.7296 + 0.7482 + 0.826 + 0.826 + 0.8928 + 0.9052 + 0.9261 + 0.9815 + 1.0205 + 1.0362 + 1.1792 + 1.2351 + 1.242 + 1.2627 + 1.3348 + 1.44 + 1.4744 + 1.5631 + 1.6224 + 1.7472 + 1.8549 + 2.0003 + 2.0984 + 2.156 + 2.223 + 2.232 + 2.275 + 2.3387 + 2.5576 + 2.5947 + 2.6505 + 2.6784 + 2.9988 + 3.39 + 3.8148 + 3.9795 + 5.1012 + 5.643) \approx 1.6791.$$

Среднеквадратическое отклонение σ_{ω_i} :

$$\sigma_{\omega_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\omega_i - m_{\omega_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [0.4379^2 + 0.3979^2 + 0.3879^2 + 0.3279^2 + 0.2879^2 + 0.2479^2 + 0.2279^2 + 0.1879^2 + 0.1679^2 + 0.1579^2 + 0.1579^2 + 0.1479^2 + 0.1379^2 + 0.1379^2 + 0.1079^2 + 0.1079^2 + 0.0979^2 + 0.0779^2 + 0.0779^2 + 0.0679^2 + 0.0579^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0179^2 + 0.0221^2 + 0.0321^2 + 0.0421^2 + 0.0521^2 + 0.0521^2 + 0.821^2 + 0.1021^2 + 0.1321^2 + 0.1521^2 + 0.1721^2 + 0.1721^2 + 0.1821^2 + 0.1821^2 + 0.1921^2 + 0.2021^2 + 0.2221^2 + 0.2321^2 + 0.2521^2 + 0.2721^2 + 0.2921^2 + 0.3221^2 + 0.3621^2 + 0.4121^2]^{\frac{1}{2}} \approx 0.1722 [\%].$$

Среднеквадратическое отклонение σ_{θ_i} :

$$\sigma_{\theta_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\theta_i - m_{\theta_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [1.17^2 + 1.15^2 + 1.12^2 + 1.05^2 + 1.04^2 + 0.88^2 + 0.84^2 + 0.8^2 + 0.8^2 + 0.79^2 + 0.78^2 + 0.77^2 + 0.66^2 + 0.66^2 + 0.62^2 + 0.6^2 + 0.59^2 + 0.55^2 + 0.49^2 + 0.49^2 + 0.3^2 + 0.27^2 + 0.26^2 + 0.23^2 + 0.18^2 + 0.14^2 + 0.12^2 + 0.03^2 + 0.02^2 + 0.18^2 + 0.23^2 + 0.35^2 + 0.38^2 + 0.39^2 + 0.41^2 + 0.42^2 + 0.44^2 + 0.51^2 + 0.72^2 + 0.73^2 + 0.73^2 + 0.73^2 + 1^2 + 1.33^2 + 1.68^2 + 1.73^2 + 2.62^2 + 2.89^2] \approx 0.75 [\%].$$

Коэффициент корреляции $r_{\omega_i \theta_i}$:

$$r_{\omega_i \theta_i} = \frac{m_{\omega_i \theta_i} - m_{\omega_i} \cdot m_{\theta_i}}{\sigma_{\omega_i} \cdot \sigma_{\theta_i}} = \frac{1.6791 - 0.7279 \cdot 2.16}{0.1722 \cdot 0.75} \approx 0.84.$$

Результаты обработки статистики после 77 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде представлены в таблице 13.

Математическое ожидание m_{ω_i} :

$$m_{\omega_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i = \frac{1}{48} \cdot (0.29 + 0.33 + 0.34 + 0.40 + 0.44 + 0.48 + 0.50 + 0.54 + 0.56 + 0.57 + 0.57 + 0.58 + 0.59 + 0.59 + 0.62 + 0.62 + 0.63 + 0.65 + 0.65 + 0.66 + 0.67 + 0.69 + 0.69 + 0.69 + 0.71 + 0.75 + 0.76 + 0.77 + 0.78 + 0.78 + 0.81 + 0.83 + 0.86 + 0.88 + 0.9 + 0.90 + 0.91 + 0.91 + 0.92 + 0.93 + 0.95 + 0.96 + 0.98 + 1.00 + 1.02 + 1.05 + 1.09 + 1.14) \approx 0.7279 [\%].$$

Математическое ожидание m_{θ_i} :

$$m_{\theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (1.27 + 1.36 + 1.43 + 1.54 + 1.56 + 1.57 + 1.57 + 1.59 + 1.59 + 1.61 + 1.69 + 1.82 + 1.84 + 1.98 + 2.01 + 2.04 + 2.09 + 2.11 + 2.12 + 2.17 + 2.22 + 2.26 + 2.38 + 2.44 + 2.47 + 2.47 + 2.48 + 2.71 + 2.77 + 2.78 + 2.93 + 2.95 + 2.96 + 3.23 + 3.24 + 3.25 + 3.30 + 3.31 + 3.32 + 3.49 + 3.70 + 3.71 + 3.77 + 3.86 + 4.10 + 4.47 + 5.38 + 5.74) \approx 2.7425 [\%].$$

Математическое ожидание $m_{\omega_i \cdot \theta_i}$:

$$m_{\omega_i \cdot \theta_i} = \frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} \omega_i \cdot \theta_i = \frac{1}{48} \cdot (0.3683 + 0.4488 + 0.4862 + 0.6160 + 0.6864 + 0.7536 + 0.785 + 0.8586 + 0.8904 + 0.9177 + 0.9633 + 1.0556 + 1.0856 + 1.1682 + 1.2462 + 1.2648 + 1.3167 + 1.3715 + 1.378 + 1.4322 + 1.4874 + 1.5594 + 1.6422 + 1.6836 + 1.7537 + 1.8525 + 1.8848 + 2.0867 + 2.1606 + 2.1684 + 2.3733 + 2.4485 + 2.5456 + 2.8424 + 2.916 + 2.925 + 3.003 + 3.0121 + 3.0544 + 3.2457 + 3.515 + 3.5616 + 3.6946 + 3.86 + 4.182 + 4.6955 + 5.8642 + 6.5436) \approx 2.1178.$$

Таблица 13. Результаты обработки статистики после 77 суток непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде

№ п/п	Исх. влагосодержание		Конеч. влагосодержание		$\omega_i \cdot \theta_i$
	$\omega_i, \%$	$ \omega_i - m_{\omega_i} , \%$	$\theta_i, \%$	$ \theta_i - m_{\theta_i} , \%$	
1	0.29	0.4379	1.27	1.3685	0.3683
2	0.33	0.3979	1.36	1.2785	0.4488
3	0.34	0.3879	1.43	1.2085	0.4862
4	0.40	0.3279	1.54	1.0985	0.6160
5	0.44	0.2879	1.56	1.0785	0.6864
6	0.48	0.2479	1.57	1.0685	0.7536
7	0.50	0.2279	1.57	1.0685	0.7850
8	0.54	0.1879	1.59	1.0485	0.8586
9	0.56	0.1679	1.59	1.0485	0.8904
10	0.57	0.1579	1.61	1.0285	0.9177
11	0.57	0.1579	1.69	0.9485	0.9633
12	0.58	0.1479	1.82	0.8185	1.0556
13	0.59	0.1379	1.84	0.7985	1.0856
14	0.59	0.1379	1.98	0.6585	1.1682
15	0.62	0.1079	2.01	0.6285	1.2462
16	0.62	0.1079	2.04	0.5985	1.2648
17	0.63	0.0979	2.09	0.5485	1.3167
18	0.65	0.0779	2.11	0.5285	1.3715
19	0.65	0.0779	2.12	0.5185	1.3780
20	0.66	0.0679	2.17	0.4685	1.4322
21	0.67	0.0579	2.22	0.4185	1.4874
22	0.69	0.0379	2.26	0.3785	1.5594
23	0.69	0.0379	2.38	0.2585	1.6422
24	0.69	0.0379	2.44	0.1985	1.6836
25	0.71	0.0179	2.47	0.1685	1.7537
26	0.75	0.0221	2.47	0.1685	1.8525
27	0.76	0.0321	2.48	0.1585	1.8848
28	0.77	0.0421	2.71	0.0715	2.0867
29	0.78	0.0521	2.77	0.1315	2.1606
30	0.78	0.0521	2.78	0.1415	2.1684
31	0.81	0.0821	2.93	0.2915	2.3733
32	0.83	0.1021	2.95	0.3115	2.4485
33	0.86	0.1321	2.96	0.3215	2.5456
34	0.88	0.1521	3.23	0.5915	2.8424
35	0.90	0.1721	3.24	0.6015	2.9160
36	0.90	0.1721	3.25	0.6115	2.9250
37	0.91	0.1821	3.30	0.6615	3.0030
38	0.91	0.1821	3.31	0.6715	3.0121
39	0.92	0.1921	3.32	0.6815	3.0544
40	0.93	0.2021	3.49	0.8515	3.2457
41	0.95	0.2221	3.70	1.0615	3.5150
42	0.96	0.2321	3.71	1.0715	3.5616
43	0.98	0.2521	3.77	1.1315	3.6946
44	1.00	0.2721	3.86	1.2215	3.8600
45	1.02	0.2921	4.10	1.4615	4.1820
46	1.05	0.3221	4.47	1.8315	4.6955
47	1.09	0.3621	5.38	2.7415	5.8642
48	1.14	0.4121	5.74	3.1015	6.5436

Среднеквадратическое отклонение σ_{ω_i} :

$$\sigma_{\omega_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\omega_i - m_{\omega_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [0.4379^2 + 0.3979^2 + 0.3879^2 + 0.3279^2 + 0.2879^2 + 0.2479^2 + 0.2279^2 + 0.1879^2 + 0.1679^2 + 0.1579^2 + 0.1579^2 + 0.1479^2 + 0.1379^2 + 0.1379^2 + 0.1079^2 + 0.1079^2 + 0.0979^2 + 0.0779^2 + 0.0779^2 + 0.0679^2 + 0.0579^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0379^2 + 0.0179^2 + 0.0221^2 + 0.0321^2 + 0.0421^2 + 0.0521^2 + 0.0521^2 + 0.821^2 + 0.1021^2 + 0.1321^2 + 0.1521^2 + 0.1721^2 + 0.1721^2 + 0.1821^2 + 0.1821^2 + 0.1921^2 + 0.2021^2 + 0.2221^2 + 0.2321^2 + 0.2521^2 + 0.2721^2 + 0.2921^2 + 0.3221^2 + 0.3621^2 + 0.4121^2]}$$

$$+0,1721^2 + 0,1721^2 + 0,1821^2 + 0,1821^2 + 0,1921^2 + 0,2021^2 + 0,2221^2 + 0,2321^2 + 0,2521^2 + 0,2721^2 + 0,2921^2 + 0,3221^2 + 0,3621^2 + 0,4121^2]^{\frac{1}{2}} \approx 0,1722 [\%].$$

Среднеквадратическое отклонение σ_{θ_i} :

$$\sigma_{\theta_i} = \left[\frac{1}{48} \cdot \sum_{i=1}^{48} (\theta_i - m_{\theta_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{48} \cdot [1,3685^2 + 1,2785^2 + 1,2085^2 + 1,0985^2 + 1,0785^2 + 1,0685^2 + 1,0685^2 + 1,0485^2 + 1,0485^2 + 1,0285^2 + 0,9485^2 + 0,8185^2 + 0,7985^2 + 0,6585^2 + 0,6285^2 + 0,5985^2 + 0,5485^2 + 0,5285^2 + 0,5185^2 + 0,4685^2 + 0,4185^2 + 0,3785^2 + 0,2585^2 + 0,1985^2 + 0,1685^2 + 0,1685^2 + 0,1585^2 + 0,0715^2 + 0,1315^2 + 0,1415^2 + 0,2915^2 + 0,3115^2 + 0,3215^2 + 0,5915^2 + 0,6015^2 + 0,6115^2 + 0,6615^2 + 0,6715^2 + 0,6815^2 + 0,8515^2 + 1,0615^2 + 1,0715^2 + 1,1315^2 + 1,2215^2 + 1,4615^2 + 1,8315^2 + 2,7415^2 + 3,1015^2]^{\frac{1}{2}} \approx 0,815 [\%].$$

Коэффициент корреляции $r_{\omega_i \theta_i}$:

$$r_{\omega_i \theta_i} = \frac{m_{\omega_i \theta_i} - m_{\omega_i} \cdot m_{\theta_i}}{\sigma_{\omega_i} \cdot \sigma_{\theta_i}} = \frac{2,1178 - 0,7279 \cdot 2,7425}{0,1722 \cdot 0,8150} \approx 0,87.$$

Статистические характеристики случайных величин θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} , θ_{77i} , сведены в таблицу 14.

Таблица 14. Статистические характеристики величин θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} , θ_{77i}

Хар-ки	Количество суток непрерывного пребывания в воде			
	7 суток	21 суток	42 суток	77 суток
m_{θ_i}	1.51	1.60	2.16	2.74
$m_{\omega_i \theta_i}$	1.14	1.27	1.67	2.12
σ_{θ_i}	0.37	0.70	0.75	0.815
$r_{\omega_i \theta_i}$	0.64	0.85	0.84	0.87

Из анализа данных, представленных в таблице 14, следует:

1. С увеличением времени непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде возрастают значения m_{θ_i} , $m_{\omega_i \theta_i}$ и СКО σ_{θ_i} .

2. Тенденция изменения коэффициента корреляции $r_{\omega_i \theta_i}$ показывает:

- при относительно недолгом (в течение 7 суток) пребывании в воде исследуемых образцов изоляции наблюдается уже заметная корреляционная связь между их исходным ω_i и конечным θ_i влагосодержанием;
- при пребывании в воде образцов дольше 7 суток, корреляционная связь между их исходным ω_i и конечным θ_i влагосодержанием становится сильной.

Это объясняется диффузионными свойствами капиллярно-пористого вещества, из которого изготовлены исследуемые образцы ППМ изоляции.

3. Результаты решения **второй** и **третьей** задач сведены в таблицу 15.

Таблица 15. Результаты решения второй и третьей задач

θ_i	Мож и СКО, полученные в результате решения			
	второй задачи		третьей задачи	
	$m_{\theta_i}, \%$	$\sigma_{\theta_i}, \%$	$m_{\theta_i}, [\%]$	$\sigma_{\theta_i}, [\%]$
θ_{7i}	2.32	0.48	1.51	0.37
θ_{21i}			1.60	0.70
θ_{42i}			2.16	0.75
θ_{77i}			2.74	0.815

В результате сравнения значений статистических характеристик случайных величин θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} и θ_{77i} , видно, что значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения, полученные в результате решения **второй** и **третьей** задач, не совпадают, но порядок цифр значений одинаковый.

Выводы:

1. Результатом решения **первой** задачи являются обработанные статистические данные, полученные экспериментальным путём в ходе проведения испытаний образцов ППМ изоляции на предмет их начального (исходного) ω_i и конечного θ_i влагосодержания. Результаты статистической обработки представлены в виде таблиц 5-8 и гистограмм, изображённых на рисунках 2-3. Из анализа данных, представленных в таблицах и гистограммах, делается вывод о бета-распределении величин θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} , θ_{77i} .

2. Результатом решения **второй** задачи являются представленные на рисунке 6 графики функций плотностей $f(\theta_{7i})$, $f(\theta_{21i})$, $f(\theta_{42i})$, $f(\theta_{77i})$ распределения случайных величин конечного влагосодержания θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} , θ_{77i} исследуемых образцов ППМ изоляции. В таблице 9 представлены аналитические выражения функций $f(\theta_{7i})$, $f(\theta_{21i})$, $f(\theta_{42i})$ и $f(\theta_{77i})$, а также значения коэффициентов масштаба и формы p и q , математиче-

ского ожидания и среднеквадратического отклонения случайных величин θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} , θ_{77i} . Из анализа графика и данных таблицы, можно сделать вывод о снижении значений коэффициентов масштаба и формы p и q при увеличении времени непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде.

3. Результатом решения **третьей** задачи являются приведённые в таблице 14 обобщённые статистические данные испытаний, полученные по результатам отдельной обработки информации о случайных величинах θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} и θ_{77i} . Отдельные по каждой случайной величине θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} и θ_{77i} данные приведены в таблицах 10–13. Из анализа данных, представленных в таблице 14, следует, что при увеличении времени непрерывного пребывания образцов ППМ изоляции в воде наблюдается рост значений математического ожидания, среднеквадратического отклонения и коэффициента корреляции между исходным ω_i и конечным θ_i влагосодержанием.

Литература:

1. Белый В.С., Брыль С.В., Зверьков М.С., Мишина А.М.. Оценка возможностей сокращения объёма испытаний ППМ изоляции труб на предмет исходного влагосодержания. Экология и строительство. 2018. №2. С.35-43.
2. Белый В.С., Мишина А.М. Исследование водопоглощения пенополимерминеральной изоляции на трубе в условиях затопления. Ежемесячный деловой журнал «Коммунальный комплекс России». 2018. №3(165). С. 79-80;
3. Белый В.С., Поборцев В.В., Серёгин В.О., Харитонов Р.Д. Исследование водопоглощения пенополимерминеральной изоляции труб магистральных теплопроводов. В книге: Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2018. С. 169-181;
4. Белый В.С., Поборцев В.В., Серёгин В.О., Харитонов Р.Д. Корреляционный анализ процессов водопоглощения пенополиминеральной изоляции труб магистральных теплопроводов. В книге: Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2018. С. 182-197;
5. Белый В.С., Брыль С.В. Уравнения регрессии для случайных величин исходного и конечного влагосодержания пенополимерминеральной изоляции труб магистральных теплопроводов. Экология и строительство. 2019. № 1. С. 25-30;
6. Белый В.С., Брыль С.В. Результаты корреляционного анализа экспериментальных данных об исходном влагосодержании и водопоглощении пенополимерминеральной изоляции стальной трубы подземного теплопровода. Экология и строительство. 2018. № 3. С. 11-16.

Основные выводы по результатам исследования распределения влагосодержания в материале пенополимерминеральной изоляции стальных труб магистральных теплопроводов при погружении их в воду

Белый В.С., кандидат технических наук, учитель
МОУ Сергиевская СОШ

Аннотация. В данной статье приводятся основные выводы по результатам исследования материала пенополимерминеральной изоляции стальных труб магистральных теплопроводов на предмет распределения в нём влаги как по поверхности, так и по сечению слоя. Исходными данными для решения поставленной задачи являются результаты заводских испытаний, проведенных специалистами ООО НПП «Пенополимер». Предварительные результаты исследований приводятся в [1, С.35-43].

Ключевые слова: материалы и изделия строительные теплоизоляционные, статистическая обработка экспериментальных данных, магистральные теплопроводы, диффузионные свойства, испытание на водопоглощение, влагосодержание, явление переноса, корреляционная взаимосвязь, плотность вероятности.

Введение. С точки зрения физических явлений процессы водопоглощения пенополимерминеральной (ППМ) изоляции стальных труб магистральных теплопроводов представляют собой явление прямого переноса концентрации воды в твёрдую среду, поверхность которой смачиваемой не является [2, С. 79-80]. Таким образом, имеет место явление диффузии жидкости в аморфное тело. В данной статье основные выводы по результатам исследования видов и параметров распределения между случайными величинами исходного ω_i и конечного θ_i , $i = \overline{1, N}$ влагосодержания материала ППМ изоляции труб, как по поверхности, так и по сечению, на основе имеющейся статистической информации об этих величинах, полученной экспериментальным путём [3, С. 25-30]. Считается, что результаты проводимых исследований станут фундаментальной основой в процессе моделирования жизненного цикла ППМ изоляции магистральных теплопроводов.

На основании результатов исследования:

– вида и параметров распределения исходного ω_i , $i = \overline{1, N}$ влагосодержания поверхности и толщи материала ППМ изоляции стальных труб;

– вида и параметров распределения конечного θ_i , $i = \overline{1, N}$ влагосодержания поверхности материала ППМ изоляции стальных труб при полном погружении их в воду и непрерывного их пребывания в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток;

– вида и параметров распределения конечного θ_i , $i = \overline{1, N}$ влагосодержания толщи материала ППМ изоляции стальных труб при полном погружении их в воду и непрерывного их пребывания в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток

приводятся сравнительные характеристики и формулируются основные выводы по результатам исследования и сравнения видов и параметров распределения влагосодержания по поверхности и сечению изоляции. Приведённые выводы являются фундаментальной основой процессов моделирования жизненного цикла материалов ППМ изоляции стальных труб магистральных теплопроводов. Автор выражает глубокую благодарность и признательность руководству ООО НПП «Пенополимер» за предоставленный статистический материал.

Краткое описание методики проведения эксперимента. Образцы ППМ изоляции выбираются в трёх точках по радиусу и в четырёх точках по диаметру изоляции [4, С. 169–181]. Схема выборки образцов для исследования ППМ изоляции на предмет влагосодержания представлена на рисунке 1. Задача статистической обработки информации о влагосодержании ППМ изоляции решается с учётом ряда допущений, связанных с особенностями проведения физического эксперимента.

Результаты решения задачи заносятся в таблицы 1, 2.

Результаты обработки данных таблиц 1 и 2 заносятся в таблицу 3.

В таблице 3 обозначено: n_j – количество значений θ_i , попадающих в интервал; p_j – вероятность попадания значения θ_i в интервал.

По данным таких таблиц строятся гистограммы распределения случайных величин ω_i , θ_i , определяются вид и параметры распределения.

Обработка экспериментальных данных сводится к определению вида и параметров:

а) Распределения водопоглощения поверхности изоляционного материала:

– распределение исходного влагосодержания ω_i ;

– распределение конечного влагосодержания θ_i после 7, 21, 42 и 77 суток непрерывного пребывания изоляции в воде;

б) Распределения водопоглощения толщи изоляционного материала:

– распределение исходного влагосодержания ω_i ;

– распределение конечного влагосодержания θ_i после 7, 21, 42 и 77 суток непрерывного пребывания изоляции в воде;

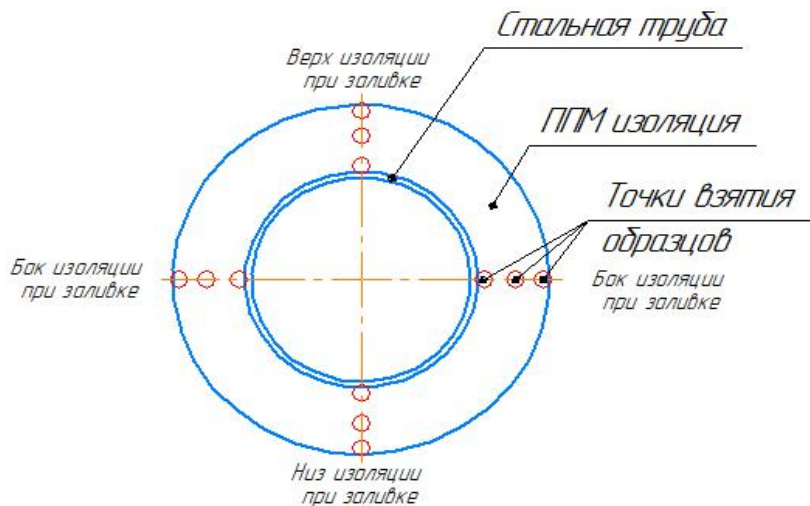


Рис. 1. Схема выборки образцов ППМ изоляции для исследования

Таблица 1. Влагосодержание по продольному сечению трубы

№ трубы	Влагосодержание		
	Верх	Бок	Низ
--	--	--	--

Таблица 2. Влагосодержание по поперечному сечению трубы

№ трубы	Влагосодержание		
	Внутренний слой	Средний слой	Внешний слой
--	--	--	--

Таблица 3. Результаты обработки данных

Параметр	Интервалы				
	$[\theta_{min}, \theta_{min} + \Delta\theta)$...	$[\theta_{min} + (j - 1) \cdot \Delta\theta, \theta_{min} + j \cdot \Delta\theta)$...	$[\theta_{min} + (k - 1) \cdot \Delta\theta, \theta_{max})$
n_i	n_1	...	n_j	...	n_k
p_i	p_1	...	p_j	...	p_k

Постановка задачи. Задача сводится:

1. К исследованию **динамики изменения** коэффициентов масштаба p и формы q β -распределения $f(\theta_i)$ случайной величины θ_i после 7, 21, 42 и 77 суток непрерывного пребывания изоляции в воде. Такое исследование проводится отдельно для поверхностного слоя и для толщи изоляции, сечение которой условно разбивается на слои [5, С. 182–197].

2. К формулировке **выводов** по результатам проведённого исследования. Предполагается, что выводы послужат фундаментальной основой для разработки модели жизненного цикла ППМ изоляции трубы [6, С. 11–16].

Решение задачи. Графики видов распределения $f(\theta_i)$ случайных величин конечного влагосодержания θ_i отдельно для каждой части поверхности ППМ изоляции представлены на рисунках 2 – 5. Каждый рисунок отражает результаты процессов водопоглощения поверхностями ППМ изоляции при непрерывном её нахождении в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток по отдельности.

Так, на рисунке 2 показаны кривые $f(\theta_{7i})$ распределения случайной величины θ_{7i} конечно влагосодержания верхнего, боковых и нижнего поверхностных слоёв ППМ изоляции стальной трубы, погружённой в воду и непрерывно в ней находящейся в течение 7 суток.

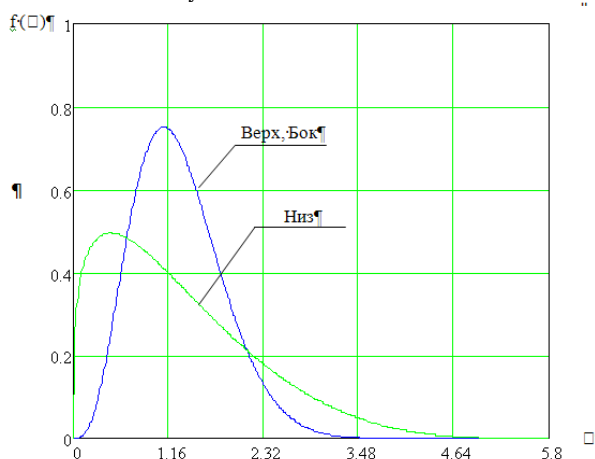


Рис. 2. Водопоглощение в течение 7 суток пребывания в воде

Из анализа рисунка 2 следует, что уровень влагосодержания θ_{7i} нижнего слоя ППМ изоляции ниже, чем уровень влагосодержания боковых и верхнего слоёв. При этом видно, что распределение влагосодержания верхнего и боковых поверхностных слоёв изоляции одинаковое. По виду кривых $f(\theta_{7i})$ видно, что для коэффициентов масштаба p и формы q выполняется условие $p < q$. При этом наименьшие значения коэффициентов масштаба p и формы q распределения $f(\theta_{7i})$ наблюдаются у кривой, соответствующей нижнему поверхностному слою.

