

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВЕСТНИК
ВОЛОГОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 2018 г.

№ 1 (3) / 2019

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА
2019

№ 1 (3) / 2019 / АПРЕЛЬ. Выходит 4 раза в год.

Научный журнал «Вестник ВоГУ» включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2018 г.

Полнотекстовые версии выпусков научного журнала размещены в свободном доступе Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru).

Серия: Технические науки

Группы специальностей:

05.02.00 Машиноведение, системы приводов и детали машин

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

05.23.00 Строительство и архитектура

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77 – 75456 от 5 апреля 2019 г.

Главный редактор

А.А. Кочкин, доктор технических наук, доцент Вологодского государственного университета

Заместители главного редактора:

Ю.Р. Осипов, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета,

А.Н. Швецов, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета

Члены редколлегии:

И.К. Александров, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета,
В.А. Горбунов, доктор физико-математических наук, профессор Вологодского государственного университета,

В.П. Гусев, доктор технических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),

И.В. Зефирова, кандидат технических наук, доцент Вологодской государственной молочно-хозяйственной академии им. Н.В. Верещагина,

К.В. Кияненко, доктор архитектуры, профессор Вологодского государственного университета,

В.И. Леденёв, доктор технических наук, профессор Тамбовского государственного университета,

С.В. Лукин, доктор технических наук, профессор Череповецкого государственного университета,

А.Е. Немировский, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета,

В.И. Римшин, доктор технических наук, профессор, Руководитель института развития города Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), заслуженный строитель РФ, член-корр. РААСН,

А.С. Степанов, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета,

В.А. Шорин, доктор химических наук, профессор Вологодского государственного университета,

И.Л. Шубин, доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), член-корр. РААСН.

Секретарь

В.А. Раков, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета

Переводчик – *Т.В. Рудакова*, кандидат педагогических наук, доцент Вологодского государственного университета

Редакторы – Н.Н. Постникова, А.И. Ланькова, А.П. Митракова

Оригинал-макет – Н.В. Подхомутова

Адрес редакции: 160000, г. Вологда, ул. С. Орлова, д. 6; тел.: 8 (8172) 76-91-92

e-mail: vestniktech@vogu35.ru

ISSN 2658-3399

© ФГБОУ ВО «Вологодский
государственный университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОВЕДЕНИЕ, СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ И ДЕТАЛИ МАШИН

<i>Аваев А.А., Осипов Ю.Р.</i> НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В СИСТЕМЕ ЭЛАСТОМЕР-СТАЛЬ В ТЕЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРА	5
<i>Бриш В.Н., Старостин А.В., Кулева Н.И., Сигов А.Н.</i> МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	8
<i>Булавин В.Ф., Степанов А.С., Яхричев В.В.</i> ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	12
<i>Колотов А.А., Бендерский Б.Я.</i> СПЕЦИАЛЬНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ (СТС С ГСУ).....	17
<i>Попов И.П.</i> ВЫБОР СИСТЕМ ОТСЧЕТА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖУЩИМИСЯ ИНЕРТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	20
<i>Попов И.П.</i> РОТОРНО-ЛИНЕЙНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ	23
<i>Халтурин М.А.</i> СИНТЕЗ ПРЯМОЛИНЕЙНО-НАПРАВЛЯЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ ОТРЕЗКИ ЗАГОТОВОК ЭСКИМО.....	27

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Иванова М.А., Бабарукикин В.А.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	35
<i>Коваленко С.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ И КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ	40
<i>Мухамадиев Э., Байзаев С., Очилова М.А.</i> ПОЛНОТА ПРОСТРАНСТВА РАВНОМЕРНО СХОДЯЩИХСЯ РЯДОВ ФУРЬЕ ПО НЕСИММЕТРИЧЕСКИМ ЧАСТИЧНЫМ СУММАМ.....	45
<i>Мухамадиев Э., Назимов А.Б., Наимов А.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ	50
<i>Федотовский С.Б.</i> МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	54