Из анализа рисунка 3 видно, что верхняя и боковые поверхности ППМ изоляции впитывают влаги больше, чем нижняя поверхность. Однако, вероятность водопоглощения верхнего поверхностного слоя выше, чем боковых слоёв. Это связано с повышенным градиентом диффузионного проникновения влаги внутрь поверхности, вызванным, вероятно, силой тяжести воды над верхним слоем изоляции.

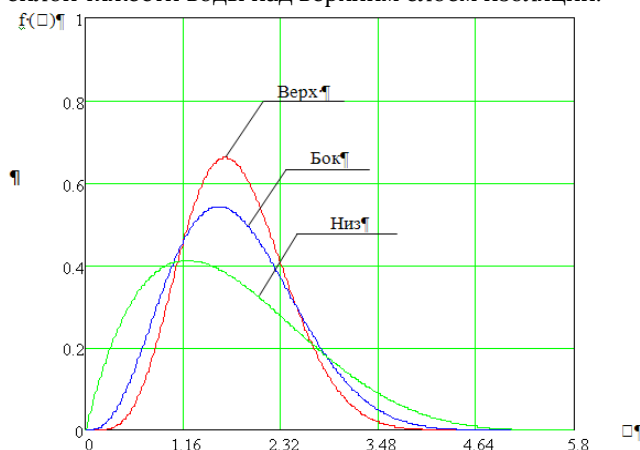


Рис. 3. Водопоглощение в течение 21 суток пребывания в воде

Наибольшее значение масштаба p распределения $f(\theta_{21i})$ наблюдается у кривых, соответствующих верхнему и боковым слоям. Наименьшее значение – у нижнего слоя. Во всех трёх случаях для коэффициентов масштаба p и формы q распределения $f(\theta_{21i})$ выполняется условие $p < q$. Из рисунка 4 видно, что наиболее подверженными водопоглощению также являются верхний и боковые слои поверхности ППМ изоляции. Показатели водопоглощения верхнего и боковых слоёв примерно одинаковые, о чём свидетельствуют масштаб p и форма q соответствующих распределений $f(\theta_{42i})$. При этом видно, кривая верхнего слоя немного сдвинута вправо по отношению к кривой боковых слоёв. Это говорит о том, что верхняя поверхность впитывает чуть больше влаги, чем боковые слои. Как видно из выводов, сделанных по результатам исследования графиков функций $f(\theta_{7i})$, $f(\theta_{21i})$ и $f(\theta_{42i})$, динамика изменения масштабов p и форм q распределений в течение 42 суток наблюдения является примерно одинаковой.

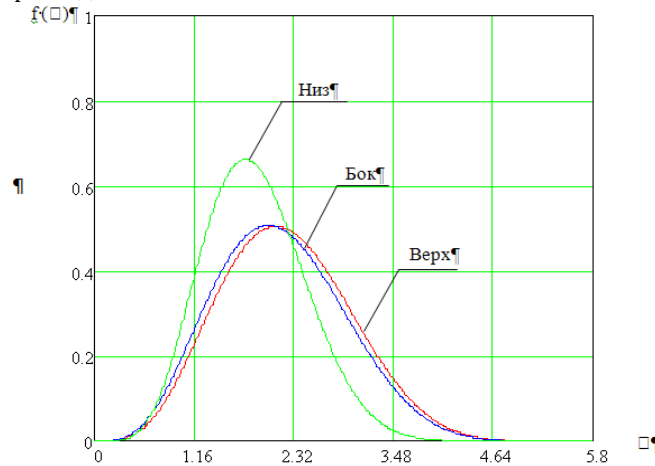


Рис. 4. Водопоглощение в течение 42 суток пребывания в воде

Наблюдается смещение максимумов графиков вправо к середине координатной плоскости. Последний факт свидетельствует об увеличении значения формы распределения q и стремлении последнего к значению p .

Однако, из рисунка 5 видно, что верхняя поверхность изоляции трубы поглотила наибольшее количество влаги. Значение показателя влагосодержания боковых поверхностных слоёв практически не изменилось по отношению к значению показателя влагосодержания, измеренному через 42 суток непрерывного содержания ППМ изоляции в воде. Нижний поверхностный слой содержит наименьшее количество влаги, причём коэффициенты масштаба p и формы q распределения влаги в этом слое остаются неизменными с момента предыдущих измерений.

Наибольший интерес вызывает кривая распределения $f(\theta_{77i})$, соответствующая верхнему поверхностному слою. По виду кривой можно сделать вывод о выполнении условия $p > q$.

Во всех случаях (рис. 2-5) наблюдается тенденция роста математического ожидания $m(\theta_i)$ и дисперсии $\sigma^2(\theta_i)$ распределений $f(\theta_i)$ случайных величин θ_i .

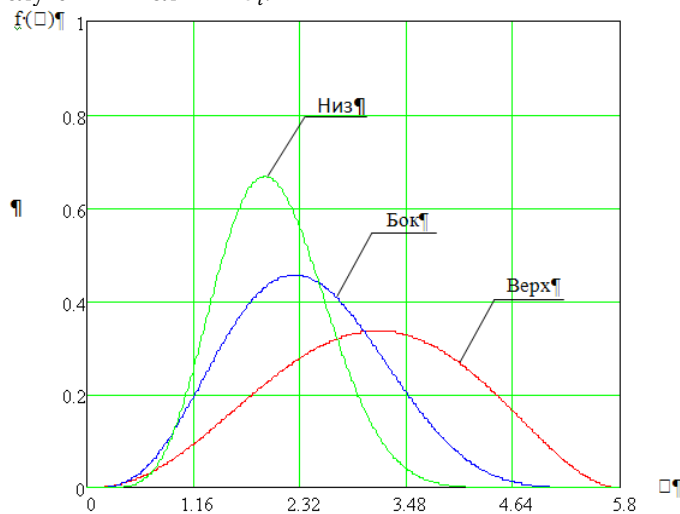


Рис. 5. Водопоглощение в течение 77 суток пребывания в воде

Основные выводы:

1. Диффузионные процессы в различных поверхностных слоях ППМ изоляции протекают не одинаково. При этом наибольшая скорость протекания диффузионного процесса наблюдается в верхнем поверхностном слое. Наименьшая скорость протекания диффузионного процесса наблюдается в нижнем поверхностном

слое. В боковых поверхностных слоях диффузионные процессы сначала протекают со скоростью, аналогичной скорости таких процессов в верхнем слое, затем незначительно замедляются.

2. При полном погружении в воду случайная величина водопоглощения ППМ изоляции трубы θ_i изначально и впоследствии имеет β -распределение с определёнными значениями коэффициентов масштаба p и формы q . Изначально для всех рассматриваемых поверхностных слоёв выполняется условие $p < q$. При увеличении срока непрерывного пребывания ППМ изоляции в воде значение коэффициента формы q растёт и практически во всех случаях приближается к значению p . Исключением является верхний поверхностный слой изоляции, полностью погружённый в воду, и находящийся в воде непрерывно в течение 77 суток. В этом случае наблюдается выполнение условия вида $p > q$. Это связано с наибольшей вероятностью влагопоглощения верхним поверхностным слоем, где скорость протекания диффузионного процесса является наибольшей.

Графики видов распределения $f(\theta_i)$ случайных величин конечного влагосодержания θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} и θ_{77i} отдельно для каждой части поверхности ППМ изоляции представлены на рисунках 6 – 8. По рисункам прослеживается тенденция развития процессов водопоглощения поверхностями ППМ изоляции при непрерывном её нахождении в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток соответственно. Для сравнения параметров распределений $f(\theta_i)$ и $f(\omega_i)$ на каждом из рисунков показано распределение $f(\omega_i)$ исходного влагосодержания ω_i .

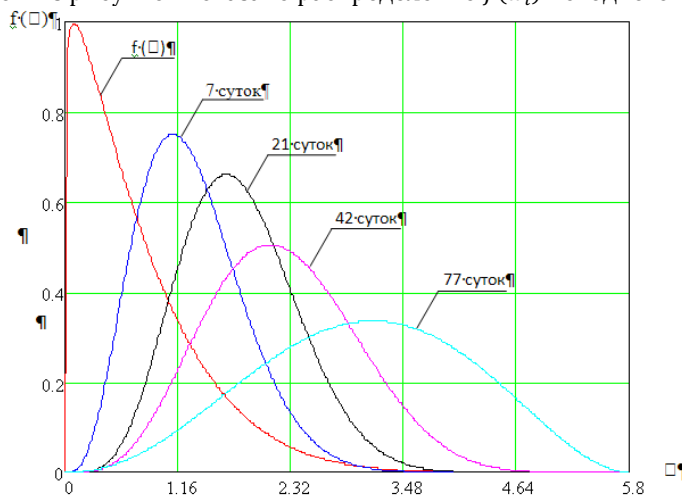


Рис. 6. Тенденция водопоглощения верхней поверхностью изоляции трубы

Из анализа рисунков 6,7 видна примерно одинаковая динамика процессов поглощения влаги из окружающей водной среды верхней и боковыми поверхностями ППМ изоляции трубы. Сравнивая кривые, представленные на обоих рисунках, можно лишь подтвердить сделанные ранее выводы о скорости протекания диффузионных процессов внутри изоляции трубы.

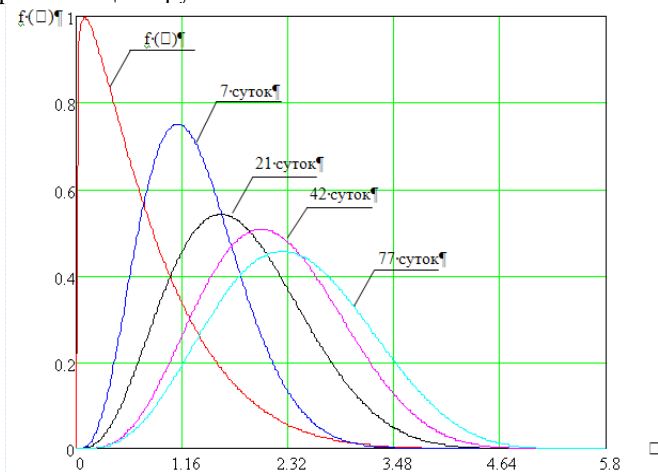


Рис. 7. Тенденция водопоглощения боковыми поверхностями изоляции трубы

Видно, что в боковых поверхностных слоях изоляции диффузионные процессы сначала протекают с такой же скоростью, что и в верхнем поверхностном слое, а при более долгом нахождении в воде замедляются. Если кривая $f(\omega_i)$ распределения исходного влагосодержания имеет коэффициенты масштаба и формы $p \approx 1$, $q \approx 7.5$, то у кривых $f(\theta_{7i})$, $f(\theta_{21i})$, $f(\theta_{42i})$ и $f(\theta_{77i})$ в условиях увеличения длительности непрерывного пребывания в воде значения данных коэффициентов увеличиваются. При этом, значения коэффициента формы q увеличиваются во времени быстрее, чем значения коэффициента масштаба p . Условие $p < q$ выполняется во всех случаях, кроме случая с верхним поверхностным слоем, пребывающим непрерывно в воде в течение 77 суток, где значения оговоренных коэффициентов принимают значения $p \approx 3.5$, $q \approx 3$.

Диффузионные процессы водопоглощения нижнего поверхностного слоя изоляции имеют свои особенности, отличные от особенностей верхнего и боковых слоёв поверхности. Это следует из анализа кривых $f(\theta_{7i})$, $f(\theta_{21i})$, $f(\theta_{42i})$ и $f(\theta_{77i})$, изображённых на рисунке 8.

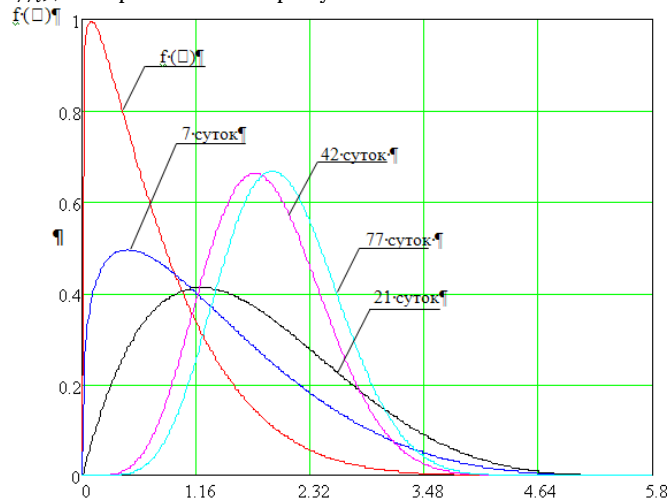


Рис. 8. Тенденция водопоглощения нижней поверхностью изоляции трубы

Наблюдаемая скорость протекания диффузионных процессов в течение первых 21 суток заметно ниже, чем в ранее рассмотренных случаях. Это связано с пониженным градиентом диффузионного проникновения влаги внутрь поверхности изоляции. В данном случае направление вектора силы тяжести, действующей на объём воды, находящийся под трубой противоположно направлению протекания диффузионного процесса. По истечении 42 суток пребывания объекта исследований в воде скорость протекания процессов увеличивается и стремится к скорости протекания процессов в боковых слоях поверхности изоляции. Динамика изменения значений коэффициентов масштаба p и формы q наблюдается примерно аналогичная динамике изменения этих значений в случаях с другими поверхностями. При этом поглощается меньшее количество влаги из окружающей водной среды. Условие $p < q$ выполняется всегда. Во всех случаях (рис. 6-8) наблюдается тенденция роста математического ожидания $m(\theta_i)$ и дисперсии $\sigma^2(\theta_i)$ распределений $f(\theta_i)$ случайных величин θ_i .

Основной вывод: Несмотря на различия в скоростях протекания диффузионных процессов влагопоглощения в разных поверхностных слоях, значения коэффициентов масштаба p и формы q всегда возрастают при увеличении срока непрерывного пребывания изоляции трубы в окружающей водной среде. При этом значения коэффициента формы q увеличиваются во времени быстрее, чем значения коэффициента масштаба p . Практически всегда наблюдается выполнение условия $p < q$.

На рисунках 9 – 12 показаны графики видов распределения $f(\theta_i)$ случайных величин конечного влагосохранения θ_i отдельно для каждого слоя толщи ППМ изоляции. Каждый рисунок отражает результаты процессов водопоглощения слоями ППМ изоляции при непрерывном её нахождении в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток по отдельности.

Из анализа рисунка 9 видно, что водопоглощение внешнего слоя ППМ изоляции выше, чем у среднего и внутреннего слоёв. Причина заключается в непосредственном контакте внешнего слоя с водной окружающей средой. Коэффициенты масштаба p и формы q кривых распределений $f(\theta_i)$ удовлетворяют условию $p < q$. Поскольку срок пребывания изоляции в водной среде относительно небольшой (7 суток), наблюдается отсутствие факта проникновения влаги в средний и внутренний слои.

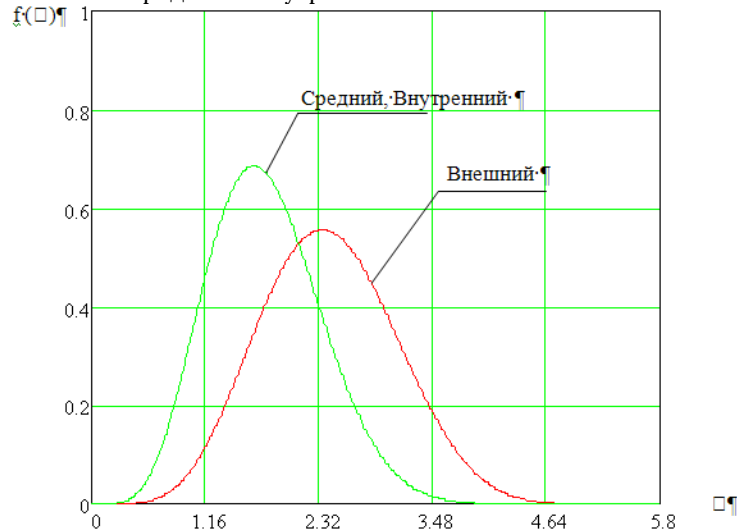


Рис. 9. Водопоглощение в течение 7 суток пребывания в воде

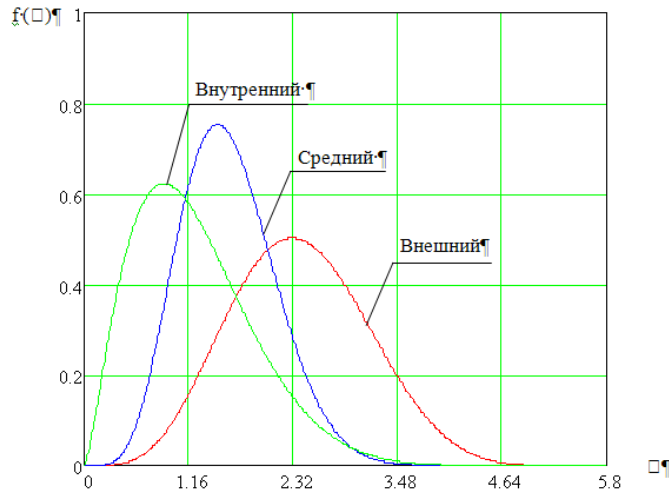


Рис. 10. Водопоглощение в течение 21 суток пребывания в воде

Анализ результатов, приведенных на рисунке 10 показывает, что водопоглощение внешнего слоя изоляции медленно возрастает. Влага начинает проникать в средний слой. Причина этого кроется в увеличении срока нахождения изоляции в водной окружающей среде. Коэффициенты масштаба p и формы q кривых распределений $f(\theta_i)$ по-прежнему удовлетворяют условию $p < q$. Несмотря на увеличение срока пребывания изоляции в водной среде (21 сутки), во внутренний её слой проникновения влаги не наблюдается.

Анализ данных рисунка 11 показывает, что водопоглощение внешнего слоя изоляции значительно возрастает по сравнению с результатами предыдущих наблюдений. Величина коэффициента формы q начинает превышать величину коэффициента масштаба p кривой распределения $f(\theta_i)$ внешнего слоя. Незначительное количество влаги начинает проникать во внутренний слой. Коэффициенты масштаба p и формы q кривых распределений $f(\theta_i)$ среднего и внутреннего слоёв удовлетворяют условию $p < q$.

Анализ данных рисунка 12 показывает, что водопоглощение среднего и внутреннего слоёв изоляции становится одинаковым. Это вызвано длительным сроком пребывания изоляции в воде. Коэффициенты масштаба p и формы q кривых распределений $f(\theta_i)$ среднего и внутреннего слоёв, как и прежде, удовлетворяют условию $p < q$. Коэффициенты масштаба p и формы q кривой распределения $f(\theta_i)$ внешнего слоя удовлетворяют условию $p > q$.

Во всех случаях (рис. 9–12) наблюдается тенденция роста можд $m(\theta_i)$ и дисперсии $\sigma^2(\theta_i)$ распределений $f(\theta_i)$ случайных величин θ_i .

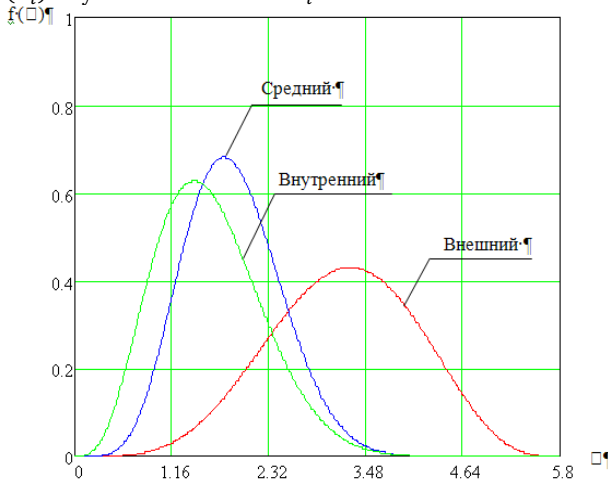


Рис. 11. Водопоглощение в течение 42 суток пребывания в воде

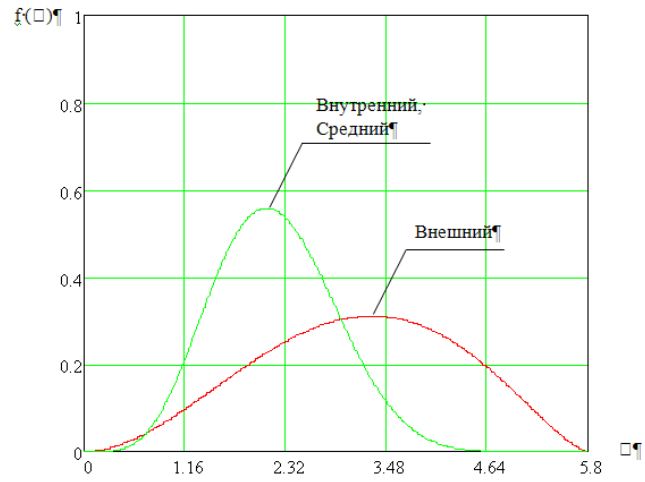


Рис. 12. Водопоглощение в течение 77 суток пребывания в воде

Основной вывод:

Скорость протекания диффузионных процессов во внешнем слое ППМ изоляции выше, чем у среднего и внутреннего слоёв. Причина заключается в том, что внешний слой находится в непосредственном соприкосновении с окружающей водной средой. Во внутреннем слое процессов поглощения влаги сначала не наблюдается. При более длительном нахождении изоляции в водной среде внутренний слой начинает поглощать влагу сначала медленно, потом скорость влагопоглощения становится равной скорости влагопоглощения среднего слоя. Средний слой начинает поглощать влагу не сразу, а по истечении 7 суток. Скорость влагопоглощения при этом является примерно одинаковой на всём оставшемся временном интервале наблюдения. Значения коэффициентов масштаба p и формы q кривых распределения $f(\theta_i)$ удовлетворяют условию $p < q$. Исключения составляют кривые внешнего слоя соответствующие 42 и 77 суткам пребывания изоляции в воде.

На рисунках 13 – 15 приводятся графики видов распределения $f(\theta_i)$ случайных величин конечного влагосодержания θ_{7i} , θ_{21i} , θ_{42i} и θ_{77i} отдельно для каждого слоя поверхности ППМ изоляции. По рисункам прослеживается тенденция развития процессов водопоглощения слоями толщи ППМ изоляции при непрерывном её нахождении в воде в течение 7, 21, 42 и 77 суток соответственно. Для сравнения параметров распределений $f(\theta_i)$ и $f(\omega_i)$ на каждом из рисунков показано распределение $f(\omega_i)$ исходного влагосодержания ω_i .

Из анализа кривых рисунка 13 видна тенденция изменения коэффициентов масштаба p и формы q распределений $f(\theta_i)$ по отношению к кривой распределения исходного влагосодержания $f(\omega_i)$.

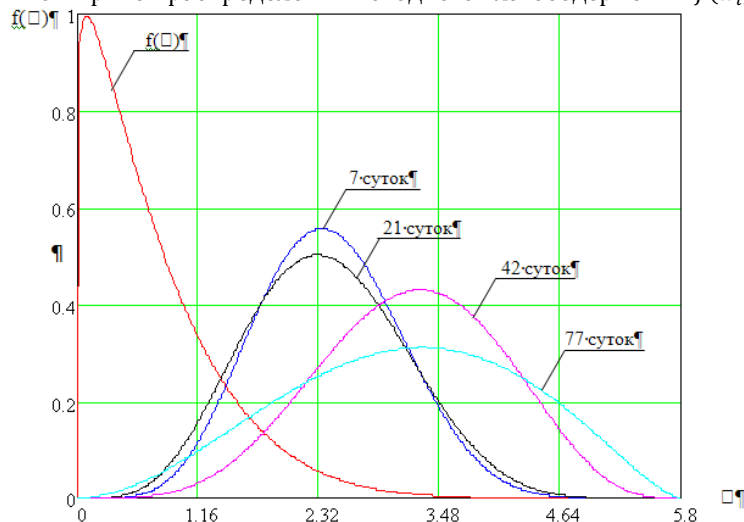


Рис. 13. Тенденция водопоглощения внешнего слоя изоляции трубы

При увеличении срока непрерывного пребывания изоляции в водной среде значения коэффициентов масштаба p и формы q возрастают, причём скорость возрастания значения коэффициента формы q выше скорости возрастания коэффициента масштаба p . Значения коэффициентов масштаба p и формы q кривых распределения $f(\theta_i)$, соответствующих времени непрерывного погружения в воду в течение 7, 21 и 42 суток, удовлетворяют условию $p < q$. Масштаб и форма кривой распределения, соответствующей сроку постоянного нахождения в воде в течение 77 суток, удовлетворяют условию $p < q$.

Скорости протекания диффузионных процессов в различные фиксированные моменты времени наблюдения разные. В течение первых 21 суток фиксируется одинаковое математическое ожидание $m(\theta_i)$. Меняется в сторону увеличения только значение дисперсии $\sigma^2(\theta_i)$. В точках наблюдения, соответствующих срокам 42 и 77 суток, фиксируется другое значение математического ожидания, большее по модулю. При этом также наблюдается только увеличение дисперсии.

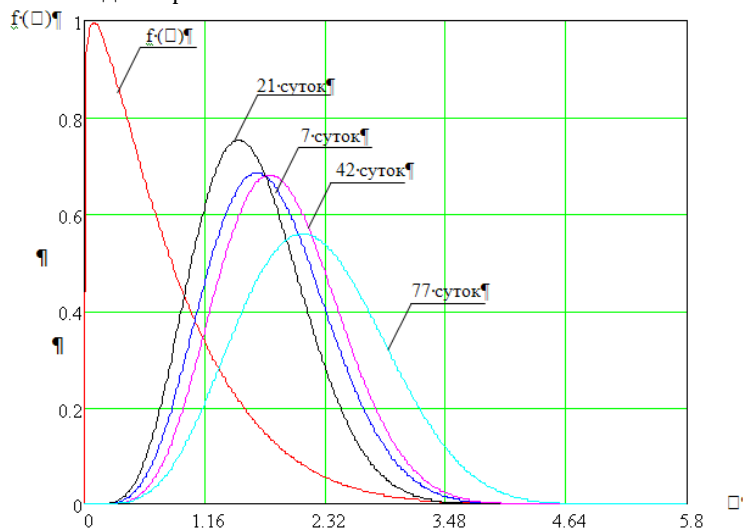


Рис. 14. Тенденция водопоглощения среднего слоя изоляции трубы

Из анализа кривых, изображённых на рисунках 14 и 15, видно, что тенденция изменения коэффициентов масштаба p и формы q распределений $f(\theta_i)$ по отношению к кривой распределения исходного влагосодержания $f(\omega_i)$ аналогична тенденции, следующей из анализа рисунка 13. При увеличении срока непрерывного пребывания изоляции в водной среде значения коэффициентов масштаба p и формы q возрастают, причём скорость возрастания значения коэффициента формы q выше скорости возрастания коэффициента масштаба p , причём $p < q$.

Во всех случаях (рис. 14-15) наблюдается тенденция роста математического ожидания $m(\theta_i)$ и дисперсии $\sigma^2(\theta_i)$ распределений $f(\theta_i)$ случайных величин θ_i .

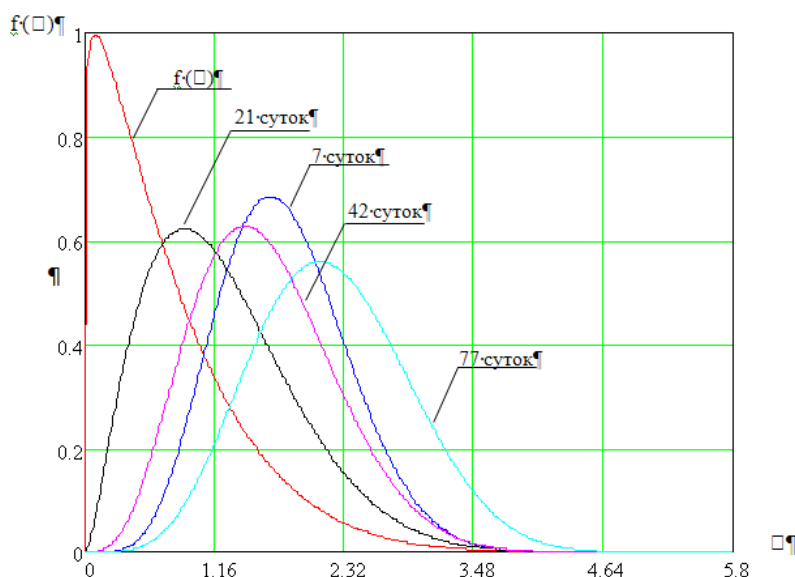


Рис. 15. Тенденция водопоглощения внутреннего слоя изоляции трубы

Основные выводы по результатам исследований:

1. Диффузионные процессы в различных поверхностных слоях ППМ изоляции протекают не одинаково. При этом наибольшая скорость протекания диффузионного процесса наблюдается в верхнем поверхностном слое. Наименьшая скорость протекания диффузионного процесса наблюдается в нижнем поверхностном слое. В боковых поверхностных слоях диффузионные процессы сначала протекают со скоростью, аналогичной скорости таких процессов в верхнем слое, затем незначительно замедляются.

2. При полном погружении в воду случайная величина водопоглощения ППМ изоляции трубы θ_i изначально и впоследствии имеет β - распределения с определёнными значениями коэффициентов масштаба p и формы q . Изначально для всех рассматриваемых поверхностных слоёв выполняется условие $p < q$. При увеличении срока непрерывного пребывания ППМ изоляции в воде значение коэффициента формы q растёт и практически во всех случаях приближается к значению p . Исключением является верхний поверхностный слой изоляции, полностью погруженный в воду, и находящийся в воде непрерывно в течение 77 суток. В этом случае наблюдается выполнение условия вида $p > q$. Это связано с наибольшей вероятностью влагопоглощения верхним поверхностным слоем, где скорость протекания диффузионного процесса является наибольшей.

3. Несмотря на различия в скоростях протекания диффузионных процессов влагопоглощения в разных поверхностных слоях, значения коэффициентов масштаба p и формы q всегда возрастают при увеличении срока непрерывного пребывания изоляции трубы в окружающей водной среде. При этом значения коэффициента формы q увеличиваются во времени быстрее, чем значения коэффициента масштаба p . Практически всегда наблюдается выполнение условия $p < q$.

4. Скорость протекания диффузионных процессов во внешнем слое ППМ изоляции выше, чем у среднего и внутреннего слоёв. Причина заключается в том, что внешний слой находится в непосредственном соприкосновении с окружающей водной средой. Во внутреннем слое процессов поглощения влаги сначала не наблюдается. При более длительном нахождении изоляции в водной среде внутренний слой начинает поглощать влагу сначала медленно, потом скорость влагопоглощения становится равной скорости влагопоглощения среднего слоя. Средний слой начинает поглощать влагу не сразу, а по истечении 7 суток. Скорость влагопоглощения при этом является примерно одинаковой на всём оставшемся временном интервале наблюдения. Значения коэффициентов масштаба p и формы q кривых распределения $f(\theta_i)$ удовлетворяют условию $p < q$. Исключение составляют кривые внешнего слоя соответствующие 42 и 77 суткам пребывания изоляции в воде.

5. Во всех случаях наблюдается тенденция роста математического ожидания $m(\theta_i)$ и дисперсии $\sigma^2(\theta_i)$ распределений $f(\theta_i)$ случайных величин конечного влагосодержания θ_i при увеличении срока непрерывного пребывания ППМ изоляции в водной среде.

Литература:

1. Белый В.С., Брыль С.В., Зверьков М.С., Мишина А.М.. Оценка возможностей сокращения объёма испытаний ППМ изоляции труб на предмет исходного влагосодержания. Экология и строительство. 2018. №2. С.35-43.
2. Белый В.С., Мишина А.М. Исследование водопоглощения пенополимерминеральной изоляции на трубе в условиях затопления. Ежемесячный деловой журнал «Коммунальный комплекс России». 2018. №3(165). С. 79-80.
3. Белый В.С., Брыль С.В. Уравнения регрессии для случайных величин исходного и конечного влагосодержания пенополимерминеральной изоляции труб магистральных теплопроводов. Экология и строительство. 2019. № 1. С. 25-30.

4. Белый В.С., Поборцев В.В., Серёгин В.О., Харитонов Р.Д. Исследование водопоглощения пенополимерминеральной изоляции труб магистральных теплопроводов. В книге: Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2018. С. 169-181.

5. Белый В.С., Поборцев В.В., Серёгин В.О., Харитонов Р.Д. Корреляционный анализ процессов водопоглощения пенополиминеральной изоляции труб магистральных теплопроводов. В книге: Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы. Материалы V Международной научно-практической конференции. 2018. С. 182-197.

6. Белый В.С., Брыль С.В. Результаты корреляционного анализа экспериментальных данных об исходном влагосодержании и водопоглощении пенополимерминеральной изоляции стальной трубы подземного теплопровода. Экология и строительство. 2018. № 3. С. 11-16.

УДК 681.121.8

Научно-испытательный стенд массового расхода газожидкостных смесей*

Голубев Евгений Викторович – канд. геогр. наук, директор Технологического парка;
Григорьев Борис Владимирович – канд. техн. наук, заведующий кафедрой прикладной и технической физики;
Вершинин Владимир Евгеньевич – доцент кафедры моделирования физических процессов и систем;
Хлопотова Екатерина Андреевна – магистрант направления Физика (маг. программа Концептуальный инжиниринг месторождений нефти и газа) ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (г. Тюмень)

В статье представлена принципиальная схема работы и устройство научно-испытательного стенда многофазных потоков (НИСМП). Описано назначение и задачи из области метрологии и многофазной расходомерии, на решение которых направлен научно-испытательный стенд. В статью включены основные положения и алгоритм функционирования информационно-измерительной системы на базе компьютерного языка LabView, использованной при автоматизации стенда.

Ключевые слова: расходомер, эталон, научно-испытательный стенд, LabView, National Instruments, поверка, многофазный поток.

Scientific test bench for mass flow of gas-liquid mixtures

Golubev Evgeny Viktorovich - PhD in Geography, Director of the Technological Park;
Grigoriev Boris Vladimirovich - PhD in Engineering sciences, Head of the Department of Applied and Technical Physics;
Vershinin Vladimir Evgenievich, Associate Professor at the Department of Modeling Physical Processes and Systems;
Khlopotova Ekaterina Andreevna - Master's student in Physics (Master's program Conceptual Engineering of Oil and Gas Fields) Tyumen State University, Tyumen

The article presents a process functional diagram and the configuration of a scientific test bench of multiphase flow (CSTBMF). The purpose and tasks in the field of metrology and multiphase flow metering are described, a scientific test bench is aimed at solving. The article presents the main provisions and the algorithm for the functioning of the information-measuring system based on the computer language LabView, used at the automated stand.

Keywords: flow meter, standard of unit, scientific test bench, LabView, National Instruments, calibration, multiphase flow.

DOI: 10.5281/zenodo.4023128

* Работа выполнена при поддержке Департамента инвестиционной политики и государственной поддержки предпринимательства Тюменской области в рамках реализации проекта по постановлению Правительства Тюменской области № 105-п от 07.05.2007 г., по договору № 004-ИД от 15.10.2018 г. АО «ГМС Нефтемаши» совместно с ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

В настоящее время для России недостаточно решенной проблемой является оперативный учет добываемой нефти. Суть проблемы заключается не только в создании высокоточных и надежных многофазных измерительных установок массового расхода газожидкостных смесей, но и в их дальнейшем испытании и поверке. Для решения второй части проблемы необходимо наличие соответствующих многофазных проливных стендов, способных создавать многокомпонентные двухфазные смеси и задавать с высокой точностью необходимый массовый расход и соотношение компонент и фаз в потоке.

Тюменским государственным университетом совместно с заводом по производству нефтегазового оборудования АО «ГМС Нефтемаш» создан научно-испытательный стенд, который аттестован в качестве эталона 1-го разряда по созданию и измерению мас-

сового расхода газожидкостных смесей в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.637-2013. Данный метрологический комплекс является самым крупным в России и может передавать единицу многофазного расхода другим аналогичным установкам, а также средствам измерения [1].

Стенд был создан с целью выполнения метрологических задач и научно-исследовательских работ, среди которых:

- разработка методов расчёта методических и инструментальных погрешностей;
- разработка средств измерений расхода;
- испытания, поверка и калибровка средств измерения.
- исследование динамики многофазных потоков и режимов течения;
- разработка физико-математических моделей для описания движения многофазных потоков.



Рис.1. Внешний вид научно-испытательного стенда. По голубым трубам осуществляется движение газа. По серым трубам движется жидкая фаза в виде смеси Eххsol и воды. Блок сепарации, сиреневого цвета, расположен в дальнем верхнем правом углу фотографии. Коричневый и зеленый баки заполнены имитатором нефти Eххsol и водой соответственно.

В качестве рабочих жидкостей используются имитатор нефти Eххsol D100 и вода, а в качестве рабочего газа – воздух. Ниже представлены основные технические характеристики научно-испытательного стенда [2]:

- массовый расход жидкости от 0,2 до 100 т/ч;
- объемный расход газа, приведенный к стандартным условиям, от 20 м³/ч до 25000 м³/ч;
- рабочий диапазон давлений 0.2-1.0 Мпа;
- рабочий диапазон температуры смеси от 15 до 40°С.

Работа стенда осуществляется по замкнутому циклу, который условно можно разделить на 5 этапов.

На первом этапе имитатор нефти и вода из емкостей 1 и 2 (Рис. 3) с помощью насосов 3 и 4 попадают соответственно в линию создания и измерения расхода пластовой жидкости 6 и в линию создания и измерения расхода имитатора нефти 5. На этом же этапе с помощью воздушного компрессора 7 атмосферный воздух поступает в линию создания и измерения расхода воздуха 8.

На втором этапе воздух, вода и имитатор нефти с заданным расходом подаются в блок смешения 9, где

происходит смешивание флюидов с образованием гомогенного трехкомпонентного газожидкостного потока.

На третьем этапе многофазный поток проходит через испытуемую или поверяемую измерительную установку 10, которая в последствии может быть аттестована как эталон 2-го разряда (Рис.2).

На четвертом этапе смесь поступает в газожидкостный сепаратор 11, где происходит отделение воздуха от жидкости и его выброс в атмосферу.

На последнем этапе обезгаженная эмульсия попадает в гравединамический сепаратор 12, где двухкомпонентная жидкость разделяется на исходные компоненты – Eххsol и воду, переливающиеся в соответствующие резервуары хранения 1 и 2.

Инновационной частью стенда является узел смешения. Он представляет собой совокупность последовательно соединенных между собой трубных секций, в каждой из которых установлен так называемый кеникс – обтекаемое тело спиралевидной формы. Такая конструкция узла смешения позволяет получать хорошо перемешанные, относительно устойчивые газожидкостные смеси.



Рис. 2. **Поверяемая измерительная установка.** Установка состоит из сепарационного бака белого цвета, двух электроприводных задвижек на жидкостной и газовой линии и кориолисовых расходомеров.

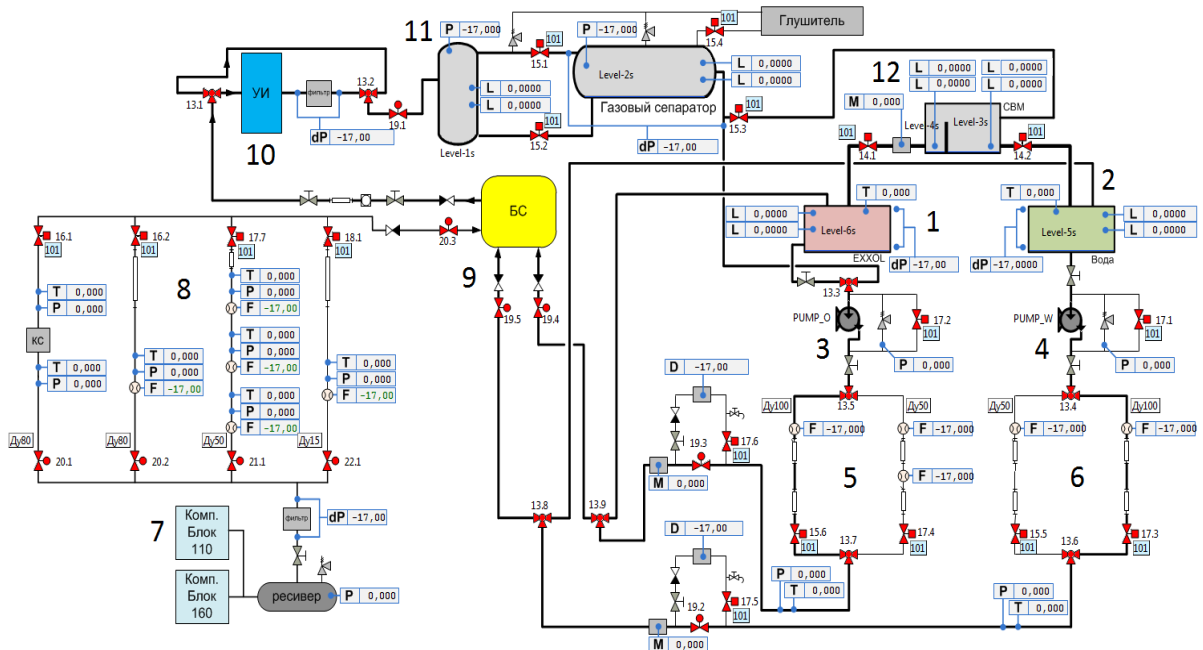


Рис. 3. **Схема научно-испытательного стенда.** 1 и 2 – резервуары хранения имитатора нефти и воды; 3 и 4 насосы для перекачивания имитатора нефти и воды; 5 – линия создания и измерения расхода имитатора нефти; 6 – линия создания и измерения расхода пластовой жидкости; 7 – воздушный компрессор; 8 – линия создания и измерения расхода воздуха; 9 – блок смешения; 10 – поверяемая измерительная установка; 11 – газожидкостный сепаратор; 12 – гравидинамический сепаратор. УИ – установка измерительная; БС – блок смешения; Level 3 – гравидинамический сепаратор жидкости; Level 6s – бак имитатора нефти Exxsol d1004 Level 5s – бак хранения воды; PUMP_O, PUMP_W – насос для Exxsol и воды; ДУ – условный диаметр трубопровода; P – давление; dP – перепад давления; T – температура; F – расход; L – высота.

Стенд оснащен большим количеством различных датчиков для контроля параметров процесса, температуры, давления, влагосодержания, расхода флюидов, уровня жидкости в сепарационных емкостях, емкостях хранения.

Вся технологическая линия стенда полностью автоматизирована. Это позволяет с рабочего места оператора контролировать все физические параметры процессов (давление, температура, влагосодержание, расход и т.д.), а также задавать и поддерживать необходимую величину расхода каждого флюида и наблюдать динамику изменения процессов.

Автоматизация созданного стенда массового расхода газожидкостных смесей выполнена в соответствии с трехуровневой архитектурой АСУТП:

- Нижний уровень. Это совокупность датчиков, исполнительных механизмов, устройств управления и контроля;

- Средний уровень. Это уровень контроллеров, которые собирают информацию о состоянии технологического процесса с измерительных приборов и подают команды на устройства управления.

- Верхний уровень. Это средства вторичной обработки информации. На верхнем уровне обеспечивается связь с нижними уровнями, проводится сбор

данных, визуализация и мониторинг технологического процесса.

На стенде использованы аналоговые и цифровые датчики со стандартными выходными сигналами и промышленными интерфейсами обмена данными. В качестве устройств управления выступают краны и регулирующие клапаны с электроприводом, частотно регулируемые насосы и т. д. [3].

Для сбора и первичной обработки информации используется модульная платформа PXI от компании National Instruments, предназначенная для создания многофункциональных контрольно-измерительных систем. Для вторичной обработки информации в научно-испытательном стенде используются виртуальные приборы, созданные с использованием графического языка программирования LabView от той же компании.

Созданная система позволяет в режиме реального времени в ручном и автоматическом режиме поддерживать заданные режимы расхода, давления и температуры на всех узлах НИСМП. Автоматически

управлять задвижками, клапанами, насосами по заданному алгоритму. При критических отклонениях от заданных параметров происходит полное отключение системы и питания.

Основные метрологические характеристики научно-испытательного стенда:

- пределы допускаемой относительной погрешности установки при измерении массового расхода жидких компонентов не более $\pm 0.1\%$;
- пределы допускаемой относительной погрешности установки при измерении объёмного расхода воздуха в рабочих условиях не более $\pm 0.5\%$;
- пределы допускаемой приведенной погрешности установки при измерении давления не более $\pm 0,3\%$;
- пределы допускаемой абсолютной погрешности установки при измерении температуры не более $\pm 0,3^\circ\text{C}$;
- пределы допускаемой абсолютной погрешности установки при измерении перепада давления не более $\pm 0,3\%$.



Рис.4. Примеры измерительных устройств в составе научно-испытательного стенда. На желтой вставке трубопровода расположен расходомер газа DYMETIC-1223M-T. Справа от него в трубопровод вмонтированы датчики давления и температуры.

Разработанный с использованием передовых технологий в области интеллектуальных контрольно-измерительных систем на базе компонентов автоматизации National Instruments и графического языка программирования LabView научно-испытательный стенд позволяет выполнять сложные задачи автома-

тизации измерительных экспериментальных установок, проводить поверку и испытания многофазных расходомеров. Реализована возможность выполнять исследования динамики многофазных потоков и режимов течения, а также разрабатывать и моделировать потоки с различными эффектами.

Литература:

1. Вакулин, А.А. Информационно-измерительная система многофазных потоков / А.А. Вакулин, А.Б. Шабаров, А.Н. Лищук // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика – 2015. – Т. 1. – № 3(3). – С.60-68.
2. Метрология. Переход на новый уровень (интервью с директором по НИОКР Бизнес-единицы "Нефтегазовое оборудование" ООО "УК "ГРУППА ГМС" А.Н. Лищук). // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №4. – С18-20.
3. Вакулин, А.А. Автоматизация научно-испытательного стенда многофазных потоков / А.А. Вакулин, Е.В. Голубев, В.В. Котлов, А.Н. Лищук, С.Г. Никулин, Н.Б. Филиппова // Наука и бизнес: Пути развития – 2014. – №12 (42). – С.87-92.
4. Вакулин, А.А. Особенности испытаний сепарационного многофазного расходомера для высокообводненной нефти / А.А. Вакулин, А.Н. Лищук, А.А. Кириченко // Автоматизация в промышленности. – 2016. – №2. – С.28-31.

References:

1. Vakulin, A.A. Informacionno-izmeritel'naya sistema mnogofaznyh potokov / A.A. Vakulin, A.B. SHabarov, A.N. Lishchuk // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, energetika – 2015. – Т. 1. – № 3(3). – С.60-68.
2. Metrologiya. Perekhod na novyj uroven' (interv'y u direktora po NIOKR Biznes-edinicy "Neftegazovoe oborudovanie" OOO "UK "GRUPPA GMS" A.N. Lishchukom). // Neftyanoe hozyajstvo. – 2015. – №4. – С18-20.
3. Vakulin, A.A. Avtomatizaciya nauchno-ispytatel'nogo stenda mnogofaznyh potokov / A.A. Vakulin, E.V. Golubev, V.V. Kotlov, A.N. Lishchuk, S.G. Nikulin, N.B. Filippova // Nauka i biznes: Puti razvitiya – 2014. – №12 (42). – С.87-92.
4. Vakulin, A.A. Osobennosti ispytaniy separacionnogo mnogofaznogo raskhodomera dlya vysokoobvodnennoy nefti / A.A. Vakulin, A.N. Lishchuk, A.A. Kirichenko // Avtomatizaciya v promyshlennosti. – 2016. – №2. – С.28-31.

Ремонт корпусов, подшипниковых щитов и резьбовых соединений электрических машин мощностью от 1 до 25 Квт

Емелин Антон Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;

Зименский Артем Сергеевич, инженер;

Савенко Алексей Валентинович, кандидат технических наук, профессор

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (г. Краснодар)

Аннотация. В работе рассмотрена возможность капитального ремонта корпусов, подшипниковых щитов и резьбовых соединений электрических машин мощностью от 1 до 25 Квт в зависимости от типа повреждения, технического состояния. Приведены различные технологические способы ремонта механических неисправностей, возможное их применение на практике, сравнение с возможной заменой детали или электрической машины. Приведено экономическое обоснование капитального ремонта корпусов, подшипниковых щитов и резьбовых соединений электрических машин.

Ключевые слова: Электрические машины, корпуса, подшипниковый щит, посадочные места под подшипник, резьбовое гнездо.

Корпуса электрических машин повреждаются относительно редко. Только около 5% ремонтов электрических машин связаны с ремонтом механических частей, остальные являются комбинацией механической и электрической неисправности, при этом приоритетной является электрическая неисправность [1, с. 95-103]. Для электрических машин, поступающих в ремонт, требуется механический ремонт в 47% случаев и примерно в 2-3% замена одной из корпусных деталей. Наиболее распространены следующие дефекты корпусов: повреждения или отлом лапы у станины, износ резьбовых отверстий или шпилек, износ посадочных мест под подшипники, трещины. В подшипниковых щитах возможны трещины, износ посадочных поверхностей. Данные были обработаны при ремонте примерно 3500 единиц электрических машин мощностью от 1 до 25 Квт, при этом количество брака при ремонте или возврата при эксплуатации до 3 месяцев составляло 8.5%. Возврат, связанный с механической частью, составляет менее 15% от общего числа брака. Рассмотрим возможные ремонты механической части электрических машин.

Сварку корпусов, подшипниковых щитов и заварку трещин выполняют электродуговой сваркой. Вначале деталь очищают от ржавчины и обезжиривают [2, с. 1797-1811]. Во избежание дальнейшего распространения трещин, засверливают на их концах отверстия. При толщине треснувшей стенки более 5 мм скашивают кромки трещины по всей длине под углом 45-50°. Для повышения качества, деталь нагревают до 350-550°C, а после сварки медленно охлаждают. После проведения работ по восстановлению

детали с применением нагрева необходима операция по замеру геометрической формы детали и проверка базовых посадочных мест их соосности между собой или относительно базовых поверхностей [3, с. 9-10].

Износ посадочных мест под подшипник связан с задирами, забоинами, вмятинами и выкрашиванием материала из поверхности. При незначительном повреждении поверхности (менее 10% площади) возможна устранение дефектов только шлифованием [4, с. 46-47]. При большем повреждении поверхности необходима наплавка металла с дальнейшей шлифовкой поверхности. Также при значительных износах возможна расточка посадочных мест под ремонтные втулки. В некоторых случаях возможна расточка посадочного места по больший наружный диаметр подшипника при сохранении остальных геометрических размеров подшипника под номинальный размер.

Наплавку металла можно производить двумя способами:

1. Наплавка газовой сваркой

2. Наплавка полуавтоматической электрической сваркой (сварка проволокой в среде углекислого газа или флюсовой проволокой).

При использовании газовой горелки желательно деталь вначале нагреть в печи до температуры 270-320°C, произвести наплавку металла, затем деталь подвергнуть отжигу. Отжиг представляет собой:

1. нагрев до 320-430°C

2. выдержка 3-6 часов

3. медленное охлаждение в выключенной печи в течение 7-14 часов.