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Анисимов Ю.В.</i> СРЕДОВОЙ ДИЗАЙН КАК СТРАТЕГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ ИСТОРИЧЕСКОГО ГОРОДА.....	57
<i>Анисимова Л.В.</i> СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ ОТКРЫТЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ГОРОДА.....	61
<i>Кузнецов Д.В., Поварова О.А., Залипаева О.А.</i> ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	65
<i>Михалевич Н.В., Плотникова О.С.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ АРМАТУРЫ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	69
<i>Павлов М.В., Дугинова К.А.</i> ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КУЛЬТИВАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ	73
<i>Римшин В.И., Компанец И.В., Гришак О.И.</i> ДЕГРАДАЦИОННЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ФАСАДА КИРПИЧНОГО МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА	76
<i>Роцина С.И., Лукин М.В., Лисятников М.С.</i> РИСКИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ БЕЗ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНО-СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВХОДНОЙ ГРУППЫ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ Г. ВЛАДИМИРА	79
<i>Умаров М.Ф., Шмаков Д.Н.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.....	82

CONTENTS

MECHANICAL ENGINEERING, DRIVE SYSTEMS AND MACHINE PARTS

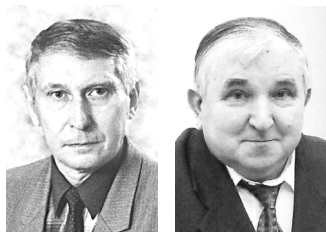
<i>Avaev A.A., Osipov Y.R.</i> NON-STATIONARY HEAT CONDUCTION IN THE ELASTOMER-STEEL SYSTEM DURING ELASTOMER THERMAL VULCANIZATION	5
<i>Brish V.N., Starostin A.V., Kuleva N.I., Sigov A.N.</i> TECHNIQUE AND RESULTS OF RESEARCH OF PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS	8
<i>Bulavin V.F., Stepanov A.S., Yakhrichev V.V.</i> DIGITAL TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING	12
<i>Kolotov A.A., Bendersky B.Ya.</i> SPECIAL VEHICLE WITH HYBRID PROPULSION SYSTEM (SV WITH HPS)	17
<i>Popov I.P.</i> CHOICE OF COUNTING SYSTEMS IN THE PROBLEMS OF MANAGING THE MOVING INERT OBJECTS	20
<i>Popov I.P.</i> ROTARY-LINEAR PROPULSION UNIT	23
<i>Khalturin M.A.</i> SYNTHESIZING A STRAIGHT-LINE MECHANISM FOR CUTTING SEMI-FINISHED STICK ICE CREAM	27

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>Ivanova M.A., Babarushkin V.A.</i> AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR COMMERCIAL ACCOUNTING OF ENERGY MANAGEMENT	35
<i>Kovalenko S.N.</i> STUDY OF AUTO-CORRELATION AND CORRELATION DEPENDENCE USING THE EXAMPLE OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SMALL WATERCOURSES POLLUTION	40
<i>Mukhamadiev E., Baizaev S., Ochilova M.A.</i> COMPLETENESS OF THE SPACE OF UNIFORMLY CONVERGENT FOURIER SERIES ON NON-SYMMETRIC PARTIAL SUMS	45
<i>Mukhamadiev E., Nazimov A.B., Naimov A.N.</i> ON SOLVABILITY OF NONLINEAR EQUATIONS CLASS WITH A SMALL PARAMETER	50
<i>Fedotovskij S.B.</i> TECHNIQUE OF SIMULATION OF ELECTRIC DRIVES DIGITAL SYSTEMS	54

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Anisimov Y.V.</i> ENVIRONMENT DESIGN AS A STRATEGY TO INCREASE THE COMPETITIVE IDENTITY OF A HISTORICAL CITY	57
<i>Anisimova L.V.</i> SOCIAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF FORMING OF THE CITY OPEN PUBLIC SPACES ENVIRONMENT	61
<i>Kuznetsov D.V., Povarova O.A., Zalipaeva O.A.</i> DYNAMICS AND PROSPECTS OF WOODEN HOUSE-BUILDING IN VOLOGDA REGION	65
<i>Mikhalevich N.V., Plotnikova O.S.</i> DETERMINATION OF STRENGTH OF THE REINFORCEMENT WHEN INSPECTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES	69
<i>Pavlov M.V., Duginova K.A.</i> ADVANTAGES OF RADIANT HEATING SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF CULTIVATION FACILITIES	73
<i>Rimshin V.I., Kompanets I.V., Grishak O.I.</i> DEGRADATION AND OPERATIONAL DAMAGE OF THE BRICK APARTMENT HOUSE FACADE	76
<i>Roshchina S.I., Lukin M.V., Lisyatnikov M.S.</i> RISKS OF CONCRETE CONSTRUCTION WITHOUT PREPARING DESIGN AND ESTIMATE DOCUMENTATION USING THE EXAMPLE OF ENTRANCE SPACE OF THE ADMINISTRATIVE BUILDING IN VLADIMIR	79
<i>Umarov M.F., Shmakov D.N.</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF LIGHTING IN INDUSTRIAL PREMISES	82