Соблюдение всех режимов отжига позволяет избежать коробления деталей, что особенно актуально для тонких подшипниковых щитов. [5, с. 88-89]

При использовании полуавтоматической электрической сварки диаметром проволоки до 0.8мм возможно проведение операций по наплавке металла без применения дополнительного нагрева и отжига. При этом необходимо использование специальной проволоки и регулировка режимов работы сварочных аппаратов (регулировка скорости подачи проволоки и силы тока при сварке).

При износе в подшипниковом щите поверхности под торцевую посадку подшипника и щита к основному корпусу производится наплавка металла и механическая обработка. Несосность этих поверхностей допускается не более 0.05мм в машинах мощностью более 1.5 кВт. В машинах до 1.5кВт не более 0.03мм [6, с. 65-66]. Если восстанавливается одна из базовых поверхностей щит необходимо установить на другую базовую поверхность. Если на восстанавливаемой детали нет не поврежденной базовой поверхности то такую деталь необходимо заменить, т.к. невозможно добиться соосности деталей [7, с. 26-27].

Посадочные поверхности под подшипники можно восстанавливать при помощи втулок. Втулки запрессовываются с натягом от 0.01 до 0.05 мм. При этом необходимо учитывать, что толщина стенки, куда будет запрессована втулка не должна, быть менее 5 мм. Чаще всего втулку изготавливают из стали марки Ст3. Также возможно использование втулки из фторопласта. Втулка должна быть закреплена стопорными винтами. Эти винты необходимо застопорить керновкой или использованием резьбового герметика с предварительным обезжириванием поверхностей [8, с. 111-113].

Износ и срыв резьбовых соединений в деталях электрических машин происходит при многократном демонтаже резьбовых соединений и превышении номинальных моментов затяжки деталей. В многих современных электрических двигателях предусмотрена замена крепежного элемента после однократной затяжки его необходимым моментом. Один из методов восстановления резьбы заключается в заваривании резьбового гнезда с последующим сверлением отверстия и нарезанием резьбы номинального значения. В дальнейшем это позволяет использовать стандартный крепежный элемент. Такой ремонт можно использовать при ремонте стальных и алюминиевых корпусов.

Второй способ заключается в использовании футорки. В корпусе нарезается резьба большего диаметра, затем устанавливается футорка с наружной и

внутренней резьбой. При этом внутренняя резьба соответствует номинальному значению. Футорку стопорят штифтом или клеем. Таким способом можно отремонтировать как стальной и алюминиевый, так и чугунный корпуса [1, с. 30-35].

Резьбовое соединение со шпилькой можно отремонтировать заменой шпильки на ремонтную. В корпусе нарезается резьба большего диаметра и затем изготавливается шпилька под ремонтный размер [9, с. 196-199].

В корпусах особенно изготовленных из алюминия возможна замена болтов на шпильки с гайками. Шпильки от откручивания стопорят резьбовым герметиком, предварительно обезжирив поверхности. При этом износ происходит в резьбовом соединении гайка-шпилька [10, с. 300-301]. Замена гайки и шпильки менее затратная операция, как в финансовом плане, так и временном.

При капитальном ремонте электрических машин в 15-25% случаев сталкиваются со сложностями при разборе резьбовых соединений, при этом основным факторами является окисление места резьбового соединения и не соблюдения номинальных значений момента затяжки резьбовых соединений.

Целесообразность ремонта корпусов, подшипниковых щитов и резьбовых соединений электрических машин мощностью от 1 до 25 Квт не обходимо рассматривать со стороны нескольких факторов:

1. Возможность покупки аналогичных запасных частей.
2. Сроки поставки запасных частей.
3. Возможность замены электрической машины в сборе или замена на аналогичную.

При ремонте любой электрической машины необходимо учитывать экономический фактор: так при стоимости ремонта, составляющего более 75% от стоимости новой электрической машины, рекомендуется покупка новой, при меньших затратах – ремонт. При замене электрической машины возможна покупка и установка аналогичной или более современной, с улучшенными техническими характеристиками: повышенный КПД, более высоким коэффициентом мощности, пониженной вибрацией и шумом. Необходимо отметить, что современное электрическое оборудование во многих случаях не имеет ремонтного запаса прочности и рассчитано на один технологический цикл работы оборудования с последующей заменой его более современными технологическими линиями без применения какого-либо ремонта и технического обслуживания.

Литература:

1. Атабеков В.Б. Ремонт трансформаторов и электрических машин. / Атабеков В.Б. – М., 1983.
2. Савенко А. В. Аппаратные средства определения относительного отклонения напряжения и коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности на предприятиях АПК / А. В. Савенко, А. В. Емелин, М. В. Удалий // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 111. – С. 1797-1811.
3. Савенко А.В. Определение длины линии 0,4 кВ электрической сети на имитационной математической модели / А. В. Савенко, А. В. Емелин, В. А. Перепечин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 8. – С. 9-10.

4. Емелин А. В. Определение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности / А. В. Емелин, А. В. Савенко // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общей редакцией В. А. Трушкина. – 2016. – С. 46–49.
5. Емелин А. В. Проблемы качества электроэнергии в современном производстве / А. В. Емелин, В. С. Вельмисев, М. А. Калюта // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы X национальной науч.-практ. конф. с международным участием / под общ. ред. В. А. Трушки-на. – 2019. – С. 88–89.
6. Амерханов Р. А. Методика и аппаратные средства проведения обследования систем электроснабжения предприятий АПК / Р. А. Амерханов, А. В. Емелин, А. В. Савенко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2018. – № 4 (114). – С. 65–66.
7. Емелин А. В. Методики обработки результатов энергоаудита / А. В. Емелин, А. В. Савенко, А. С. Зименский // Современное развитие науки: вопросы теории и практики : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 26–27.
8. Емелин А. В. Балансировка якорей и роторов электрических машин ручного электроинструмента / А. В. Емелин, А. С. Зименский // Евразийское Научное Объединение. – 2020. № 5-2 (63). – С. 111–113.
9. Савенко А. В. Математическое моделирование системы электроснабжения и электропотребления предприятия АПК при проведении на нем экспресс-энергоаудита / А. В. Савенко, А. В. Емелин // Труды Междунар. науч.-тех. конф. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2008. – Т. 1. – С. 196–199.
10. Курзин Н. Н. Особенности в методике преподавания курса общей физики на биологических факультетах университета / Н. Н. Курзин, А. В. Емелин // Качество высшего образования в аграрном вузе : проблемы и перспективы : по материалам учеб.-метод. конф. Отв. за вып. Д. С. Лилякова. – Краснодар, 2019. – С. 300–301.
11. Савенко А. В. Определение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности косвенным методом / А. В. Савенко, А. В. Емелин // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 421(151). – С. 261

Пропитка обмоток электрических машин мощностью до 15 кВт

Емелин Антон Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;

Зименский Артем Сергеевич, инженер

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (г. Краснодар)

Аннотация. В работе рассмотрена технологическая операция по пропитке обмоток электрических машин, способы нанесения покрытия, возможные варианты сушки.

Ключевые слова: электрическая машина, обмотка, лак, сушка.

При капитальном ремонте одной из обязательных операций является пропитка обмоток электрической машины. Пропитка – это процесс заполнения или покрытия обмотки и ее изолирование специальными составами. В качестве составов чаще всего выступают разнообразные по химическому составу лаки. Примерно 80–85% лаков требуют последующей термической обработки. Пропитка значительно замедляет процессы теплового старения и увлажнения электроизоляции машины, это обусловлено уменьшением площади соприкосновения проводников с окружающей средой, незначительным снижением температуры, т.к. теплопроводность лаков значительно больше теплопроводности воздуха. Вследствие обработки обмоток электрической машины лаком повышается электрическая прочность, с физической точки зрения это может быть объяснено заполнением пор и мельчайших капилляров лаком, который имеет большую электрическую прочность, чем воздух. Значительно повышается механическая прочность обмоток [1, с.62–83].

Лак состоит из основы и растворителей. В состав лака зачастую входит небольшое количество пластификатора, который придает гибкость образующейся пленке. Для ускорения процесса затвердевания по-

сле пропитки в лак добавляют отвердители. В настоящее время применяются отвердители, позволяющие сократить время сушки в 3–4 раза. В современных пропитках практически полностью отсутствуют растворители, чаще всего это составы на основе ненасыщенных полиэфирных и на базе эпоксидных смол.

Пропитке всегда предшествует сушка для удаления влаги из обмоток, а также для снятия внутренних напряжений в изоляции проводов, которые обязательно возникают при намотке проводников в виде катушек. Для лучшего проникновения лака внутрь обмотки, пропитку желательнее проводить при температуре 50–80 °С. После пропитки изделия сушат для удаления растворителя и отвердевания поверхности лаков. Растворители и частично отвердители должны испариться и выделиться из обмоток в виде летучих веществ в воздухе, которые необходимо нейтрализовать или рассеять в атмосфере. Части пропитки обычно располагают в отдельных помещениях с хорошей приточно-вытяжной вентиляцией с фильтрами [2, с.261]. Современные составы пропитки в своем составе не содержат растворителей, и при их использовании не выделяются или очень мало выделяются вредные летучие вещества. В таком случае

этап пропитки можно располагать в общем технологическом потоке. Стоимость этих пропиток на 25-30% выше, чем пропиток с растворителем в своем составе, но при расчете всех затрат, связанных с пропиткой (дополнительные затраты на вентиляцию, замена и утилизация сменных элементов фильтров при использовании пропиток с растворителем в своем составе), они становятся сопоставимыми [4, с.46-49].

Сушка после пропитки выполняется в один или два этапа. В первом случае - первая ступень - при температуре 120 °С удаляется растворитель, на второй ступени при температуре, соответствующей отвердеванию применяемого лака, происходит его полимеризация. Во втором случае при использовании специальных лаков возможен нагрев только до определенной температуры. При сушке могут быть использованы тупиковые и проходные печи. Обогрев может осуществляться за счет применения пара или электрического тока. Существуют несколько видов пропитки:

1. Пропитка погружением
2. Пропитка в вакууме и под давлением
3. Пропитка струйным методом.

Пропитка погружением заключается в том, чтобы технологическое изделие с обмоткой погружается в емкость с лаком. Лак под действием гидростатического давления и капиллярных сил проникает в обмотку, вытесняя воздух [5, с.88-89]. Затем сердечник с обмоткой извлекают из ванны, подождя некоторое время, необходимое для стекания лишнего лака, обмотку подвергают термической сушке.

Сушка обмотки до пропитки лаком длится 1-2,5 часа. После сушки деталь охлаждают до 50-70 °С и помещают в ванну. Сердечник помещают так, чтобы не повредить обмотку, и воздух свободно выходил из нее без образования воздушных карманов. Концы и клеммы обмоток стараются расположить в верхней части. Ванну заполняют лаком так, чтобы уровень лака был выше уровня обмоток на 50-100 мм.

В зависимости от марки лака подбирают его оптимальную вязкость. Если лак обладает большей вязкостью, необходимо добавить растворителя.

Деталь выдерживают в лаке от 30 минут до 1 часа, затем сливают лак из ванны и выдерживают 10-20 минут для стекания лишнего лака. Затем достают деталь на стол с принудительной вытяжной вентиляцией для отмывки и очищения поверхностей, где присутствие лака недопустимо. Такими поверхностями являются: замковые поверхности корпуса, клеммы, выводные концы, поверхности, рассчитанные на посадку подшипников. Поверхности могут быть отмыты растворителями, при этом попадание его на пропитанные обмотки нежелательно [6, с.65-66]. Сушка изделия происходит за 4-8 часов в зависимости от геометрической формы, массы, применяемого лака.

Литература:

1. Атабеков В.Б. Ремонт трансформаторов и электрических машин. / Атабеков В.Б. – М., 1983.
2. Савенко А. В. Определение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности косвенным методом / А. В. Савенко, А. В. Еме-лин // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 421(151). – С. 261

За одну пропитку обмотку качественно пропитать не получается. Для нанесения необходимого количества лака выполняют несколько пропиток. Две пропитки для общепромышленного применения и не большой мощности и 3-5 для специальных машин.

С физической точки зрения поры и пустоты в изоляции обмоток электрических машин заполняются, в основном, при первой пропитке, а последующие пропитки являются покрывными или защитными [7, с.64-67].

Пропитка обмоток в вакууме и под давлением состоит в том, что деталь помещают в автоклав, затем создают в нем вакуум и, не убирая его, подают лак. Когда уровень лака становится выше заготовки, снижают вакуум и создают избыточное давление. Отсутствие воздуха в детали, а также избыточное давление способствуют более глубокому и равномерному проникновению лака в обмотку. Наличие вакуума после пропитки способствует испарению большей части летучих веществ и повышению вязкости лака. Лак при такой пропитке не вытекает из обмотки и позволяет за одну обработку нанести необходимое количество лака. Количество обработок можно сократить до одной, в случае специальной обмотки - до двух раз. Этот метод особенно эффективен для многовитковых катушек с небольшим сечением проводника [8, с.111-113].

При пропитке струйным или капельным методом заготовка (статор или якорь) подключается к источнику электрического тока, при этом обмотка нагревается. Температура поддерживается в зависимости от геометрической формы заготовки и химического состава лака, наличия растворителя. На нагретую обмотку через форсунку подается пропиточный состав. Заготовка находится под углом к горизонту (15-300) и вращается. Состав, попадая на обмотки, нагревается, вязкость его резко понижается, в результате он значительно лучше проникает в обмотку. В процессе пропитки нагрев продолжается, однако температура детали не повышается, т.к. наблюдается тепловой баланс.

По окончании подачи пропиточного состава деталь желательно установить в горизонтальное положение и продолжать вращать в течение 10-15 минут для более равномерного распределения пропиточного состава в обмотке. Температура обмотке повышается, и происходит полное отвердевание пропиточного состава [9, с.116-117].

По окончании процесса пропитки деталь охлаждают при комнатной температуре, очищают базовые поверхности, на которых нежелательно присутствие дополнительной пленки (места под посадку подшипников, резьбовые соединения, места стыковки корпусных деталей). Желательно приступить к сборке электрической машины по истечению 15-20 часов после процесса пропитки.

3. Тропин В.В., Савенко А.В., Емелин А.В. Фильтр напряжения обратной последовательности. Патент на изобретение RU 2353943 C1, 27.04.2009. Заявка № 2008110252/09 от 17.03.2008.

4. Емелин А. В. Определение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности / А. В. Емелин, А. В. Савенко // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общей редакцией В. А. Трушкина. – 2016. – С. 46–49.

5. Емелин А. В. Проблемы качества электроэнергии в современном производстве / А. В. Емелин, В. С. Вельмисев, М. А. Калюта // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы X национальной науч.-практ. конф. с международным участием / под общ. ред. В. А. Трушкина. – 2019. – С. 88–89.

6. Амерханов Р. А. Методика и аппаратные средства проведения обследования систем электроснабжения предприятий АПК / Р. А. Амерханов, А. В. Емелин, А. В. Савенко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2018. – № 4 (114). – С. 65–66.

7. Емелин А.В., Годзь А.И. Основные виды малоэтажного строительства в Краснодарском крае. Евразийское Научное Объединение. 2020. № 3-1 (61). С. 64-67.

8. Емелин А. В. Балансировка якорей и роторов электрических машин ручного электроинструмента / А. В. Емелин, А. С. Зименский // Евразийское Научное Объединение. – 2020. № 5-2 (63). – С. 111–113.

9. Емелин А.В., Зименский А.С., Савенко А.В. Ремонт валов электрических двигателей мощностью до 3 кВт. Евразийское Научное Объединение. 2020. № 6-2 (64). С. 116-117.

10. Курзин Н. Н. Особенности в методике преподавания курса общей физики на биологических факультетах университета / Н. Н. Курзин, А. В. Емелин // Качество высшего образования в аграрном вузе : проблемы и перспективы : по материалам учеб.-метод. конф. Отв. за вып. Д. С. Лилякова. – Краснодар, 2019. – С. 300–301.

Исследование 5G

Колмыков Антон Николаевич

ЧУ "Центр независимой экспертизы на автомобильном транспорте", г.Самара

Ключевые слова: 5G, сотовая связь, коронавирус, covid, 2019-nCoV.

Введение: Статья является текстом исследования сетей 5G по известным исходным данным. Исследованием установлено, что сети 5G являются оружием массового поражения. Статья предназначена для применения органами следствия, суда и органами власти.

Специалист, Колмыков Антон Николаевич, имеющий высшее техническое, военно-техническое образование, Пензенское высшее артиллерийское инженерное училище, специальную подготовку по компьютерной технике и программному обеспечению, специальную экспертную подготовку, стаж работы экспертом с 1993 года, по компьютерно-технической экспертизе с 2000 по 2003 годы УВД г.Самары, ЭКЦ при ГУВД Самарской области, ЦНЭАТ г.Самара, сертификат №КАЕО RU.SP.63.22242.01, провел компьютерно-техническое исследование.

В конце 80-х годов действовала «Программа Звездных Войн» США. Они угрожали нанести удары по СССР с помощью лазера с орбиты Земли. В СМИ постоянно озвучивались угрозы применения новых видов вооружений по большим площадям с помощью летательных аппаратов, в том числе с орбиты полета американских челноков — космических кораблей многоразового использования.

СССР был вынужден включиться в гонку вооружений для обороны от возможных угроз. В связи с этим, на каждую угрозу военные специалисты проводили исследование и готовили ответ руководству СССР, о реальности или нереальности озвученной США новой угрозы. Поскольку Пензенское высшее военное артиллерийское инженерное училище (ПВАИУ) являлось профильным ВУЗом по вооружениям, то по целому ряду угроз именно ученые ПВАИУ давали ответ.

Пример: США угрожали, что они лазером будут сбивать боеголовки баллистических ракет, спутники, стрелять по целям в атмосфере и на поверхности Земли. Ответ ученых ПВАИУ для Правительства СССР: «Это ложь. Это технически невозможно. Тратить деньги для противодействия подобной угрозе не имеет смысла».

Лазер по своей сути это высокочастотное электромагнитное излучение и потому одновременно рассматривалась версия о том, что под видом лазера могут вестись разработки и другого оружия на базе высокочастотного электромагнитного излучения. Применительно к человеку, высокочастотное электромагнитное излучение может иметь мишенью нейроны тела человека и его головного мозга.



Рис. 1. Основные типы нейронов. Имеется ядро, длинные и короткие отростки разной длины. Длинный отросток — аксон

Задача нейронов это генерация и передача электрических импульсов в теле человека. Частота передачи импульсов: «...10 импульсов в 1 сек. и только при сильных раздражениях может заметно превысить эту величину. У вставочных нейронов фазы следовой гиперполяризации и субнормальности выражены слабее, и они могут разряжаться со значительно более высокой частотой (до 1000 импульсов в 1 сек.), (см. БМЭ, https://бмэ.орг/index.php/нервная_клетка).

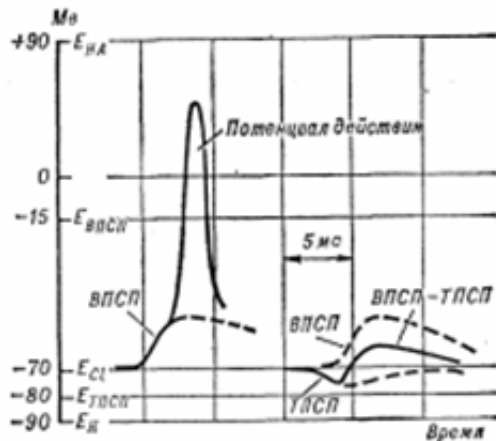


Рис. 2. График электрической активности нервной клетки

Таким образом, воздействуя на клетку нейрона можно воздействовать как на весь организм в целом, так и на отдельные его части. Эта возможность высокочастотного электромагнитного излучения с 70-х годов прошлого века известна специалистам и используется при создании различных терапевтических медицинских приборов – физиотерапия. Это же может быть использовано в качестве оружия против человека.

«Технические параметры» нервной клетки (нейрона) можно описать так:

- нервная клетка имеет отрицательный заряд, величина которого равна -40 -70 мВ, где -70 милливольт это потенциал покоя;

- электрическая активность нейрона близка к синусоидальным колебаниям с частотой $0,1$ – 10 Гц и амплитудой 5 – 10 мВ.

- длина аксона в мозгу человека 150 мкм и длиннее, а короткие отростки 50 мкм и короче (длина $0,15$ мм, $0,05$ мм).

Изменение этих параметров изменит состояние самочувствия человека и даже может прекратить функционирование как всего организма так и отдельных его частей (органов).

В «технических характеристиках» нейрона указана длина $0,15$ мм и более. Эту длину, с точки зрения оружия, рассматривают как длину приемной антенны в теле человека. Чтобы эта «приемная антенна» получила электромагнитный сигнал от излучателя, длина волны передатчика должна быть в два раза больше (см. электротехника и радиопередатчики). Соответственно, передатчик должен иметь длину волны от $0,3$ мм и длиннее. Аксоны могут достигать и $1,5$ м от позвоночника до стопы ноги человека.

С переводом длины волны на частоту сигнала, значения будут иметь следующий вид, (см. рис. 3).



Рис. 3. Длина волны

Таблица 1. Спектр излучений

Диапазон	Полоса частот	Длина волны
Сверхдлинные радиоволны	$3 \dots 30$ кГц	$100000 \dots 10000$ м
Длинные радиоволны	$30 \dots 300$ кГц	$10000 \dots 1000$ м
Средние радиоволны	$300 \dots 3000$ кГц	$1000 \dots 100$ м
Короткие радиоволны	$3 \dots 30$ МГц	$100 \dots 10$ м
Метровый радиодиапазон	$30 \dots 300$ МГц	$10 \dots 1$ м
Дециметровый радиодиапазон	$300 \dots 3000$ МГц	$1 \dots 0,1$ м
Сантиметровый СВЧ диапазон	$3 \dots 30$ ГГц	$10 \dots 1$ см
Микроволновый СВЧ диапазон	$30 \dots 300$ ГГц	$1 \dots 0,1$ см
Инфракрасное излучение	$0,3 \dots 405$ ТГц	$1000 \dots 0,74$ мкм
Красный цвет	$405 \dots 480$ ТГц	$740 \dots 625$ нм
Оранжевый цвет	$480 \dots 510$ ТГц	$625 \dots 590$ нм
Желтый цвет	$510 \dots 530$ ТГц	$590 \dots 565$ нм
Зеленый цвет	$530 \dots 600$ ТГц	$565 \dots 500$ нм
Голубой цвет	$600 \dots 620$ ТГц	$500 \dots 485$ нм
Синий цвет	$620 \dots 680$ ТГц	$485 \dots 440$ нм
Фиолетовый цвет	$680 \dots 790$ ТГц	$440 \dots 380$ нм
Ультрафиолетовое излучение	$480 \dots 30000$ ТГц	$400 \dots 10$ нм
Рентгеновское излучение	$30000 \dots 3000000$ ТГц	$10 \dots 0,1$ нм
Гамма излучение	$3000000 \dots 30000000$ ТГц	$0,1 \dots 0,01$ нм

В таблице 1 показан спектр с длиной волны и частоты излучений.

Для воздушной среды расчет выполняется по формуле:

$$\lambda \text{ (м)} = 299792458 / f \text{ (Гц)}$$

где:

λ – длина волны (м);

f – частота (Гц);

299792458 – скорость света (м/с).

При этом, интересующая нас минимальная длина волны 300 мкм соответствует частоте 999.31 ГГц.

Проводим сравнительное исследование с излучениями станций сотовой связи

4G и 5G. Заявленные характеристики станций – распределение полос радиочастот между операторами и радиослужбами указано в Постановлении Правительства РФ №1203-47 от 18.09.2019г. «Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации».

Описание: Частоты 5G в России. Технология 5G уже работает в нескольких странах мира. В России она находится на стадии тестирования. Для этого Государственная комиссия по радиочастотам выделила диапазон **25-29,5 ГГц**. Указанные частоты непригодны для коммерческого использования и будут использоваться только в тестовом режиме. Вокруг постоянных частот 5G в России до сих пор ходят споры. Во всем мире для этой технологии выделен диапазон 3,4-3,8 ГГц. В нашей стране это невозможно, потому что тогда 5G будет мешать стратегическим предприятиям и государственным ведомствам Российской Федерации. По данным СМИ, Президент России согласился с письмом Совета Безопасности РФ о том, что диапазон 3,4-3,8 ГГц следует оставить за государством. На время проведения Кубка Конфедераций и чемпионата мира по футболу в России государственная комиссия по радиочастотам выделила публичному акционерному обществу «МегаФон» частоты в диапазоне 3,4-3,8 ГГц для строительства сетей 5G в 11 городах. В качестве альтернативы закрытому правительственному диапазону, Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации предложило другой – 4,4-4,99 ГГц.

Литература:

1. Е.Р.Россинская. А.И.Усов. Судебная компьютерно-техническая экспертиза / Право и закон. М: 2001 – 414с.
2. Е.Р.Россинская. Судебная экспертиза в гражданском, арбитражном, административном и уголовном процессе / «НОРМА» М: 2005 – 655 с.
3. Большая медицинская энциклопедия, <https://бмэ.орг/>
4. Основы психофизиологии: Учебник / Отв. ред. Ю.И. Александров. – М.: ИНФРА-М, 1997.
5. Физиология человека. Учебник для вузов / Под ред. Покровского В.М., Коротько Г.Ф. –М., 2003. –656 с.
6. Постановление Правительства РФ №1203-47 от 18.09.2019г. «Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации».
7. Г. Я. Мякишев Б. Б. Буховцев В. М. Чаругин. Физика 11 класс Учебник для общеобразовательных организаций. Под редакцией проф. Н. А. Парфентьевой Рекомендовано Министерством образования и науки Российской Федерации 23-е издание Москва «Просвещение» 2014 УДК 373.167.1:53

По тексту выше выделено шрифтом частоты 25-29,5 ГГц. Это верхняя, самая высшая граница сантиметрового диапазона (см. рис.4), которая для связи непригодна, но указано, что проводятся испытания – тестирование. Что там тестировать, если для связи этот диапазон все равно не применяется из-за плохой характеристики распространения сигнала? 29,5 ГГц это уже длина волны в 1 см. Отдельные отростки нейронов (аксоны) в теле человека имеют такую длину. Более того, отростки нейронов от позвоночника к мышцам, которые управляют дыханием – движением грудной клетки, находятся в этом самом «сантиметровом» диапазоне длины волны.