А.А. Аваев

Череповецкий государственный университет

Ю.Р. Осипов

Вологодский государственный университет

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В СИСТЕМЕ ЭЛАСТОМЕР-СТАЛЬ В ТЕЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРА

Математическое описание термической вулканизации эластомера в системе эластомер-сталь является весьма сложным процессом. Причиной тому является комбинация химических реакций и физических превращений, имеющих место в эластомерном покрытии на стальной основе. Как следствие, такое описание возможно только в сравнительно простой ситуации, когда содержание свободной серы в эластомере достаточно мало и отсутствует заметное изменение свойств эластомера в течение его вулканизации. Предлагаемая математическая модель основана на решении линейного уравнения теплопроводности. Целью моделирования является усовершенствование организации процесса термической вулканизации эластомера в системе эластомер-сталь. Математическая модель может быть использована в современной инженерной практике.

Система эластомер-сталь, математическое описание, термическая вулканизация, свободная сера, стальная основа, линейное уравнение теплопроводности, преобразование Лапласа.

В современной инженерной практике широко используются элементы конструкций, представляющие собой стальные пластины с нанесенным на них слоем эластомера. Покрытие из эластомера используется с целью защиты стали от механического и коррозионного воздействия внешней среды и позволяет применять в конструкторских разработках наиболее экономичные марки стали.

После нанесения на стальную пластину слоя эластомера его подвергают чаще всего термической вулканизации, которая представляет собой сложный физико-химический процесс, сопровождающийся плавлением свободной серы с соответствующим поглощением тепла и последующей реакцией связывания свободной серы с эффектом тепловыделения [1].

В подобных ситуациях математическое моделирование нестационарной теплопроводности в системе эластомер-сталь приобретает решающее значение. Дело в том, что непосредственный контроль хода теплового процесса весьма затруднителен и приводит к большим погрешностям в измерении температуры в различных точках стали и, в особенности, эластомера.

В эластомере с малым содержанием свободной серы можно пренебречь эффектами поглощения и выделения тепла. Кроме того, изменение параметров теплопереноса в подобных случаях является весьма малым [2], что позволяет при моделировании нестационарной теплопроводности в ходе вулканизации эластомера считать эти параметры постоянными.

В таких случаях в качестве основы математической модели допустимо взять двухслойную бесконечную пластину, толщина слоев которой составляет l_1 и l_2 . Внутренний перенос тепла при этом описывается системой двух линейных уравнений теплопроводности [3]:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

$$(0 < \tau < +\infty; 0 < x \leq l_1);$$

$$\frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$(0 < \tau < +\infty; l_1 \leq x < l_1 + l_2),$$

где $t_i(x, \tau)$ – температура пластины с номером i в точке с координатой x в момент времени $\tau, ^\circ C$; a_i – коэффициент температуропроводности материала пластины, m^2/c ($i=1,2$).

При решении системы уравнений (1)–(2) предлагается использовать краевые условия:

$$t_1(x, 0) = t_2(x, 0) = t_0 = const; \quad (3)$$

$$t_1(l_1, \tau) = t_2(l_1, \tau); \quad (4)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1(l_1, \tau)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial t_2(l_1, \tau)}{\partial x}; \quad (5)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} + \alpha [t_c - t_1(0, \tau)] = 0; \quad (6)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial t_2(l_1 + l_2, \tau)}{\partial x} + \alpha [t_c - t_2(l_1 + l_2, \tau)] = 0, \quad (7)$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности материала пластины, $Bm/(m \cdot ^\circ C)$; α – коэффициент теплоотдачи от внешней среды с температурой $t_c = const, ^\circ C$, к поверхностям $x=0$ и $x=l_1+l_2$, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Начальное условие (3) соответствует постоянному значению температуры во всех точках обеих пластин в момент времени $\tau=0$.

Граничные условия (4)–(5) отвечают так называемому идеальному тепловому контакту пластин в двухслойной системе, когда на поверхности $x=l_1$ имеет место равенство температур (4) и тепловых потоков (5).

Граничные условия (6)–(7) описывают конвективный теплообмен через поверхности $x = l_1$ и $x = l_1 + l_2$.