Если работа станций сотовой связи 2G и 3G это были в основном частоты в МГц диапазоне, то станции 4G и 5G это уже гигагерцы 2, 3, 4, 25-29,5 ГГц. Это диапазон частот с длиной волны от 15 до 1 см. Это сопоставимо с длиной отростков нейронов (аксонов) как в головном мозге, так и от позвоночника до отдельных органов и мышц.

Проведенным сравнительным исследованием установлено, что базовые станции сети 5G обладают электромагнитным излучением с длиной волны, на которой «работают» живые существа – люди и животные. Установленное совпадение позволяет сделать вывод о том, что программно-аппаратные средства сетей 5G являются оружием поражения – воздействуют на людей и животных.

Выделение для тестирования сетей 5G частоты 25-29,5 ГГц приведет к поражению ещё большего числа людей и животных, чем это было бы на частоте 2-4 ГГц.

Для следователей и судей: Информация о СВЧ, записана в учебник физики средней школы: Длина волны менее 10 см это СВЧ излучение [7]. Эти знания не являются специальными, а являются общеизвестными знаниями. Эксперт не нужен. Нормативная база о СВЧ излучениях – СанПиН СССР и РФ в открытом доступе.

ВЫВОД

Программно-аппаратные средства сетей сотовой связи 5G могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека. Сети 5G являются оружием массового поражения, т.к. «работают в диапазоне живых существ».

УДК 631.348:632.936.1

Управление поведением живых существ с помощью цифровых технологий

Кондратьева Н.П., Бузмаков Д. В., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г.
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», Ижевск (Россия)

Аннотация. Системы управления поведением живых существ с помощью цифровых технологий находят широкое применение в сельском хозяйстве, одной из отраслей которого является пчеловодство. Продукция пчеловодства активно используется во всем мире. Но у пчелосемей есть враги, которые делятся на паразитов и хищников. К паразитам пчелиной семьи относятся восковые моли, ухвертки, некоторые жуки и клещи. Все они или постоянно или длительно живут в пчелином гнезде, питаются воском, пергой, медом и т.д., иногда уничтожая летных пчел. В нашей работе мы рассказываем о разработанных цифровых технологиях для управления поведением большой восковой моли.

Проблема сохранения меда является актуальной задачей, так как до 30% меда в улье может уничтожить большая восковая моль (БВМ), гусеницы которой в основном, питаются воском, за что и получили своё название. Каждая гусеница требует для своего развития около 0,8 грамм воска. В течение года могут смениться от 2 до 4 поколений бабочек БВМ в зависимости от температуры, влажности и качества еды. Бабочка БВМ имеет фасеточные глаза, то есть в качестве приманки для нее можно использовать комфортное для нее излучение. Так как за свою жизнь бабочка БВМ может отложить до 1500–2000 яиц, из которых со временем появляются прожорливые гусеницы, то управление поведением живых существ с помощью цифровых технологий является актуальной.

Целью работы является разработка цифровых технологий для управления поведением бабочек БВМ.

Ключевые слова: цифровых технологии, управление поведением бабочек большой восковой моли, микропроцессор, автоматизированные системы.

Abstract. Systems for controlling the behavior of living beings using digital technologies are widely used in agriculture, one of the branches of which is beekeeping. Beekeeping products are actively used all over the world. But bee colonies have enemies, which are divided into parasites and predators. The parasites of the bee family include wax moths, earwigs, some beetles and mites.

In our work, we talk about digital technologies developed to control the behavior of a greater wax moth.

The problem of honey preservation is an urgent task, since up to 30% of honey in a hive can be destroyed by a greater wax moth

Each caterpillar requires about 0.8 grams of wax for its development. During the year, from 2 to 4 generations of greater wax moths can change, depending on temperature, humidity and food quality. The butterfly has faceted eyes, that is, radiation that is comfortable for it can be used as a bait for it. Since during its life, the butterfly can lay up to 1500–2000 eggs, of which voracious caterpillars appear over time, control of the behavior of living beings using digital technologies is relevant.

The aim of the work is to develop digital technologies to control the behavior of greater wax moth.

Keywords: digital technologies, behavior control of butterflies of the greater wax moth, microprocessor, automated systems.

DOI: 10.5281/zenodo.4023138

Системы управления поведением живых существ с помощью цифровых технологий находят широкое применение в сельском хозяйстве, одной из отраслей которого является пчеловодство [1]. Продукция пчеловодства активно используется во всем мире [2, 3, 4]. Но у пчелосемей есть враги, которые делятся на паразитов и хищников. К паразитам пчелиной семьи относятся восковые моли, ухвертки, некоторые жуки и клещи. Все они или постоянно или длительно живут в пчелином гнезде, питаются воском, пергой, медом и т.д., иногда уничтожая летных пчел. В нашей работе мы рассказываем о разработанных цифровых технологиях для управления поведением большой восковой моли [5, 6, 7].

Проблема сохранения меда является актуальной задачей, так как до 30% меда в улье может уничтожить большая восковая моль (БВМ), гусеницы которой в основном, питаются воском, за что и получили своё название. Каждая гусеница требует для своего развития около 0,8 грамм воска. В течение года могут смениться от 2 до 4 поколений бабочек БВМ в зависимости от температуры, влажности и качества еды. Бабочка БВМ имеет фасеточные глаза, то есть в качестве приманки для нее можно использовать комфортное для нее излучение, так как за свою жизнь бабочка БВМ может отложить до 1500–2000 яиц, из которых со временем появляются прожорливые гусеницы, то **управление поведением живых существ с помощью цифровых технологий является актуальной.**

Целью работы является разработка цифровых технологий для управления поведением бабочек БВМ.

Фасеточный глаз насекомого напоминает корзинку спелого подсолнуха и состоит из набора фасеток (*омматидиев*) – автономных приемников светового

излучения, имеющих все необходимое для регуляции светового потока и формирования изображения (рисунок 1). Омматидиев в одном глазу насекомого может быть от 5000 до 25000 штук. Глаз обычной комнатной мухи включает 4000 таких фасеток [8, 9]. Практически все насекомые видят длинноволновое ультрафиолетовое излучение [10, 11].

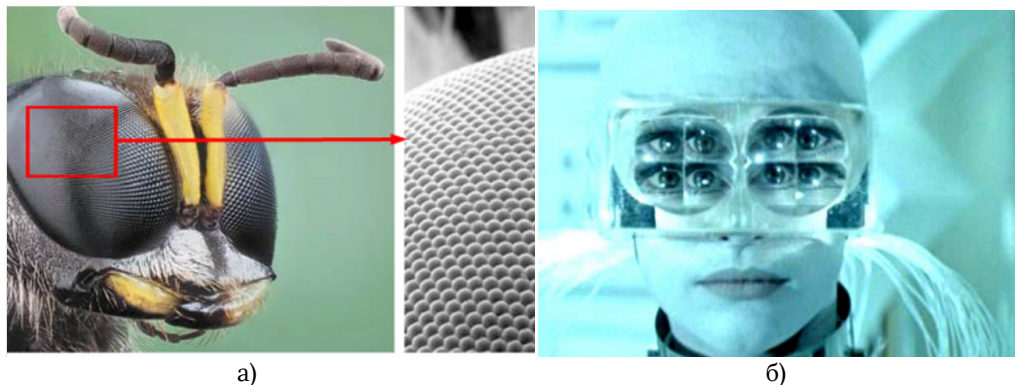


Рис. 1. Фасеточный глаз искомого (а) и попытка имитировать фасеточный глаз (б)

Мы разработали цифровые технологии для управления поведением бабочек БВМ на основе автоматизированных систем управления, поддерживающих комфортные условия среды обитания для бабочек БВМ, то есть спектральное излучение, температуру, влажность и продолжительность воздействия этих факторов [12, 13]. Во главе всех трех систем автоматического управления находится микроконтроллер ATmega328, собранный на плате Arduino Uno. Его алгоритм программы производит поддержку температуры в диапазоне от 25°C до 28°C и влажности от 20 до 60 %. Микроконтроллер так же выполняет функцию управления экспозицией (длительностью) воз-

действия оптического излучения. При помощи кнопок выполняется выбор и запуск светодиодных источников излучения. Под каждой кнопкой записано свое значение времени работы светодиодов, а именно 60, 30 и 10 минут. Освещенность составляет 10 лк.

На рисунке 2 показана схема подключения исполнительных механизмов автоматизированной системы по управлению освещением. Большинство механизмов подключены через промежуточное реле, так как их мощность слишком велика для выходов микроконтроллера. В системе предусмотрен звуковой сигнал, который оповещает о завершении проведенного облучения.

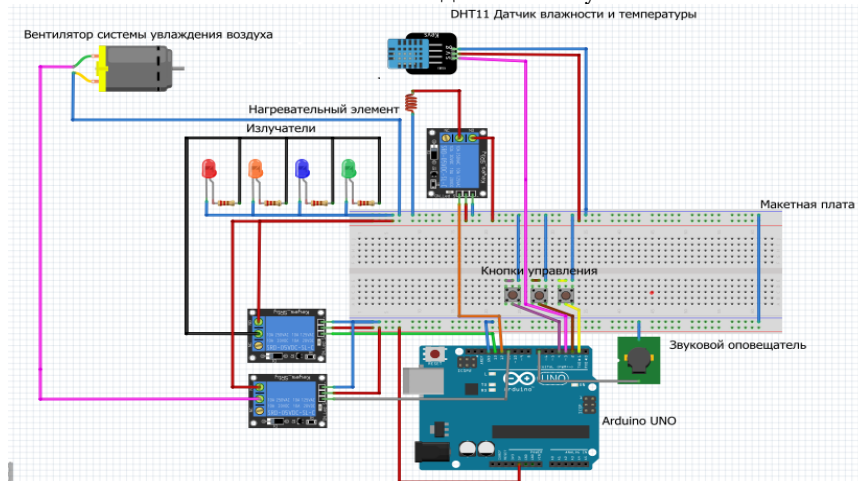


Рис. 2. Схема подключения исполнительных механизмов микропроцессорной автоматической системы по управлению

На рисунке 3 показана схема подключения исполнительных механизмов автоматизированной системы по управлению температурой.

Необходимая температура задаётся с помощью переменного резистора, подключенного к аналоговому входу микроконтроллера. Заданная температура фиксируется на подключённом дисплее. После установки необходимой температуры оператор нажимает одну из трех кнопок, соответствующих периоду работы установки. Процесс воздействия запус-

кается и продолжается в течении выбранного периода времени, В конструкцию системы заложены три кнопки продолжительности работы 60, 30 и 10 минут.

Во время работы система контролирует и корректирует отслеживаемые параметры в зоне расположения объекта исследования. Для регулирования температуры в зоне воздействия система оборудована исполнительными механизмами, а именно нагревательным элементом и вентилятором для охлаждения зоны воздействия.

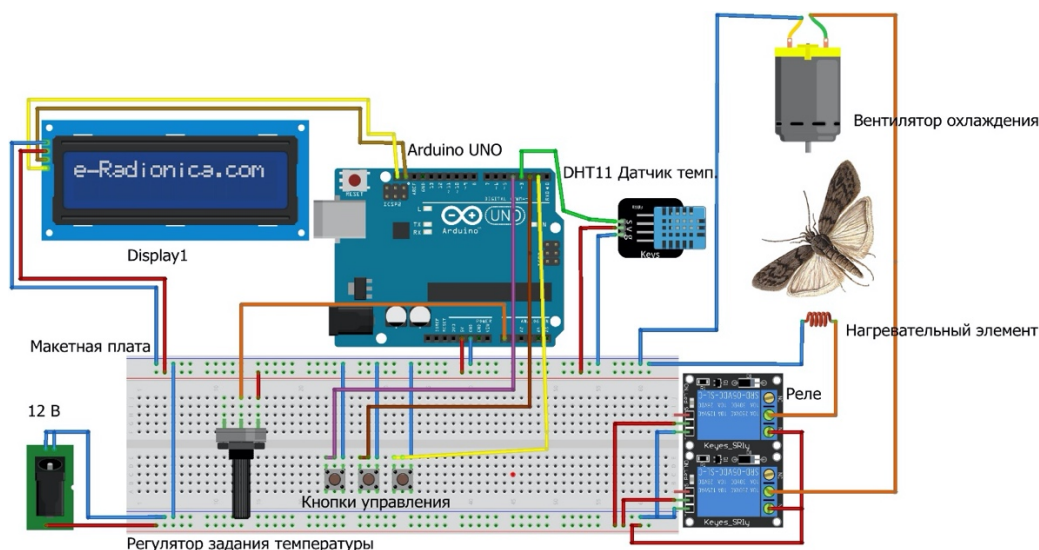


Рис. 3. Схема подключения автоматизированной системы регулирования температуры

Подключение питания осуществляется через разъем, в системе управления присутствует два номинала напряжения: 12 Вольт для работы нагревателя и вентилятора охлаждения и 5 Вольт для работы датчика и системы управления.

При повороте регулятора, на дисплее отображается устанавливаемая величина температуры, так же на экране видно значение фактической температуры в зоне воздействия.

Для начала воздействия на объект необходимо нажать кнопку с требуемым периодом. Система начнет регулирование параметра и при состоянии,

когда фактическое значение будет отличаться от заданного на $\pm 1\%$, начнется отчет проведения периода воздействия на объект. По завершении воздействия на дисплее появится надпись о завершении периода воздействия на объект.

На рисунке 4 показан фрагмент программы, отвечающей за период воздействия на объект.

Программу для микроконтроллера ATmega328, собранного на плате Arduino UNO, мы написали при помощи программы для визуального программирования FLProg версии 5.3.0.

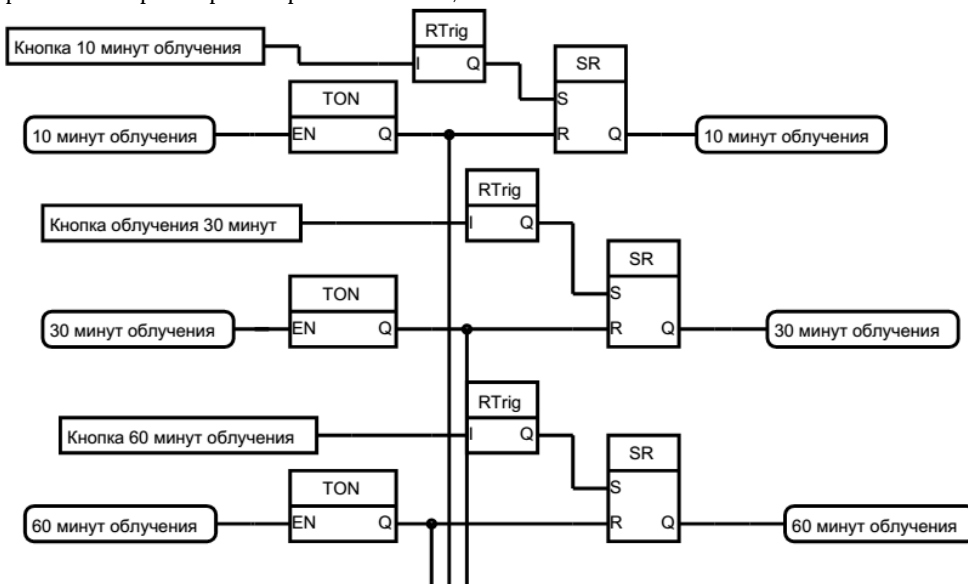


Рис. 4. Фрагмент программы управления освещением

Литература:

1. Кондратьева Н.П., Бузмаков Д.В., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р., Осокина А.С. Результаты опытов по применению световых энергосберегающих электротехнологий для отлова насекомых // Вестник НГИЭИ. 2019. № 12 (103). С. 25-36.
2. Неумывакин И. Ф. Прополис. Мифы и реальность // Москва - Санкт-Петербург. ДИЛЯ. 2005. С. 88
3. Шикова Ю.В., Маннапов А.Г., Зарипов Р.А. Продукты пчеловодства в профилактике сезонных вспышек заболеваемости гриппом и ОРВИ // Пчеловодство. 2020. № 5. С. 50-51.
4. Кондратьева Н.П., Иванов А.Г., Лебедев Л.Я., Шакиров Р.Р., Охотникова И.А., Алатырев С.С. Разработка компактного смесителя для приготовления кормовых биологических добавок // В книге: Перспективы развития аграрных наук. Материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 86-87.

5. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В. Исследование режимов работы системы «Светодиодный источник света с управляемым УУ – симисторный светорегулятор» // Светотехника. 2020. № 2. С. 63-66.
6. Кондратьева Н.П. Система автоматизированного мониторинга инженерных систем на объектах АПК / Кондратьева Н.П., Попугаев А.И. // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы. сборник статей Международной научно-практической конференции. 2020. С. 22-27.
7. Стерхова Т.Н., Кондратьева Н.П., Зайцев П.В. Изучение диэлектрических свойств отдельных частиц // В книге: Перспективы развития аграрных наук. Материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 107-108.
8. Кондратьева Н.П. Применение цифровых технологий для автоматизации процесса облучения / Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. // Scitechnology. 2020. № 22. С. 12-15.
9. Kondrateva N.P., Filatov D.A., Terentiev P.V. Dependence of current harmonics of greenhouse irradiators on supply voltage // Light & Engineering. 2020. T. 28. № 2. С. 85-88.
10. Курылева А.Г., Кондратьева Н.П. Эффективность ультрафиолетового облучения семян зерновых культур // Пермский аграрный вестник. 2019. № 4 (28). С. 47-52.
11. Kondrateva N.P., Krasnolutskaia M.G., Dukhtanova N.V., Obolensky N.V. Effect of ultraviolet radiation the germination rate of tree seeds // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". 2019. С. 012049.
12. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В., Зиганшин Б.Г. Экспериментальные исследования температуры нагрева тепличных облучательных установок // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 76-80.
13. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В., Аль-Хелю А.С. Сравнительная оценка основных характеристик натриевых и светодиодных тепличных облучателей // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 1. С. 50-54.

Производство рабочей одежды с учетом гидрофобных свойств текстильных материалов

Махоткина Лилия Юрьевна, Халилова Алина Адиковна
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань

Аннотация. В последние годы особое внимание уделяется изучению свойств гидрофобных поверхностей текстильных материалов. Авторами представлен обзор применяемых текстильно-вспомогательных веществ и способы придания текстильным материалам гидрофобных свойств. Целью научного исследования является разработка текстильных материалов с гидрофобными характеристиками с сохранением эксплуатационных и гигиенических характеристик. В статье представлены результаты проведенных исследований влияния водных растворов на основе силанов марок А-1100 и А-187 на гидрофобные характеристики текстильных материалов.

Ключевые слова: рабочая одежда; водный раствор на основе силан марок А-1100 и А-187; гидрофобизация; краевой угол смачивания; текстильные материалы.

Введение

Одним из важных факторов при проектировании качественной рабочей одежды является правильный подбор пакета материалов, защищающий от воздействия различных вредных веществ и влаги. В последние годы особое внимание уделяется изучению гидрофобизации поверхностей текстильных материалов.

На сегодняшний день традиционные методы заключительной отделки текстильных материалов не позволяют добиться получения гидрофобной поверхности материала с требуемыми гигиеническими и эксплуатационными свойствами. Так, при повышении гигиенических показателей, как правило, снижаются эксплуатационные свойства материала. Таким образом, целью научного исследования является разработка текстильных материалов с гидрофобными характеристиками за счет применения водного

раствора на основе кремнийорганических соединений для производства рабочей одежды с сохранением эксплуатационных и гигиенических характеристик.

Материалы и методы

Для проведения исследований влияния кремнийорганических соединений выбран текстильный материал, представленный в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика текстильных материалов

Материал	ГОСТ	Артикул	Состав
Бязь суровая	29298-2005	262	хлопок 100 %
Брезент суровый	15530 93	11135 Д	60% лен, 40% хлопок

На начальном этапе исследований проведен подбор параметров, влияющих на процесс гидрофобизации. Основными параметрами при обработке текстильных материалов водным раствором на основе кремнийорганических соединений являются:

- 1) Концентрация силана в растворе;
- 2) Температура сушки обработанных образцов;
- 3) Время замачивания образцов в пропитке;
- 4) Температура раствора пропитки.

С помощью пакета программ Statistica 6.0 проведен расчет оптимальных параметров гидрофобной отделки образцов.

Литературный обзор

Для разработки рабочей одежды применяется материал верха с различными специфическими защитными свойствами. В зависимости от конкретных требований, материалы должны быть устойчивы к действию кислот, щелочей, масел, жиров, органических растворителей, нефти и нефтепродуктов, быть водупорными или водонепроницаемыми, обладать устойчивостью к действию высоких и низких температур, сохранять первоначальные свойства при воздействии стирающих усилий пыли. [1]

Все материалы для деталей верха одежды можно разделить на две большие группы: натуральные материалы и искусственные материалы. Широкий ассортимент применяемых материалов обусловлен большим разнообразием деталей верха одежды, в зависимости от их назначения и расположения, а также от вида и назначения изготавливаемого одежного товара, метода соединения, и многих других факторов. [2]

В настоящее время для изготовления рабочей одежды применяют различные материалы. Для верха изделий применяют материалы такие, как хлопчатобумажные, льняные, шерстяные, нетканые и пленочные материалы, натуральную и искусственную кожу, натуральный и искусственный мех; подкладочные материалы из хлопчатобумажных тканей; для утепляющих материалов: вату, ватин, шерсть, искусственный мех.

В последние годы в качестве материала верха для проектирования рабочей одежды применяют синтетические ткани. [3] Эти материалы разрабатывают из волокон, полученных путем химических реакций из нефтепродуктов, целлюлозы, природного газа и т.д. Несмотря на разнообразие таких тканей, все они обладают схожими достоинствами: мало весят, легко отстирываются, быстро сохнут и долго сохраняют первоначальные свойства и внешний вид. Основным недостатком синтетических материалов является неспособность материалов к процессам воздухообмена между телом человека и окружающей средой. Также немаловажным недостатком является большое скапливание статического электричества. Следовательно, для проектирования качественной рабочей одежды для различных климатических зон следует использовать натуральные материалы. Однако рабочая одежда, изготовленная из хлопчатобумажных материалов верха не устойчива к влаге. Таким образом, встает вопрос о разработке технологии гидрофобизации для натуральных текстильных материалов.

Гидрофобные материалы обладают особенными многофункциональными качествами: водоотталкивающими свойствами, стойкостью к загрязнению, стойкостью к кислотам и щелочам [4].

Водоотталкивающее свойство материала зависит от значения поверхностной энергии и фактуры материала. Следовательно, для получения положительного результата следует применять покрытия с более низкой энергией [5].

К наиболее известным текстильно-вспомогательным веществам, придающим водоотталкивающие свойства материалам, относят следующие:

1. Соединения, образующие эмульсии (эфир, сорбит, производные оксикарбоновых кислот, оксипропилированные жирные кислоты, азотсодержащие соединения, производные алкилимидазолина. Гидрофобную поверхность первой группы получают методом замачивания, после чего на поверхности волокна образовывается полимолекулярный слой, повышающий гидрофобные показатели вследствие получения высокой адгезии к волокну;

2. Соединения различной химической природы (металлокомплексные соединения, соединения солей алюминия с парафином или воском, соединения солей циркония с воском, комбинация хрома и жирных кислот, перфторированные соединения хрома и жирных кислот, жирные кислоты, поликарбоновые кислоты. эфиры фосфорной кислоты, производные алкиладипиновой кислоты, силиконаты, полиалкилгидросилоксаны, олидиметилсилоксаны, полидиметилсилоксановые каучуки, фторкарбоновые смолы [6].

Силазаны – органосиланы, которые содержат аминогруппу у атома кремния. Аминогруппы представляют собой продукты взаимодействия алкилхлорсиланов с аммиаком. Такое соединение легко подвергается гидролизу, выделяя при этом газообразный аммиак. Последний оказывает вредное воздействие на текстильные волокна. Полиалкилсилазаны используют в виде разбавленных растворов в органических растворителях. Закрепление раствора на волокне происходит без термообработки [7].

Водорастворимые кремнийорганические гидрофобизаторы – алкилсиликонаты натрия – нашли широкое применение для гидрофобизации различных материалов. В связи с тем, что растворы алкилсиликонатов натрия имеют высокую щелочность, их растворы при использовании часто нейтрализуют. В сочетании с солями комплексообразующих металлов, например, никеля, меди, свинца, циркония и др., алкилсиликонаты натрия применяются для гидрофобизации волокнистых материалов, содержащих гидроксильные и эфирные группы [8].

Для обработки материалов кремнийорганические соединения могут применяться в виде водно-спиртовых и органических растворов или водных эмульсий. Недостаток водно-спиртовых и органических растворителей объясняется сложным производством, наличием вытяжных и рекуперационных систем недостаточной мощности и склонностью растворов к пенообразованию, снижающей производительность оборудования. Высококонцентрированные эмульсии более устойчивы и легко разбавляются до нужной концентрации [9].

Для придания текстильным материалам гидрофобных свойств, в качестве заключительной отделки используется широкий ассортимент текстильно-вспомогательных веществ. В общем виде придание гидрофобных свойств текстильным материалам предполагает уменьшение их поверхностной энергии [10]. Эффективность различных препаратов, используемых в настоящее время для этой цели, можно расположить в ряд по мере увеличения их гидрофобизирующей активности: парафины, силаны и силоксаны, фторсодержащие углеводороды. Так, авторами [11] в качестве гидрофобизации кожевенных полуфабрикатов предлагаются кремнийорганические растворы марок А-1100 и А-187. Однако в настоящее

время в текстильной промышленности данные растворы не нашли свое применение.

Результаты

Поиск оптимальных параметров для обработки текстильных материалов с гидрофобными характеристиками проводился путем планирования эксперимента по следующим параметрам: концентрация силана в растворе (K_r), температура раствора пропитки (T_r), время замачивания (T_z), температура сушки (T_s). Определяющим параметром выбран показатель времени впитывания капли (T_{vk}). С помощью пакета программ Statistica 6.0 проведен расчет оптимальных параметров гидрофобной отделки образцов бязи и брезента.

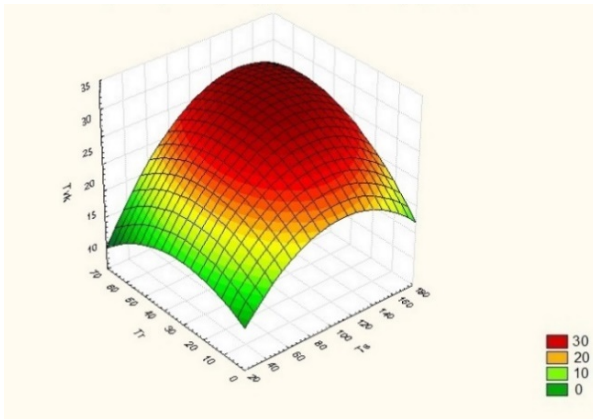


Рис. 1. Оптимизация параметров гидрофобной отделки текстильных материалов в водном растворе на основе силана при времени замачивания образцов в растворе 10 мин, температуре сушки образцов 160 °С. Функция отклика – время впитывания капли воды на поверхности обработанных образцов. Переменные: концентрация силана в растворе, температура раствора пропитки

Используя оптимизированные параметры режимов обработки текстильных материалов, представленные на рисунках 1,2, проведено исследование краевого угла смачивания обработанных образцов

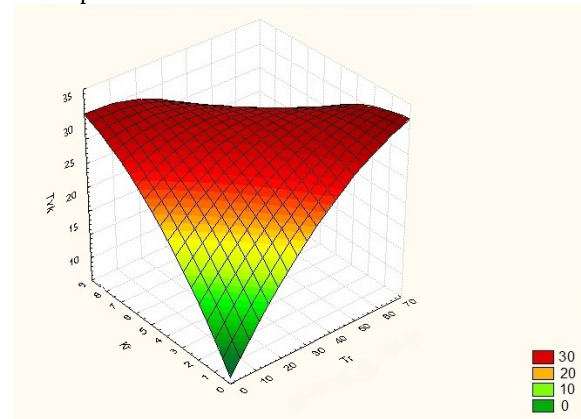


Рис. 2. Оптимизация параметров гидрофобной отделки текстильных материалов в водном растворе на основе силана при концентрации 5 г/дм³, времени замачивания образцов в пропитке 10 мин.

Функция отклика – время впитывания капли воды на поверхности обработанных образцов. Переменные: температура сушки образцов, температура раствора пропитки

для подтверждения гидрофобности текстильных материалов.

На рисунке 3 представлена диаграмма краевого угла смачивания обработанных образцов силаном марок А-1100 и А-187 (бязи и брезента) и контрольных.

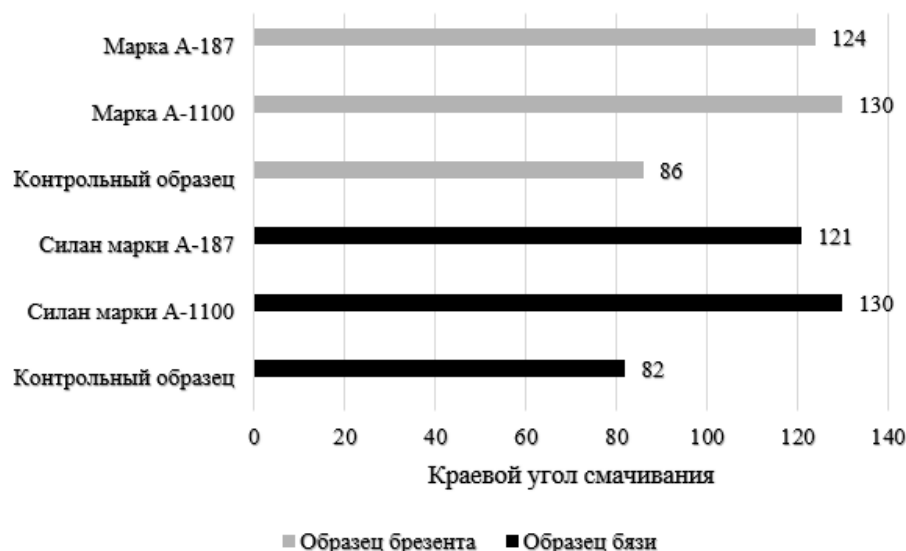


Рис. 3. Значения краевого угла смачивания бязи и брезента при концентрации раствора силана 5 г/дм³, температуре раствора пропитки 40 °С, 10 мин времени замачивания образцов в пропитке и температуре сушки 160 °С

Измеренные величины краевого угла смачивания поверхности бязи и брезента растворами исследуемых марок силанов подтверждают результаты проведенной ранее оптимизации составов по времени впитывания капли воды. Так, гидрофобность текстильных материалов повышается с увеличением краевого угла смачивания. Например, значение краевого угла смачивания поверхностей бязи и брезента растворами силана А-1100 повышается до 130° , в то время как обработка силаном марки А-187 способствует повышению измеряемого показателя до 124° для брезента, 121° – бязи.

Таким образом, силан марки А-1100 повышает гидрофобность материалов (или краевой угол смачивания) по сравнению с силаном А-187 на 4,6%. Контрольный образец отличается в сторону увеличения краевого угла смачивания относительно образцов материалов, обработанных растворами силана А-1100.

Заключение

Таким образом, представленный литературный обзор применяемых текстильно-вспомогательных

веществ и способы придания текстильным материалам гидрофобных свойств показал, что применение силан марок А-1100 и А-187 в текстильной промышленности не использовались, однако нашли свое применение в кожевенной промышленности. Следует отметить, что по проведенному анализу применения текстильно-вспомогательных веществ в текстильной промышленности, водо- и грязеотталкивающая пропитка материалов занимает важное место в процессах отделки текстильных материалов, способствуя изменению их характеристик. Представленные результаты влияния водных растворов на основе силанов марок А-1100 и А-187 свидетельствуют о получении гидрофобной поверхности на таких материалах как бязь и брезент. Таким образом, экспериментально доказано о целесообразности применения водного раствора на основе силана марки А-1100 в текстильной промышленности на хлопчатобумажных материалах в целях получения гидрофобной поверхности.

Литература:

1. Копачевская Н.В. Разработка технологии нетканых термоскрепленных полотен с повышенными физико-механическими свойствами: дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Копачевская – Москва, 2016. – 199 с
2. Лутфуллина Г.Г., Махоткина Л.Ю., Халилова А.А. Гидрофобизирующие эмульсии в текстильной и легкой промышленности // Костюмология, 2019 №1, <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
3. Махоткина Л. Ю., Лутфуллина Г.Г., Халилова А. А. Влияние обработки поверхности текстильного материала раствором на основе кремнийорганического соединения на прочностные характеристики материала // Молодежь и наука: шаг к успеху сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. – М. : Наука; Курск, 2019. – С.281-284
4. Сиразиева Л.Ф., Степин С.Н., Махоткина Л.Ю. Диспергирующие добавки для водно-дисперсионных материалов: обзор литературы / Л.Ф. Сиразиева, С.Н.Степин, Л.Ю.Махоткина // Лакокрасочные материалы и их применение. 2004. № 10. с. 25-28.
5. Махоткина Л.Ю. Регулирование формовочной способности комплексных материалов обувной промышленности с применением неравновесной низкотемпературной плазмы: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Л.Ю.Махоткина - Казань, 2006
6. Effect of alkali and silane surface treatments on regenerated cellulose fibre type (Lyocell) intended for composites / Ramamoorthy, Sunil Kumar; Skrifvars, Mikael; Rissanen Marja // CELLULOSE - Том: 22. Выпуск: 1 Стр.: 637-654
7. Махоткина Л.Ю., Леонова Е.В., Макаров А.В., Марьина А.Н. Исследование свойств инновационных материалов для проектирования теплозащитной одежды /Л.Ю.Махоткина, Е.В.Леонова, А.В. Макаров, А.Н.Марьина //Вестник технологического университета. 2017. т.20. № 4. с.66-68.
8. Махоткина Л.Ю., Жуковская Т.В., Хузина Л.М. К вопросу о проектировании изделий легкой промышленности из нетрадиционных натуральных полимерных материалов/Махоткина Л.Ю., Жуковская Т.В., Хузина Л.М. // Вестник казанского технологического университета. 2012. т.15. № 16. с. 97-98.
9. Gogoi, R (Gogoi, Runumi). Surface Modification of Jute Fabric by Treating with Silane Coupling Agent for Reducing Its Moisture Regain Characteristics / Gogoi, R (Gogoi, Runumi), Tyagi, AK (Tyagi, Ajay Kumar) // JOURNAL OF NATURAL FIBERS
10. Abidi, Nouredine. Functionalization of cotton fabric with vinyltrimethoxysilane / Abidi, Nouredine; Hequet, Eric; Tarimala, Sowmitri // Textile research journal - Том:77 Выпуск: 9 Стр.: 668-674
11. Абдуллин И.Ш., Абуталипова Л.Н., Махоткина Л.Ю. СПОСОБ ОТДЕЛКИ КОЖ И.Ш Абдуллин., Л.Н.Абуталипова, Л.Ю Махоткина. Патент на изобретение RU 2127763 C1, 20.03.1999. Заявка № 97120335/12 от 08.12.1997.

Архитектура когнитивной многоагентной системы управления сложным техническим объектом

Непряев Александр Александрович, главный специалист
НИИ "Центрпрограммсистем", (г. Тверь)

Аннотация. В статье описывается архитектура когнитивной многоагентной организационно-технической системы управления сложным техническим объектом. Показано взаимодействие агентов, их иерархия и структура, с точки зрения когнитивного подхода. Представлена структура интеллектуального агента на основе принципа целенаправленного поведения.

Ключевые слова: система управления, когнитивный, многоагентный подход.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется созданию организационно-технических систем управления, обладающих когнитивными свойствами [1]. Характерной особенностью таких систем является возможность получать знания об окружающей среде, установленных алгоритмах распределения ресурсов, внутреннем состоянии, динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы в соответствии с полученными

знаниями для достижения заранее определенных целей и учиться на полученных результатах. Эффективность этих систем в значительной степени определяется качеством управления, распределением ограниченных ресурсов между выполняемыми задачами, важнейшим критерием которого является способность выполнять функции в жестких временных ограничениях при условии динамически изменяющейся внешней среды.

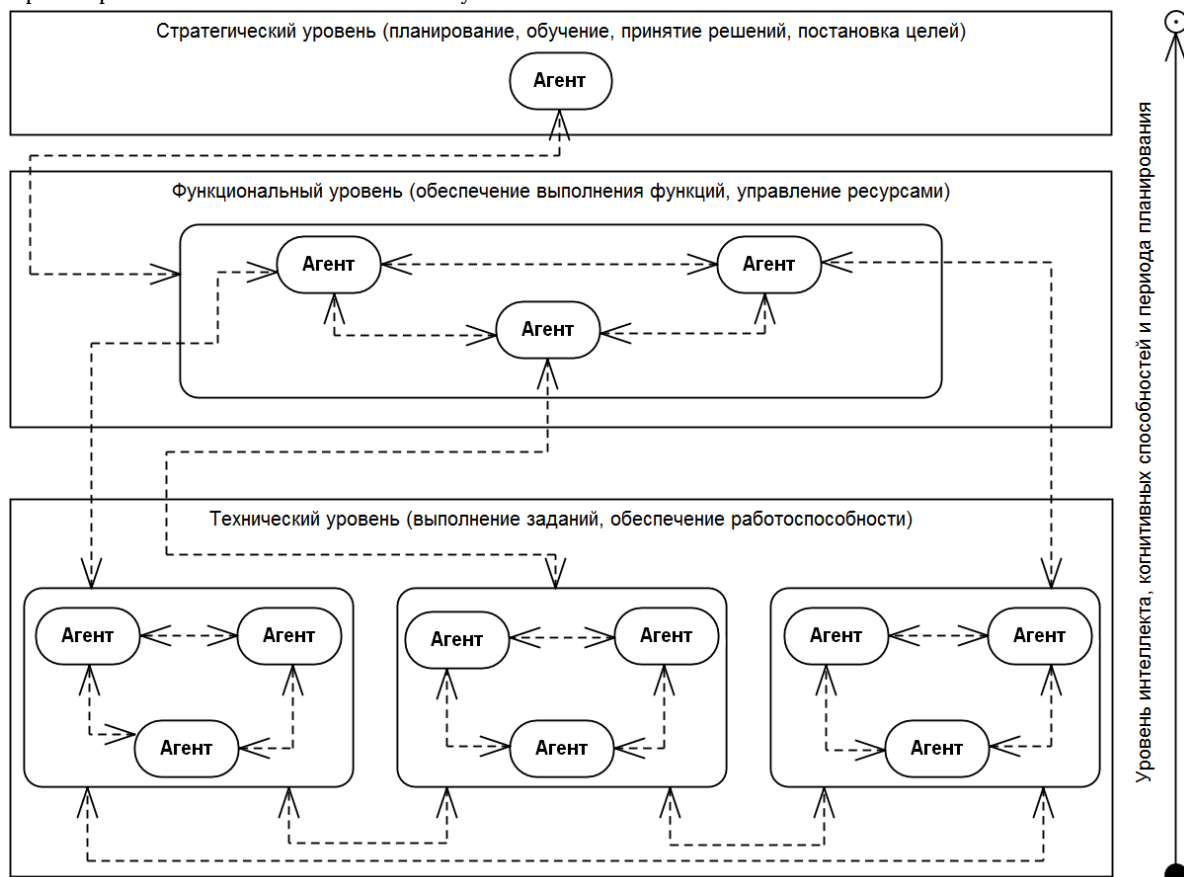


Рис. 1. Архитектура когнитивной многоагентной системы управления

Архитектура многоагентной системы

На (рис.1) изображена схема когнитивной многоагентной организационно-технической системы управления сложным техническим объектом. За основу взята многоуровневая архитектура с функциональной декомпозицией, представленная в [2], с учетом организационной модели [3]. Система имеет иерархию и состоит из трех уровней:

- стратегический – отвечает за реализацию когнитивных функций, таких как: долгосрочное планирование, постановка целей, память, обучение (формирование базы знаний), осуществление целенаправленного поведения;
- тактический – обеспечивает функционал системы, постановку заданий и управление ресурсами;
- технический – осуществляет выполнение заданий и обеспечивает работоспособность.

От нижнего уровня к верхнему увеличивается степень выраженности когнитивных способностей (интеллекта) и периода планирования.

Так на техническом уровне: нет необходимости в планировании – все планирование извне; нет обучения; принятие решений не требуется; нет необходимости в задании цели. На тактическом: нет планирования, знания и правила поведения обновляется внешним обучающим агентом; цель задана сразу, извне. На стратегическом: период планирования на время выполнения нескольких задач; использование предыдущего опыта для обучения; принятие решений основано на обучении; цель формируется самостоятельно на уровне нескольких задач.

Роевое взаимодействие

На каждом уровне располагаются интеллектуальные агенты, пунктирными стрелками показан принцип их кооперации на основе иерархического роевого взаимодействия. Роевое взаимодействие [4] это коллективное взаимодействие децентрализованной самоорганизующейся системы. Система состоит из множества исполнителей – программных объектов (агентов), которые могут анализировать текущую ситуацию, выполнять определённые действия, взаимодействовать между собой и с окружающей средой. Взаимодействие между агентами осуществляется за счет трехранговой иерархической структуры, определяющей порядок передачи данных и команд. В иерархической системе рой агентов более низкого уровня может быть инфраструктурой одного агента

на более высоком уровне [5]. Здесь термин «рой» используется в общем смысле для обозначения любой совокупности взаимодействующих агентов.

Основные особенности агентов роевого взаимодействия: целенаправленность для решения определенной задачи; самостоятельное решение поставленной задачи; достижение конкретных целей за счет применения активных действий; активный и целенаправленный поиск информации и действий необходимых для выполнения задачи; автоматическое приспособление к изменениям внешних факторов.

Когнитивный агент

Для полного ситуативного анализа всех активностей агента в [6] предлагается использовать гибридную архитектуру, см. (рис. 2). Составными частями такой архитектуры являются:

- сенсорный компонент – преобразует полученные данные в информацию, обеспечивает интерфейс в между внешней средой и реактивным компонентом;
- исполнительный компонент – преобразует команды реактивного компонента в воздействия на окружающую среду;
- реактивный компонент – выполняет производственные правила, имеющие форму: если «условие» то «действие»;
- интеллектуальный компонент – выполняет когнитивные функции: планирование, обучение, память, принятие решений и постановку целей.



Рис. 2. Структура когнитивного агента

Интеллектуальный компонент содержит базу знаний (БЗ), изначально заполненную человеком-экспертом и содержащую элементарную модель мира (ЭММ) [7], в её основу заложены базовые понятия

концепты и паттерны поведения. Если для построения ЭММ, принять гипотезу «...о направленности любых рефлексов на минимизацию раздражений и затрат времени (энергии) для ответа на них и на

«борьбу» с последствиями от них...» [8], то можно вывести критерий выживаемости, уравнивающий краткосрочные выгоды с долгосрочными выгодами от, казалось бы, неоптимального краткосрочного действия. Агент функционирует в цикле «восприятие – действие», сравнивая текущие внутреннее и внешнее состояние с целевым, записывая в БЗ наиболее «полезные» действия, выполнение которых приближает его к цели. База данных представляет собой оперативную память, где хранится информация необходимая для обеспечения функционала.

Важно отметить, что способность, как можно большего числа компонентов системы управления, работать в жестком реальном времени, может определять степень выраженности его когнитивных способностей. Т.к. это позволяет в реальном масштабе

времени реагировать на изменение окружающей среды и внутреннего состояния, путем распределения ресурсов системы и действия системы.

Выводы

Усовершенствование интеллектуальных организационно-технической систем управления сложными техническими объектами, путем применения когнитивного подхода, позволяет снизить долю неопределенности при принятии решений в ситуациях быстро меняющейся окружающей среды. Дальнейшая работа будет связана с выбором конкретных методов искусственного интеллекта, наиболее полно реализующих описанные в данной работе, когнитивные функции системы.

Литература:

1. C. Horne, M. Ritchie, and H. Griffiths, "Proposed ontology for cognitive radar systems". IET Radar, Sonar/Navigat, Dec. 2018.vol. 12, no. 12, pp. 1363–1370.
2. Макаров Д. А., Панов А.И., Яковлев К. С. Архитектура многоуровневой интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами // Искусственный интеллект и принятие решений. 2015. № 3. С. 20–22.
3. Alomari, Ahmad & April, Alain & Monsalve, Carlos & Gawanmeh, A.. (2018). Integrating a decision tree perspective at the operational level of BPM+. Computer Systems Science and Engineering. 33. 219–220.
4. Беспальчук. Д.Ю., Шахов П.А. БПЛА военно-медицинского назначения с применением роевого взаимодействия // Электронный периодический рецензируемый научный журнал "SCI-ARTICLE.RU". – 2016. – № 35 (июль). – С. 154–155.
5. H. Chen, Y. Zhu, K. Hu, and X. He, "Hierarchical swarm model: A new approach to optimization," Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2010, 2010.
6. Швецов А.Н. Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям // Всерос. конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы»: сб. ст. М.: Изд-во ГНИИ ИТТ «Информатика», 2008. С. 42–46.
7. Трембач В.М. Когнитивный подход к созданию интеллектуальных модулей организационно-технических систем. Открытое образование. 2017;(2):78–87.
8. Лапаева Л.Г., Быченков О.А., Рогаткин Д.А. Нейробиология, понятийные категории языка и элементарная модель мира робота // В кн. Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ 2016 (3–7 октября 2016г., г. Смоленск, Россия): Труды конференции. Т.2. – Смоленск: Универсум, 2016. – с. 292–300.

УДК 626.823.2 (045/046)

Способ определения величины коэффициента шероховатости параболических лотковых каналов

Сатаркулов Сабатбек, к.т.н., профессор;
Мамбетов Эрик Мунайтбасович, к.т.н., доцент кафедры “Водоснабжение, водоотведение и гидротехническое строительство”;
Садыбакова Дилара Канатбековна, преподаватель кафедры “Водоснабжение, водоотведение и гидротехническое строительство”
КГУСТА им. Н. Исанова, Кыргызская Республика, Бишкек

Аннотация. В статье описывается способ, применяя который можно определить величину коэффициента шероховатости параболического лоткового канала на том его участке, на котором проверяется пропускная способность водотока. В предложенном способе коэффициент шероховатости связан с гидравлическими параметрами водного потока и, в частности, с его скоростью, что позволит определить величину коэффициента шероховатости лотковых каналов как при гладкой, так и при шероховатой их поверхности. Приводится конкретный пример по практическому применению предложенного способа по определению коэффициента шероховатости параболического лоткового канала.

Ключевые слова: способ, параболический лотковый канал, коэффициент шероховатости, гладкая и шероховатая поверхности, пропускная способность водотока.

Method for determining the value of coefficient of roughness of parabolic tray channels

Satarkulov Sabatbek, Ph.D., professor;

Mambetov Erik Munaitbasovich, Ph.D., Associate Professor of the Department "Water supply, sewerage and hydraulic engineering";

Sadybakova Dilara Kanatbekovna, Lecturer of the Department "Water supply, water disposal and hydraulic engineering"

KSUTA them. N. Isanova

Annotation: The article describes a method by applying which you can determine the roughness coefficient of a parabolic flume in the section where the waterway capacity is checked. In the proposed method, the roughness coefficient is associated with hydraulic parameters of water flow and, in particular, with its speed, which will help to determine the roughness coefficient of the flumes, both with true plane and rough surfaces. A specific example is given below for use in practice of the proposed method for determination of roughness coefficient for parabolic flumes.

Keywords: method, parabolic flume, roughness coefficient, true plane and rough surfaces, waterway capacity.

В бытность социалистического строя лотковые каналы параболического сечения широко строились в Узбекистане, Казахстане и Грузии. Они строились и в Киргизии, где для доставки оросительной воды без путевых потерь продолжают строить и сейчас. Если ранее параболические лотковые каналы использовались только для транспортировки оросительной воды, то в настоящее время, в связи с введением платного водопользования, на них начали вести и учет воды, чему способствует их призматическое русло.

Для учета воды выбираются прямолинейные участки лотковых каналов и при замеренных их уклонах определяется пропускная способность водотоков по формуле:

$$Q = wC\sqrt{Ri}, \quad (1)$$

где Q – расход воды; $R = \frac{w}{\chi}$ – гидравлический радиус; w – площадь живого сечения потока; χ – смоченный периметр; C – коэффициент Шези, определяемый по формуле:

$$C = \frac{1}{n} R^{0.2} \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости, отражающий состояние (шероховатости) внутренней поверхности параболических лотковых каналов.

Здесь, при учете воды, возникают трудности, связанные с определением величины коэффициента шероховатости лотковых каналов на выбранных их участках. Следует отметить, что изучению коэффициента шероховатости параболических лотковых каналов уделялось мало внимания, а те рекомендации, которые имеются в научных изданиях, не дают приемлемых результатов.

Так, например:

- институтом «Средазгипроводхлопок» в 1967 году разработаны номограммы для гидравлического расчета пропускной способности лотковых каналов при $n=0,011$; $0,013$ и $0,015$ [1];

- в работе [2] даются результаты исследований коэффициента шероховатости лотковых каналов «на Телетской и других оросительных системах Грузии», где его величина изменялась в пределах от $0,010$ до $0,015$. Однако, при гидравлических расчетах рекомендуется принимать $n=0,013$; $0,014$;

- в работе [3] приводятся коэффициенты шероховатости лотковых каналов в Голодной степи порядка от $0,012$ до $0,018$.

Во всех этих приведенных примерах не приводятся состояния внутренней поверхности лотковых каналов, чем осложняется использование выданных в этих изданиях рекомендаций в практических работах. Имеется нормативный документ [3], в котором приводится следующее положение – «Рекомендуемая величина коэффициента шероховатости стенок параболического лотка $n=0,016$ » (здесь также не указывается состояние внутренней поверхности лотков).

При рассмотрении коэффициента шероховатости лотковых каналов, с нашей точки зрения, следует исходить из следующих двух положений:

- когда внутренняя поверхность лотковых каналов чистая и ее состояние соответствует приданной при изготовлении в заводских условиях шероховатости;

- когда на внутренней поверхности лотковых каналов имеются дефекты (трещины, нарушение стыков между секциями лотков и др.) или появляются моховые, наносные и другие покрытия.

В приведенных положениях – в первом случае внутренняя поверхность лотковых каналов – весьма гладкая и коэффициент шероховатости будет иметь малое значение, а во втором – наоборот, поверхность водотоков – шероховатая и коэффициент n будет иметь повышенное значение. И еще: если в первом случае величина n для всех участков лотков с чистой поверхностью будет одна и та же, то во втором – она изменчива, что должно учитываться при проведении практических работ по определению пропускной способности лотковых каналов.

Как в первом, так и во втором случаях стоит один и тот же вопрос – как определить величину коэффициента шероховатости лотковых каналов? Разработанный для ответа на этот вопрос предлагаемый способ заключается в следующем:

- проводится гидравлический расчет пропускной способности лоткового канала при известных его параметрах и нескольких заданных значениях коэффициента шероховатости;

- строятся графики зависимости скорости потока от наполнения лоткового канала водой при всех заданных значениях шероховатости лотка;

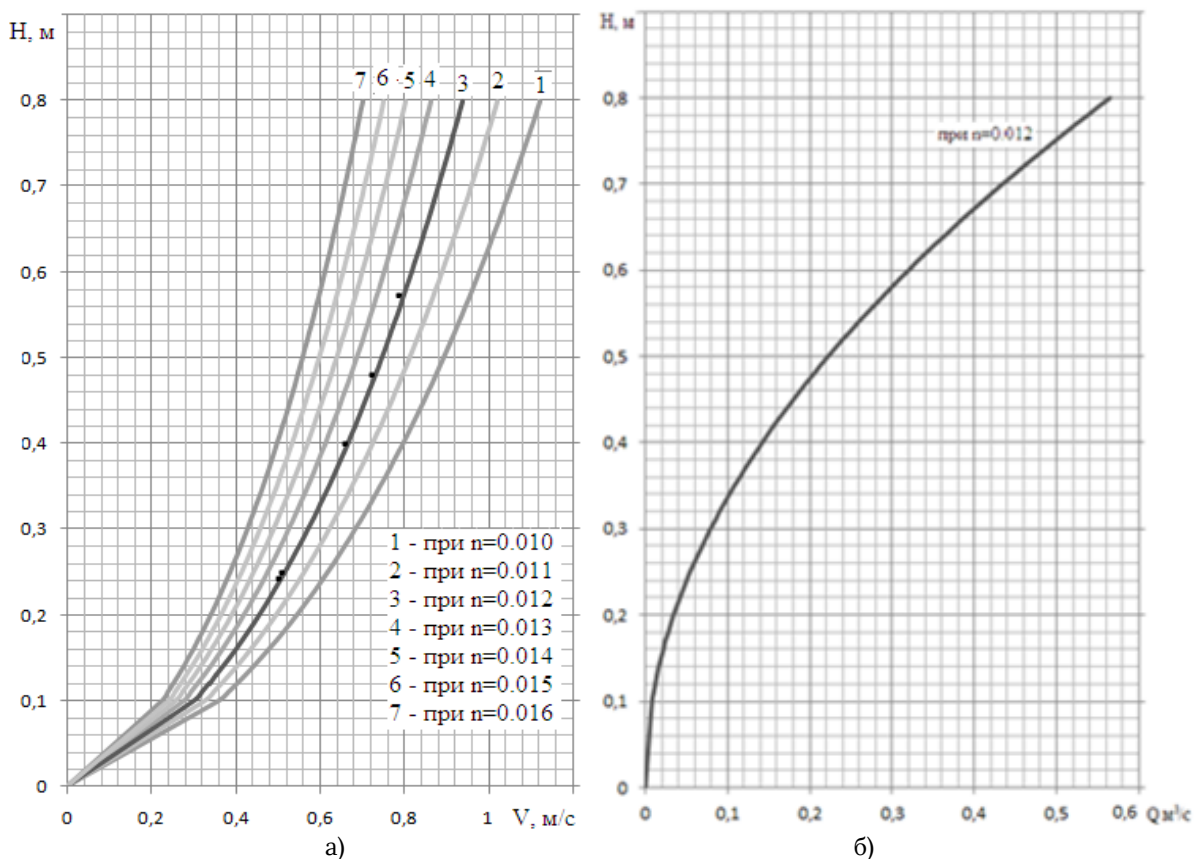


Рис. 1. Графики зависимостей $v = f(H)$ (а) и $Q = f(H)$ (б) распределителя Р-11-1 системы ЗБЧК

- на эти графики наносятся точки измеренных на осевой вертикали скоростей потока и по расположению этих точек на каком-то графике с заданной шероховатостью определяется фактическая величина коэффициента \underline{n} ;

- установленная величина коэффициента \underline{n} будет принята за основу при определении фактической пропускной способности водотока.

Практическое применение предложенного способа показано на данных, приведенных на рис. 1, на котором даны сведения по лотковому каналу распределителя Р-11-1 системы ЗБЧК, имеющему следующие параметры - $L_p=80$ и $i=0,0007$; на поверхности

водотока имеется тонкий слой мха. Пропускная способность этого канала определена по формуле (1) при следующих заданных значениях коэффициента $n=0,010; 0,011; 0,012; 0,013; 0,014; 0,015$ и $0,016$, так как эти цифры фигурируют в выше приведенных литературных источниках. По результатам гидравлического расчета построены графики $v = f(H)$ (рис. 1а) и на них нанесены точки измеренных в лотке скоростей потока. Как это вытекает из рис. 1а, точки измеренных скоростей лежат на графике 2, соответствующего шероховатости $n=0,012$. Приняв данную величину \underline{n} за истинную, по формуле (1) определена фактическая пропускная способность распределителя Р-11-1 системы ЗБЧК, показанная графически на рис. 1б.

Литература:

1. Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К. и др. Водомерные сооружения для каналов и лотков. Бишкек. 2005. С.260.
2. Бобохидзе Ш.С. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах. М. 1973.
3. Алексеев Н.А., Шамрай В.М. Некоторые итоги применения лотков-каналов. Журнал «Гидротехника и мелиорация». 1966. №5.
4. Водочет на открытых системах водопользования. Методика выполнения измерений расхода воды в параболических лотках методом «Уклон-площадь». МВИ 13-10.

Методика моделирования и расчета режимов индукционных нагревателей

Тяпин Алексей Андреевич, аспирант
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
Кинев Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, директор
ООО Тепловые электрические системы, г. Красноярск

В статье рассмотрена последовательность приемов, а также результаты расчета и моделирования установившихся режимов индукционных комплексов для экструзии алюминия. Взамен приближенной оценки электропотребления, предложено математическое моделирование электромагнитного режима индукторов, с применением специализированного программного обеспечения. Оборудование установок индукционного нагрева, представлено параметрическими моделями, позволяющими оценивать динамику электропотребления в технологическом цикле. Предусмотрен учет дрейфа параметров индукторов и регулирование режима компенсации реактивной мощности, что позволяет оценивать несимметрию токов, потребляемых из сети и напряжений. Итоги применения методики машинного моделирования представлены семействами векторных диаграмм, характеристиками коэффициента несимметрии и регулировочными кривыми, пригодными для настройки микроконтроллерной АСУ ТП.

Ключевые слова: Индукционная нагрузка, несимметрия трехфазной сети, коэффициент несимметрии токов, резонанс токов, математическое моделирование, гибридный анализ, векторная диаграмма.

Modeling technique for induction heaters

Tyapin Alexey Andreevich, postgraduate student
Siberian Federal University, Krasnoyarsk
Kinev Evgeniy Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Director
LLC Thermal electrical systems, Krasnoyarsk

Abstract. The article discusses the sequence of actions, as well as the results of calculation and modeling of steady-state modes of induction complexes for aluminum extrusion. Instead of an approximate estimate of power consumption, mathematical modeling of the electromagnetic mode of inductors is proposed, using specialized software. The equipment of induction heating devices is represented by parametric models that allow evaluating the dynamics of power consumption in the technological cycle. The account of the drift of the inductor parameters and the regulation of the reactive power compensation mode are provided, which makes it possible to estimate the asymmetry of the currents consumed from the network and voltages. The results of the application of the machine modeling technique are presented by families of vector diagrams, characteristics of the asymmetry coefficient and adjustment curves suitable for tuning a microcontroller APCS.

Keywords: Induction load, asymmetry of a three-phase network, current asymmetry coefficient, current resonance, mathematical modeling, hybrid analysis, vector diagram.

Индукционные комплексы для нагрева алюминия перед прессованием широко распространены в экструзионном производстве [1]. Конструкции, схемотехника и режимы работы индукторов могут быть весьма разнообразны. Учитывая сложность точного расчета несимметричных режимов установок индукционного нагрева (УИН), состоящих из электромагнитных индукторов (1, 2 или 3 фазы), нелинейных трансформаторных регуляторов напряжения, регулируемых конденсаторных батарей, обеспечивающих локальные резонансы, в работе предложено средство, методика и результаты моделирования индукционного оборудования. Установившиеся режимы УИН обычно рассчитывают в символической области, переходные состояния – во временной, а также применяют моделирование [2, 3]. Исследование установившихся режимов при изменении параметров, а также пусковых режимов индукторов также представляется актуальным [4 – 6]. В использован-

ных программных средствах предусмотрены параметрические модели, позволяющие рассчитывать совокупность установившихся режимов при дрейфе параметров и динамику пуска индуктора в распределительной сети.

Программная среда построена на основе гибридного матричного узлового анализа, программированием топологических и компонентных уравнений для элементной базы двухполюсников и многополюсников теории цепей [7]. Математическое моделирование выполняют в виде многовариантного вычислительного проекта, опираясь на комплекс схемных моделей и библиотек вычислительных методов [8]. Описание задачи генерируют в виде файла в ASCII – коде, по аналогии с некоторыми версиями программной среды Ansys.

Общий вид водоохлаждаемых индукционных нагревателей для экструзии алюминиевых слитков показан на рис. 1. Трехфазные индукторы достаточно длинные по конструкции (рис. 1, а). Их используют

для методического нагрева, а также нагрева алюминиевых столбов при гомогенизации [9]. Промышленные индукторы периодического действия (рис. 1, б, в),

– короче. Их изготавливают в однофазном и двухфазном исполнении. Индукторы для непрерывного нагрева ферромагнитных материалов могут быть разной длины [10].

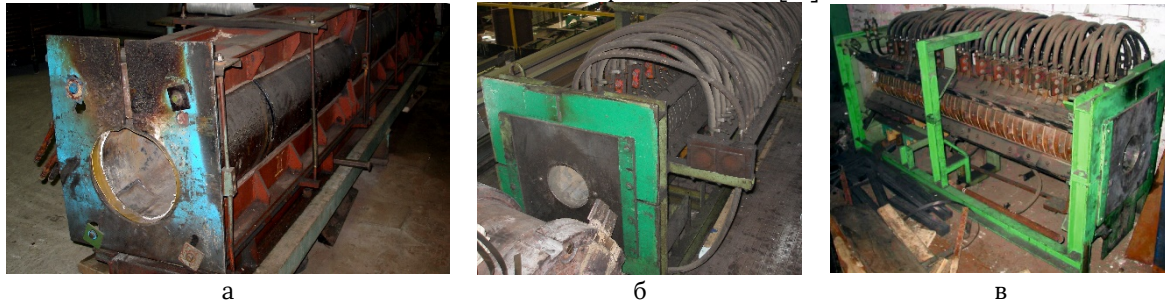


Рис. 1. Общий вид индукционных нагревателей

В схеме включения индукторов, как правило, предусмотрены батареи конденсаторов (БК), обеспечивающие режим резонанса токов и значительный реактивный ток индуктора [11]. При изменении параметров загруженного индуктора в ходе нагрева слитка от 20 до 530 °С, резонансный режим поддерживают переключением БК. В простейшем случае управление релейное, а при значимом бюджете про-

екта регулирование режима индукционного нагревателя выполняет микропроцессор промышленного контроллера [12].

Схема трехсекционного трехфазного индуктора методического действия с учетом магнитных связей показана на рис. 2. В типовом включении для повышения напряжения отдельных секций использованы вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) $T_1 - T_3$.

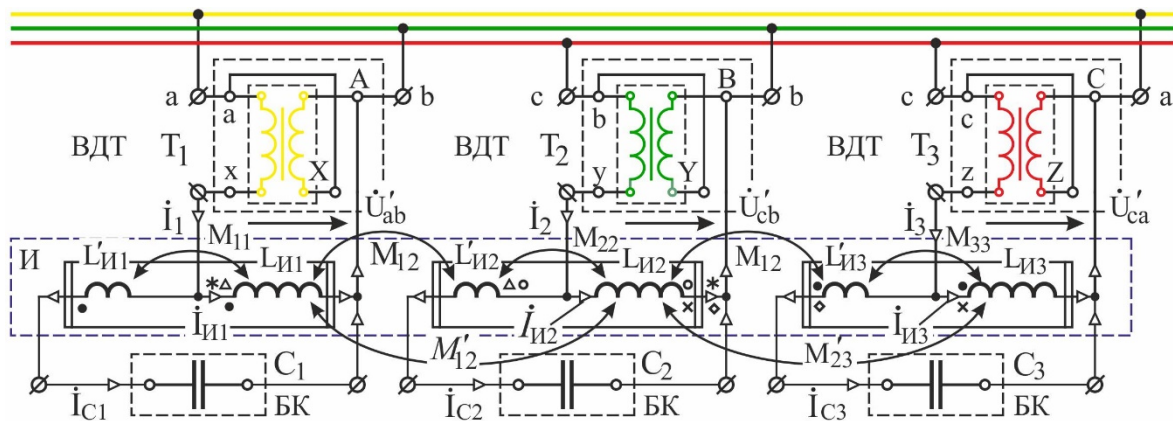


Рис. 2. Упрощенная схема включения трехфазной УИН

Наибольшую актуальность имеют магнитные связи соседних катушек, а для крайних секций связи чаще всего не учитывают. В выходной секции устанавливают повышенное до 0,55 кВ напряжение, меняя степень регулирования ВДТ, переключая коэффициент трансформации, при изменении параметров индуктора [4, 12]. Поэтому режим индукционного комплекса становится несимметричным, при значениях коэффициента несимметрии токов до 25 %. Однофазное и двухфазное включение индукторов периодического действия, характеризуется еще большими величинами коэффициента k_i . Математическое моделирование позволяет выполнить многовариантное исследование при разной степени компенсации реактивной мощности и для различных величин подводимой мощности к каждой секции [13, 14].

Методика моделирования построена на основе базовых средств описания схемотехники УИН в программной среде и алгоритмов их взаимодействия. При анализе схемы включения всех компонентов индукционного комплекса применяют методические приемы замены всех компонентов эквивалентными моделями. Таким образом, получают глобальное описание схемной модели. Структура схемной мо-

дели для исследования режимов трехфазного индукционного нагревателя показан на рис. 3. В схеме реализованы многополюсные модели конденсаторных батарей, индуктора и макромодели ВДТ (Model). Для контроля токов и напряжений использованы управляемые источники напряжения ИНУН, управляемые напряжением (EU), обеспечивающий прямой доступ к численным массивам результатов моделирования. Схемные модели однофазных, двухфазных и трехфазных индукторов типовые. Их генерируют из встроенных библиотечных компонент.

Результаты моделирования получают в табличной форме и отражают в виде векторных диаграмм токов и напряжений индукционной системы [15, 16]. Для оценки дрейфа параметров индукторов при нагреве в макромоделях использованы параметрические элементы, реализованные на основе ключей, управляемых напряжением (током). Результаты моделирования несимметричных режимов электропотребления оценивают с применением модуля анализа компонент симметричных составляющих. В итоге получают численные данные для построения характеристик изменения коэффициента несимметрии токов в ходе нагрева для заданных границ дрейфа параметров.

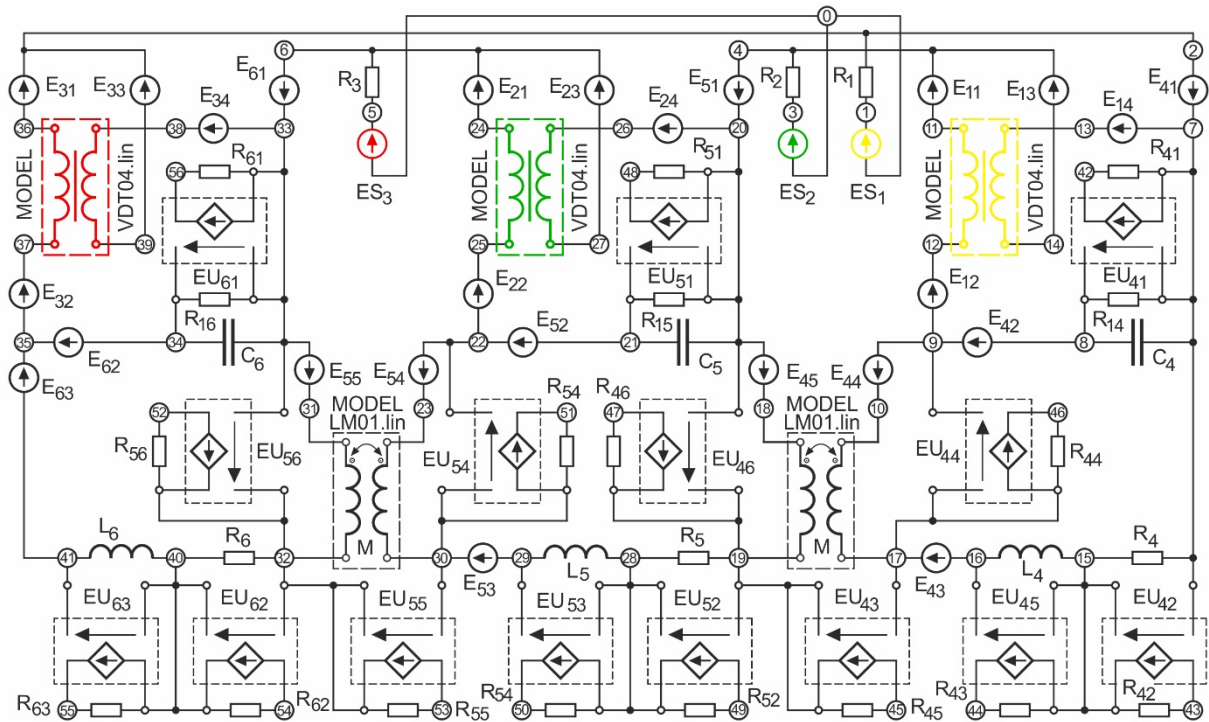


Рис. 3. Структура упрощенной схемной модели УИН

Численные массивы результатов расчета обрабатываются табличными процессорами и экспортируются в графический интерфейс программной оболочки. При необходимости может быть выполнен анализ динамики индукционной системы, с применением параметрических моделей, синтезированных на базе ключей, управляемых во времени [7, 12]. Наиболее важным этапом моделирования в ходе исследования динамики можно считать преодоление конфликтов

при выборе и согласовании длительности шага интегрирования дискретных моделей реактивных и нелинейных элементов.

Результаты моделирования в символической области установившегося режима трехфазной индукционной системы с резонансными секциями, по модели (рис. 3), представлены в виде векторной диаграммы на рис. 4.

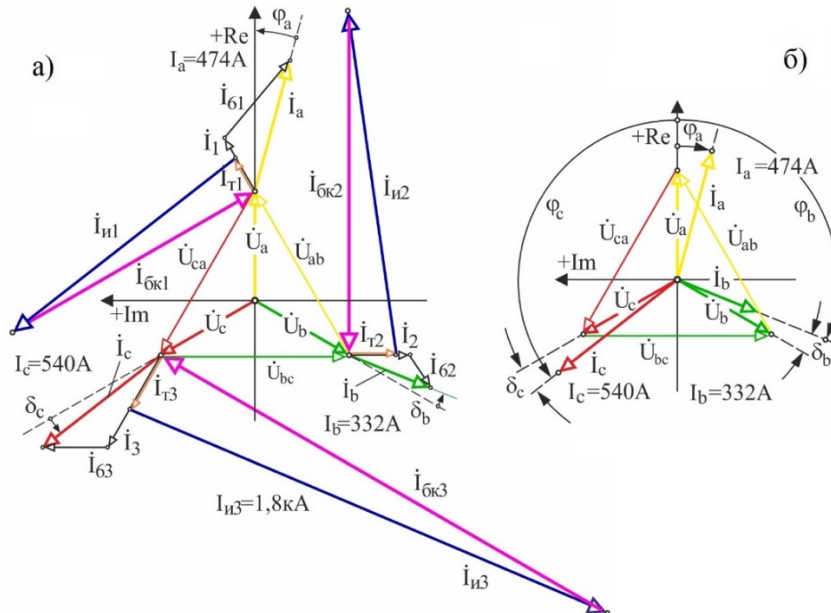


Рис. 4. Результаты моделирования токов УИН

Судя по диаграмме, исследованный режим отражает плановое несимметричное распределение токов I_{i1} , I_{i2} , I_{i3} между секциями. Полученное состояние характерно для методического нагрева алюминиевой загрузки с повышением мощности выходной секции при токе около 1,81 кА. В ходе моделирования приме-

нены специальные схемные решения, оптимизирующие схемотехнику установки индукционного нагрева. Изменение схемы позволяет упростить и удешевить устройство устранением трансформаторов. Однако более существенным следствием является обеспечение симметричного электропотребле-

ния из цеховой сети при токах $I_a = I_b = I_c$, и внутренней электромагнитной несимметрии режима самого индуктора [9, 11].

В системе моделирования предусмотрены возможности исследования переходных режимов УИН с применением дискретных моделей реактивностей и нелинейностей, а также автоматизированного формирования и решения уравнений состояний [5]. Помимо типовых динамических характеристик напряжения и тока можно оценивать поведение мощности и энергии элементов системы во времени. При этом открытый характер ПО, позволяет получать прямой доступ к массивам информации, генерируемым в ходе моделирования.

Современные индукционные комплексы находятся под управлением контроллерных автоматизированных систем управления (АСУ) [17]. Результаты моделирования регулировочных характеристики для настройки АСУ ТП на базе микроконтроллера показаны на рис. 6. Нужно заметить, что для индукторов мощностью до 200 кВт, эквивалентные реактивности, подлежащие компенсации, определяются значениями собственных индуктивностей порядка 0,06–0,09 Гн, при резистивных компонентах величиной 0,03–0,06 Ом. Типовые характеристики дрейфа реактивного импеданс индукционных нагревателей по рис. 1, а и рис. 1, б, в ходе нагрева (80 с) соответственно аппроксимированы кривыми 1 и 2 (рис. 6).

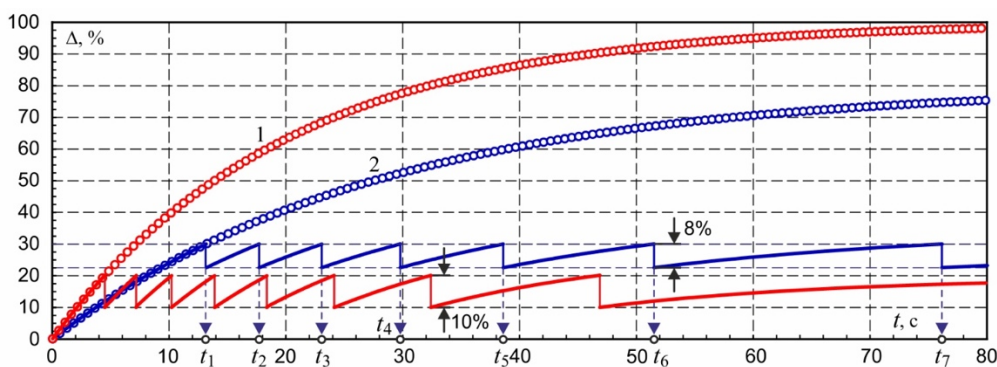


Рис. 6. Настроечная характеристика регулятора ИУ

Анализ режима показал, что диапазону Δ соответствует повышение коэффициента несимметрии токов до 25 %. Моделированием регулятора режимных параметров выбраны диапазоны переключения 10 % и 8 %, для компенсирующих конденсаторных батарей, обеспечивающие поддержание коэффициента несимметрии напряжений в точке подключения в пределах, ограниченных требованием ГОСТ 32144-2013.

Заключение. Представленные здесь последовательность и результаты численного исследования энергетических характеристик индукционных комплексов представляют собой методику моделирования, которая позволяет идентифицировать электро-

магнитный режим индуктора и уточнить границы изменения токов и мощностей при наличии несимметрии. Применение в численном эксперименте параметрических моделей, позволяет прогнозировать поведение индукционной нагрузки при воздействии дискретных регуляторов. С учетом влияния динамики режима на параметры модели появляется возможность количественной оценки предельных значений коэффициента несимметрии напряжений распределительной сети. На основе расчетов вырабатывают рекомендации по обеспечению надлежащего качества электроэнергии при работе мощных однофазных, двухфазных и трехфазных индукционных комплексов.

Литература:

1. Алиферов А.И., Лупи С., Форзан М. Электротехнологические установки и системы. Установки индукционного нагрева. Учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2017. 160 с.
2. Карпов Е.А., Тимофеев В.Н., Перфильев Ю.С., Хацаюк М.Ю., Первухин М.В. Моделирование переходных процессов в линейных и нелинейных электрических цепях. Учебно-методическое пособие. Красноярск: СФУ, 2019. 189 с. ISBN: 978-5-7638-4081-0
3. Фризен В.Э., Тарасов Ф.Е., Швыдкий Е.Л., Болотин К.Е. Расчет индукторов для системы подогрева штампового инструмента. В книге: Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты. Труды МКЭЭЭ-2016. 2016. С. 210-212.
4. Базаров А.А., Павлова О.Е. Электротехнический комплекс для нагрева слитков с равномерным энергопотреблением. В книге: Современное российское оборудование для повышения надежности экономичности и безопасности энергетического комплекса России. Сборник научных трудов. Самара: СамГТУ, 2019. С. 6-9.
5. Данилушкин А.И., Мостовой А.П. Анализ эффективности пусковых режимов двухсекционного индукционного нагревателя методического действия. Вестник Самарского государственного технического университета. 2014. № 4 (44). С. 113-121.
6. Данилушкин А.И., Князев С.В., Макаров А.П. Оптимизация пусковых режимов индукционных нагревателей дискретно-непрерывного действия. В сборнике: Современные инновации в науке и технике материалы III Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Западный государственный университет: 2013. С. 43-46.

7. Chua L. O, Desoer C., Kuh E. Linear and nonlinear circuits / McGraw-Hill, New York. 1987. – 839 p. ISBN 0-07-010898-6.
8. Тяпин А.А., Кинев Е.С., Байкова К.А., Литовченко А.В. Моделирование энергетических характеристик индукционных нагревателей. В кн.: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сборник научных статей VI междунар. науч. конф. 29-30 июня 2020 г. Часть 1. Казань: ООО «Конверт», 2020. с. 83-88. ISBN 978-5-6044722-0-0.
9. Kinev E., Tyarin A. Three-phase inductor performance correction using local resonances. The scientific heritage. Budapest, 2020. No 48-1, Vol. 1. pp. 36-44. ISSN 9215-0365.
10. Базаров А.А., Данилушкин А.И., Данилушкин В.А. Комплексное моделирование и управление процессом непрерывного индукционного нагрева ферромагнитных заготовок. Вестник СамГТУ. 2016. № 2 (50) с. 128-138.
11. Тяпин А.А., Кинев Е.С. Двухфазная индукционная нагрузка в трехфазной распределительной сети. Энергобезопасность и энергосбережение, № 1, 2020, с. 42-51. ISSN 2071-2219. DOI: 10.18635/2071-2219-2020-1-42-51.
12. Тяпин А.А., Кинев Е.С. Численный анализ режимов индукционной установки по параметрическим моделям. В кн.: Сборник докладов XII Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике» ИТЭЭ-2020. Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». С. 107-111.
13. Тяпин А.А., Головенко Е.А., Кинев Е.С., Ефимов С.Н. Симметрирование однофазных индукционных установок в трехфазной сети. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. № 6, 2020. с. 36-49. ISSN: 2074-9635.
14. Данилушкин А.И., Животягин Д.А. Энергоэффективные режимы работы индукционных нагревателей в технологической линии обработки металла. В книге: Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск: ЗАО "Университетская книга", 2019. С. 82-85.
15. Tyarin A. A., Kinev E. S., Bezhtsky S. S. Approach to optimization of the magnetic circuit of a threephase induction plant. Siberian Journal of Science and Technology. 2019, Vol. 20, No. 3, P. 398-408. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-3-398-408.
16. Гитгарц Д. А., Мнухин Л. А. Симметрирующие устройства для однофазных электротермических установок. М.: Энергия, 1974. – 120 с.
17. Данилушкин А.И., Данилушкин В.А. Автоматизированная система управления процессом непрерывного индукционного нагрева. В книге: Прогрессивные технологии и процессы. Сборник научных статей 6-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 73-77.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 543.054: 54.064: 54.79

Разработка метода измерения альфа-активности жидких сред с применением погружного трекового детектора.

2. Вывод и анализ уравнений баланса и расчетных формул

Астафуров Владимир Иванович, кандидат химических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник;

Карл Лидия Эдуардовна, младший научный сотрудник, аспирант
ФГУП Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России
(г. Москва)

Аннотация. Представлен вывод и анализ уравнения, связывающего основные параметры процесса определения альфа-активности жидких сред с применением погружного трекового детектора. Даны формулы для расчета времени экспонирования детектора в жидкости и оценки чувствительности метода. Фактором, ограничивающим чувствительность метода при заданной чувствительной площади детектора, является количество фоновых треков.

Ключевые слова: вода, моча, альфа-радионуклиды, измерение альфа-активности, трековый детектор, погружной детектор, расчетные формулы, чувствительность метода.

Abstract. An equation is presented that relates the main parameters of the process of determining the alpha activity of liquid media with the use of an immersion track detector. The analysis of this equation is given. Formulas are given for calculating the time of exposure of the detector in a liquid and evaluating the sensitivity of the method. The factor limiting the sensitivity of the method for a given sensitive area of the detector is the number of background tracks.

Keywords: water, urine, alpha radionuclides, measurement of alpha activity, track detector, submersible detector, calculation formulas, sensitivity of the method.

DOI: 10.5281/zenodo.4023163

Введение

В нашей предыдущей работе [1] была показана принципиальная возможность применения пленочного трекового детектора (ТД) на основе нитроцеллюлозы для измерения альфа-активности воды, водных растворов и биологической жидкости (моча) в погружном варианте выполнения измерений. Согласно полученным экспериментальным данным, материал детектора устойчив при его длительном выдерживании в воде, водных растворах соляной и лимонной кислот и моче, в том числе содержащей добавки лимонной кислоты, солей цинка и борной кислоты. При экспозиции ТД в ≥ 2 М растворах азотной кислоты в материале детектора происходят изменения, препятствующие последующему измерению числа треков. При экспозиции ТД в (0,2-1,0) М растворах азотной кислоты результаты измерения числа треков сильно занижены по сравнению с контрольным значением. Влияние азотной кислоты на материал ТД не обусловлено кислотностью раствора, что следует из сопоставления данных, полученных при экспозиции ТД в растворах азотной, соляной и лимонной кислот. Это влияние, по-видимому, обусловлено химическим воздействием азотной кислоты на нитроцеллюлозу.

Таким образом, можно считать доказанным, что трековый метод измерения альфа-активности жидких сред с применением погружного детектора, в принципе, можно применять для анализа природных вод и мочи. Однако для практического использования данного метода необходимо определить основные параметры аналитического процесса: необходимое время экспонирования ТД в жидкостях с различной объемной альфа-активностью и чувствительность метода.

В настоящей работе представлен вывод уравнения, связывающего основные параметры процесса определения альфа-активности жидкости с применением погружного трекового детектора. Проведен анализ уравнения и определены формулы для расчета времени экспонирования детектора в жидкостях различной активности и оценки чувствительности метода.

1. Вывод уравнения, связывающего параметры процесса измерения альфа-активности жидкости с применением погружного детектора

Для выполнения измерений отобрана проба жидкости объемом $V_{пр}$ (мл).

В ходе пробоподготовки к пробе прибавлены реагенты объемом V_p (мл).

Объем жидкости, подготовленной к измерению альфа-активности ($V_{ж}$), равен

$$V_{ж} = V_{пр} + V_p \text{ (мл)}. \quad (1)$$

Объемная альфа-активность пробы составляет $A_{пр}$ (Бк/мл).

Суммарная альфа-активность пробы ($a_{пр}$) равна

$$A_{пр} = A_{пр} \cdot V_{пр} \text{ (Бк)} \quad (2)$$

Суммарная альфа-активность измеряемой жидкости ($a_{ж}$), при условии отсутствия альфа-радионуклидов в реагентах, равна

$$A_{ж} = a_{пр} = A_{пр} \cdot V_{пр} \text{ (Бк)} \quad (3)$$

Объемная альфа-активность измеряемой жидкости ($A_{ж}$) равна

$$A_{ж} = \frac{a_{ж}}{V_{ж}} = \frac{A_{пр} \cdot V_{пр}}{V_{пр} + V_p} \text{ (Бк/мл)} \quad (4)$$

В жидкость погружен трековый детектор с чувствительной поверхностью S (см^2).

Толщина эффективного слоя жидкости, из которого альфа-частицы достигают поверхности детектора и образуют в нем треки, составляет $L_{эфф}$ (см).

Эффективный объем жидкости, из которого происходит регистрация альфа-частиц, равен

$$V_{эфф} = L_{эфф} \cdot S \text{ (см}^3 \equiv \text{мл)} \quad (5)$$

Суммарная альфа-активность жидкости в объеме $V_{эфф}$ равна

$$a_{эфф} = A_{ж} \cdot V_{эфф} = \frac{A_{пр} \cdot V_{пр} \cdot S \cdot L_{эфф}}{V_{пр} + V_p} \text{ (Бк)} \quad (6)$$

Эффективность регистрации альфа-частиц трековым детектором из слоя $L_{эфф}$ равна k (безразмерная величина).

За время t (в секундах) в трековом детекторе образуется N_t треков:

$$N_t = a_{эфф} \cdot k \cdot t = A_{пр} \cdot S \cdot L_{эфф} \cdot k \cdot t \cdot \left(\frac{V_{пр}}{V_{пр} + V_p} \right) \quad (7)$$

Поверхностная плотность треков на детекторе (n_t) за время t составит соответственно

$$n_t = \frac{N_t}{S} = A_{пр} \cdot L_{эфф} \cdot k \cdot t \cdot \left(\frac{V_{пр}}{V_{пр} + V_p} \right) \text{ (см}^{-2}\text{)} \quad (8)$$

При отсутствии добавляемых к пробе реагентов, либо в приближении

$V_p \approx 0$ уравнения (7) и (8) упрощаются и приобретают вид

$$N_t = A_{пр} \cdot S \cdot L_{эфф} \cdot k \cdot t \quad (9)$$

$$n_t = A_{пр} \cdot L_{эфф} \cdot k \cdot t \text{ (см}^{-2}\text{)} \quad (10)$$

Учитывая, что для измерений альфа-активности в одной серии экспериментов используется, как правило, трековый детектор определенной конструкции с заданной площадью чувствительной поверхности, для практических расчетов целесообразно использовать уравнения (7) и (9).

2. Расчет времени экспонирования детектора в жидкости

Из уравнений (7) и (9) следует, что число образованных в детекторе треков, соответствующих числу зарегистрированных альфа-частиц из объема $V_{эфф}$, при постоянных (заданных) значениях величин S , $L_{эфф}$, k , прямо пропорционально объемной активности измеряемой жидкости и времени экспонирования детектора.

Величина $A_{пр}$ является априори неизвестной и ее определение является целью выполнения измерений. При отсутствии данных о возможном (ожидаемом) значении объемной активности пробы время ее измерения устанавливают произвольно. Полученное значение числа треков на детекторе позволяет оценить в первом приближении интервал, в котором находится величина $A_{пр}$, и установить при повторном измерении жидкости необходимое время экспонирования детектора.

Однако в большинстве случаев ожидаемое значение объемной активности пробы является приблизительно известной величиной, которая определяется действующими нормами содержания альфа-радионуклидов в жидкости (например, в природных водах), данными ранее выполненных измерений водных объектов, известными закономерностями выделения радионуклидов из организма человека с мочой. В этом случае время экспонирования детектора в жидкости устанавливают в соответствии с необходимым числом треков на детекторе (N_n), которое должно быть получено, чтобы обеспечить необходимую точность измерения. Расчет проводят по формуле

$$t = \frac{N_n}{A_{ожд} \cdot S \cdot L_{эфф} \cdot k} \cdot \left(\frac{V_{пр} + V_p}{V_{пр}} \right) \text{ (с)}, \quad (11)$$

или (при $V_p \approx 0$)

$$t = \frac{N_n}{A_{ожд} \cdot S \cdot L_{эфф} \cdot k} \text{ (с)}, \quad (12)$$

где $A_{ожд}$ – ожидаемая объемная активность измеряемой жидкости.

Рассмотрим практический пример расчетов при измерении альфа-активности водных растворов с применением погружного трекового детектора.

В работе [1] для выполнения исследований использовался пленочный ТД в форме круга диаметром 1,13 см (площадь 1 см²). Чувствительная площадь данного детектора с 4л-геометрией измерения равна 2 см².

При измерении альфа-активности водных растворов, обусловленной распадом нуклидов урана и плутония, величина $L_{эфф}$ составляет ~30 мк (3·10⁻³ см), эффективность регистрации альфа-частиц из слоя $L_{эфф}$ составляет ~0,3.

Примем для упрощения, что объем прибавляемых к пробе реагентов $V_p \approx 0$.

Рассчитаем необходимое время экспонирования детектора в водном растворе для накопления в материале детектора 100 треков, образованных альфа-частицами измеряемой пробы.

При объемной активности пробы 1; 0,1; 0,01 и 0,001 Бк/мл получаем соответственно: $t = 5,56 \cdot 10^4$ с; $5,56 \cdot 10^5$ с; $5,56 \cdot 10^6$ с; $5,56 \cdot 10^7$ с (то есть: ~15 ч; 6,4 сут; 64 сут и 640 сут).

3. Оценка чувствительности метода определения альфа-активности жидкости с применением погружного детектора

В материале детектора, как правило, имеются так называемые фоновые треки, образованные вследствие воздействия на детектор альфа-частиц от различных внешних источников. Основным внешним источником альфа-частиц является присутствующий в воздухе радон и продукты его распада.

Наличие в ТД фоновых треков является фактором, ограничивающим чувствительность трекового метода измерения альфа-активности.

Используемые в работе [1] трековые детекторы, как показали эксперименты, имели фон в широком диапазоне значений. Среднее арифметическое значение фона при числе параллельных 2-3 находилось в диапазоне от 9 до 62 треков на детектор.

Столь высокие и невоспроизводимые значения фона обусловлены качеством нитроцеллюлозной пленки LR-115-2, используемой для изготовления трековых детекторов. Эта пленка хранилась длительное время и могла подвергаться неконтролируемому воздействию альфа-частиц радона и продуктов его распада.

Фон, характерный для детектирующей пленки LR-115-2, сохраняемой в безрадоновой атмосфере, обычно не превышает 10 см⁻².

Оценим чувствительность трекового метода с погружным детектором при различном времени экспонирования детектора в измеряемой жидкости и фоне детектора 10 см⁻².

Статистически значимое число треков, образованных в детекторе от альфа-частиц жидкости, должно не менее, чем в 2 раза, превышать число фоновых треков.

Расчет проводим по формуле

$$A_{np} = \frac{2N_{\phi}}{S \cdot L_{эфф} \cdot k \cdot t}, \quad (13)$$

где N_{ϕ} – число фоновых треков на детекторе.

При времени экспонирования 10 сут (8,64·10⁵ с) и 30 сут (2,59·10⁶ с) минимально определяемая объемная альфа-активность жидкости (чувствительность используемого метода измерения) равна соответственно: 0,013 и 0,0043 Бк/мл (13 и 4,3 Бк/л).

4. Оценка возможности использования трекового метода с погружным детектором для измерения альфа-активности природных вод и биологических жидкостей

Объемная альфа-активность природных вод и биологических жидкостей значительно ниже указанных выше значений, использованных для примера расчетов, и составляет обычно менее 0,001 Бк/мл [2-5]. Поэтому погружной трековый детектор в предложенном в работе [1] техническом исполнении целесообразно использовать для измерений растворов с повышенной объемной альфа-активностью, например, для измерения сточных вод радиохимических предприятий и АЭС, предприятий по переработке урановых и полиметаллических руд, а также растворов, полученных после предварительного концентрирования альфа-излучающих нуклидов из больших объемов природных вод. Несомненным преимуществом использования погружного ТД является возможность выполнения измерений растворов сложного солевого состава.

При анализе природных вод и биологических жидкостей целесообразно использовать классический вариант трекового метода с измерением альфа-активности твердого счетного образца, приготовленного из исходной анализируемой пробы [6]. При этом варианте измерений может быть обеспечена необходимая чувствительность измерения, обусловленная возможностью длительного экспонирования трекового детектора в контакте с измеряемым образцом. Процесс экспонирования может идти одновременно со многими счетными образцами. После завершения экспонирования может производиться массовая обработка и измерение детекторов. Это существенно снижает трудоемкость и длительность анализа всего массива исследуемых проб.

Чтобы использовать трековый метод с погружным детектором для измерения альфа-активности природных вод, требуется иное техническое исполнение процесса измерения, обеспечивающего возможность выполнения измерений малого объема жидкости (0,1-10 мл), полученного методами концентрирования радионуклидов из пробы большого объема.

Выводы

Представлен вывод и анализ уравнения, связывающего основные параметры процесса определения альфа-активности жидких сред с применением погружного трекового детектора. Даны формулы для расчета времени экспонирования детектора в измеряемой жидкости и оценки чувствительности метода. Фактором,

существенно ограничивающим чувствительность метода при заданной чувствительной площади детектора, является количество фоновых треков на детекторе.

Погружной трековый детектор целесообразно использовать для измерений водных сред с повышенной объемной альфа-активностью, например, для измерения сточных вод радиохимических предприятий и АЭС, предприятий по переработке урановых и полиметаллических руд, а также растворов, полученных после предварительного концентрирования альфа-излучающих нуклидов из больших объемов природных вод. Несомненным преимуществом использования погружного ТД является возможность выполнения измерений растворов сложного солевого состава.

При анализе природных вод и биологических жидкостей целесообразно использовать классический вариант трекового метода с измерением альфа-активности твердого счетного образца, приготовленного из анализируемой пробы. При этом варианте измерений может быть обеспечена необходимая чувствительность измерения.

Использование трекового метода с погружным детектором для измерения альфа-активности природных вод требует иного технического исполнения процесса измерения, обеспечивающего возможность выполнения измерений малого объема жидкости, полученного методами концентрирования радионуклидов из исходной пробы большого объема.

Литература:

1. Карл Л.Э., Астафуров В.И., Нефедов Н.А. Разработка метода измерения альфа-активности жидких сред с применением погружного трекового детектора. 1. Оценка влияния состава жидкостей на материал детектора // Евразийское научное объединение. 2019 (ноябрь). Т. 57. Вып. 11. Часть 3. С. 204-208.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): СанПиН 2.6.1.2523. – М.: Роспотребнадзор, 2009.
3. Основные санитарные правила радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1. –2010. – М.: Роспотребнадзор, 2010.
4. Теста С. Применение экстракционной хроматографии в радиотоксикологии // Экстракционная хроматография / ред. Т.Браун и Г.Герсини, пер. с англ. – М.: Мир, 1978. С. 360-387.
5. Голутвина М.М., Абрамов Ю.В. Контроль за поступлением радиоактивных веществ в организм человека и их содержанием. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
6. Маренный А.М., Астафуров В.И., Нефедов Н.А., Белянина Л.В., Маренный М.А., Коротков А.С. Методические указания по методам контроля МУК 2.6.5. 044-2016. Суммарная активность альфа-излучающих радионуклидов в объектах окружающей среды. Измерение проб трековым методом. – М., 2016. – 44 с.

Моделирование термодинамических равновесий в системе NaF – CaF₂ – AlF₃

Працкова Светлана Евгеньевна, кандидат химических наук, доцент;
Саушкина Анастасия Андреевна, студент
ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет (г. Челябинск)

В рамках теории регулярных ионных растворов проведен расчет линий ликвидус бинарных диаграмм состояния системы NaF – CaF₂ – AlF₃. В ходе моделирования были подобраны значения энергетических параметров теории и рассчитаны энергии образования соединений из компонентов расплава.

Ключевые слова: термодинамическое моделирование, система NaF – CaF₂ – AlF₃, диаграмма состояния.

Двойная система NaF – AlF₃ представляет основу электролита алюминиевых электролизёров. CaF₂ часто добавляется в расплав Na⁺, Al³⁺ // F⁻ для увеличения его электропроводности. Диаграмма состояния системы NaF – CaF₂ эвтектического типа. Состав точки эвтектики: 38 мас.% CaF₂ и 62 мас.% NaF; температура эвтектики 800 °С. Визуально-политермическим и частично дифференциально-термическим методом определено, что система CaF₂ – AlF₃ также является эвтектической с температурой 820 °С и 64 мол. % CaF₂. Диаграмма состояния системы NaF – AlF₃ была впервые изучена П.П. Федотьевым и В.П. Ильинским и неоднократно уточнялась [1-5]. С учётом этих данных и справочных термодинамических характеристик плавления простых фторидов: $\Delta_m H$ (NaF) = 34,25 кДж/моль, T_m^0 (NaF) = 1269 К; $\Delta_m H$ (CaF₂) = 30 кДж/моль; T_m^0 (CaF₂) = 1691 К; $\Delta_m H$ (AlF₃) = 112 кДж/моль, T_m^0 (AlF₃) = 1313 К.

В настоящей работе моделью раствора выбрана обобщённая теория «регулярных» ионных растворов [6-8]. Активности компонентов расплавов ионной системы описываются формулами:

$$RT \ln a_{(\text{NaF})\text{ж}} = RT \ln x_1 + 2x_1x_2(1-x_1)Q_{12}^{(1,1)} + x_2^2(1-2x_1)Q_{12}^{(1,2)} + x_1x_2^2(2-3x_1)Q_{12}^{(1,3)} + 2x_1x_3(1-x_1)Q_{13}^{(1,1)} + x_3^2(1-2x_1)Q_{13}^{(1,2)} + x_1x_3^2(2-3x_1)Q_{13}^{(1,3)} - 2x_2^2x_3Q_{23}^{(1,1)} - 2x_2x_3^2Q_{23}^{(1,2)} - 3x_2^2x_3^2Q_{23}^{(1,3)} \quad (1)$$

$$RT \ln a_{(\text{CaF}_2)_\text{ж}} = RT \ln x_2 + x_1^2(1 - 2x_2) Q_{12}^{(1,1)} + 2x_1x_2(1 - x_2) Q_{12}^{(1,2)} + x_1^2x_2(2 - 3x_2) Q_{12}^{(1,3)} - 2x_1^2x_3 Q_{13}^{(1,1)} - 2x_1x_3^2 Q_{13}^{(1,2)} - 3x_1^2x_3^2 Q_{13}^{(1,3)} + 2x_2x_3(1 - x_2) Q_{23}^{(1,1)} + x_3^2(1 - 2x_2) Q_{23}^{(1,2)} + x_2x_3^2(2 - 3x_2) Q_{23}^{(1,3)} \quad (2)$$

$$RT \ln a_{(\text{AlF}_3)_\text{ж}} = RT \ln x_3 - 2x_1^2x_2 Q_{12}^{(1,1)} - 2x_1x_2^2 Q_{12}^{(1,2)} - 3x_1^2x_2^2 Q_{12}^{(1,3)} + x_1^2(1 - 2x_3) Q_{13}^{(1,1)} + 2x_1x_3(1 - x_3) Q_{13}^{(1,2)} + x_1^2x_3(2 - 3x_3) Q_{13}^{(1,3)} + x_2^2(1 - 2x_3) Q_{23}^{(1,1)} + 2x_2x_3(1 - x_3) Q_{23}^{(1,2)} + x_2^2x_3(2 - 3x_3) Q_{23}^{(1,3)} \quad (3)$$

где x_1 – катионная доля натрия, x_2 – катионная доля кальция, x_3 – катионная доля алюминия.

Получены значения энергетических параметров модели Q, которые рассчитывались на основании экспериментальных данных и формул (1-3).

Для системы NaF – CaF₂: Для системы CaF₂ – AlF₃:

$$Q_{12}^{(1)} = -9100 - 2,8 \cdot T, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}}, \quad Q_{23}^{(1)} = 157800 + 140,8 \cdot T, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}},$$

$$Q_{12}^{(2)} = 13800 + 16,4 \cdot T, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}}, \quad Q_{23}^{(2)} = -18700 + 16,5 \cdot T, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}},$$

$$Q_{12}^{(3)} = -4600 + 0,7 \cdot T, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}}, \quad Q_{23}^{(3)} = 15500 + 57,7 \cdot T, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}}.$$

Для системы NaF – AlF₃:

$$Q_{13}^{(1)} = -9063 + 15,113 \cdot T - 6,364 \cdot 10^{-3} \cdot T^2, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}},$$

$$Q_{13}^{(2)} = -271 + 0,173 \cdot T - 2,078 \cdot 10^{-3} \cdot T^2, \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}},$$

$$Q_{13}^{(3)} = 0 \frac{\text{Дж}}{\text{г-ион}}.$$

Равновесия двойных фторидов с фторидным расплавом в общем виде описывали уравнением:



Уточненные стандартные энергии Гиббса образования промежуточных соединений из компонентов фторидного расплава NaF – AlF₃ реакций (4):

$$\Delta G_T^0(\text{Na}_3\text{AlF}_6) = -5552 + 9,109 \cdot T - 3,802 \cdot 10^{-3} \cdot T^2, \text{ Дж};$$

$$\Delta G_T^0(\text{NaAlF}_4) = -4457 + 8,082 \cdot T - 3,744 \cdot 10^{-3} \cdot T^2, \text{ Дж};$$

$$\Delta G_T^0(5\text{NaF} \cdot 3\text{AlF}_3) = -11634 + 19,152 \cdot T - 8,017 \cdot 10^{-3} \cdot T^2, \text{ Дж}.$$

Рассчитанные диаграммы состояния системы NaF – CaF₂ – AlF₃ представлены на рис. 1 – 3.

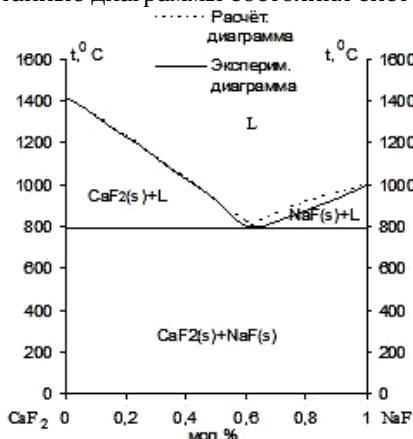


Рис. 1. Диаграмма состояния системы CaF₂ – NaF

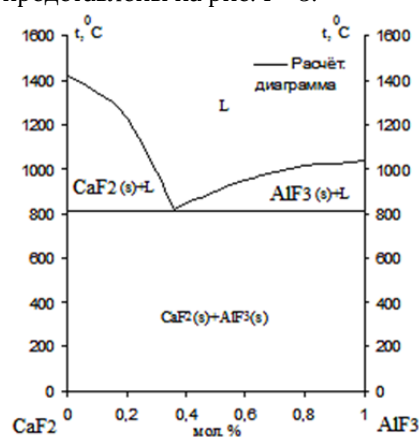


Рис. 2. Диаграмма состояния системы CaF₂ – AlF₃

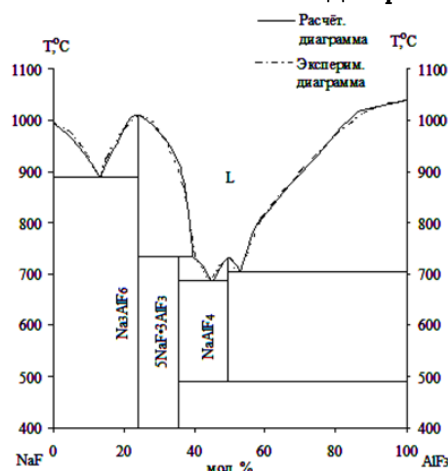


Рис. 3. Диаграмма состояния системы NaF – AlF₃

Литература:

1. Химическая технология / Под ред. А.В. Белоцветова. М.: Просвещение, 1971. – 359 с.
2. Москвитин В.И. Диаграмма состояния системы $\text{Na}_3\text{AlF}_6 - \text{Al}_2\text{O}_3$ // Цветная металлургия. 1998. №4. С. 54 – 57.
3. Сезичев А.Л., Кауфман А.С., Хлынов В.В. Влияние температуры обработки алюминиевых расплавов жидкими флюсами на эффективность очистки металла от включений на основе оксида алюминия // Расплавы. 1988. №4. С. 14 – 18.
4. Головных Н.В., Бычинский В.А., Тупицын А.А., Золотова А.С. Исследование физико-химических и технологических свойств тетрафторалюмината натрия // Известия вузов. Цветная металлургия. 2008. №5. С. 33 – 37.
5. Мухетдинова А.В., Бычинский В.А., Тупицын А.А., Финкельштейн А.Л. Исследование электролитов алюминиевого производства с помощью физико-химического моделирования // Известия вузов. Цветная металлургия. 2009. №4. С. 29 – 34.
6. Тюрин А.Г., Працкова С.Е. Моделирование термодинамических свойств известково-глиноземистых расплавов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2012. – Вып. 1 (260). – С. 29 – 34.
7. Тюрин А.Г., Працкова С.Е. Моделирование термодинамических свойств оксидно-фторидных расплавов системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Al}^{3+} // \text{O}^{2-}, \text{F}^-$ // Расплавы. – 2014. – № 3. – С. 73 – 84.
8. Тюрин А.Г., Працкова С.Е. К термодинамике оксидно-фторидных расплавов системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Al}^{3+} // \text{O}^{2-}, \text{F}^-$ // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2013. – Т. 5. – №1. – С. 23 – 27.