Решение системы уравнений (1)–(2) для краевых (3)–(7) проведено при использовании преобразований Лапласа и может быть представлено в виде

$$t_1(x, \tau) = t_c + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m \cos\left(\mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right) + B_m \sin\left(\mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right)}{C_m} e^{-\mu_m^2 Fo}; \quad (8)$$

$$t_2(x, \tau) = t_c + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m \cos\left(K_2 \mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right) + K_1 B_m \sin\left(K_2 \mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right)}{C_m} \cdot e^{-\mu_m^2 Fo}, \quad (9)$$

где

$$A_m = \left[\frac{Bi_2 \sin(K_2 \mu_m)}{K_2 \mu_m} + \cos(K_2 \mu_m) \right] K_1 Bi_1 (t_c - t_0) + \left(\frac{Bi_1 \sin \mu_m}{\mu_m} + \cos \mu_m \right) \frac{Bi_2}{K_2} (t_c - t_0);$$

$$B_m = (Bi_1 \cos \mu_m - \mu_m \sin \mu_m) \frac{Bi_2}{K_2 \mu_m} (t_c - t_0) - [Bi_2 \cos(K_2 \mu_m) - K_2 \mu_m \sin(K_2 \mu_m)] \frac{Bi_1}{K_2 \mu_m} (t_c - t_0);$$

$$C_m = -\frac{1}{2} K_1 \mu_m [(Bi_1 + 1) \sin \mu_m + \mu_m \cos \mu_m] \left[\frac{Bi_2 \sin(K_2 \mu_m)}{K_2 \mu_m} + \cos(K_2 \mu_m) \right] - \frac{1}{2} K_1 (Bi_1 \cos \mu_m - \mu_m \sin \mu_m) \left[\left(K_2 \mu_m + \frac{Bi_2}{K_2 \mu_m} \right) \sin(K_2 \mu_m) - Bi_2 \cos(K_2 \mu_m) \right] - \frac{1}{2} \frac{1}{K_2} \left[\left(\mu_m + \frac{Bi_1}{\mu_m} \right) \sin \mu_m - Bi_1 \cos \mu_m \right] [Bi_2 \cos(K_2 \mu_m) - K_2 \mu_m \sin(K_2 \mu_m)] - \frac{1}{2} (Bi_1 \sin \mu_m + \mu_m \cos \mu_m) [(Bi_2 + 1) \sin(K_2 \mu_m) + K_2 \mu_m \cos(K_2 \mu_m)];$$

$$K_1 = \sqrt{\frac{a_2 \lambda_1}{a_1 \lambda_2}}; \quad K_2 = \sqrt{\frac{a_1 l_2}{a_2 l_1}};$$

$Fo = \frac{a_1 \tau}{l_1^2}$ – критерий Фурье; $Bi_1 = \frac{\alpha l_1}{\lambda_1}$, $Bi_2 = \frac{\alpha l_2}{\lambda_2}$ – критерии Био; $\mu_m > 0$ ($m = 1, 2, \dots$) – корни характеристического уравнения

$$(Bi_1 \cos \mu - \mu \cdot \sin \mu) [Bi_2 \sin(K_2 \mu) + K_2 \mu \cdot \cos(K_2 \mu)] K_1 + (Bi_1 \sin \mu + \mu \cdot \cos \mu) [Bi_2 \cos(K_2 \mu) - K_2 \mu \cdot \sin(K_2 \mu)] = 0.$$

На рис. 1 представлены результаты расчетов четырех линий нестационарного температурного поля, проведенные в соответствии с решением (8)–(9). Расчеты выполнены для случая вулканизации слоя эластомера марки 2566, нанесенного на пластину из стали Ст3.

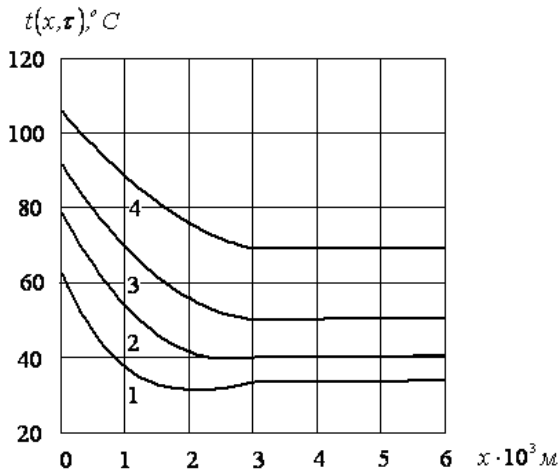


Рис. 1. Результаты расчетов линий нестационарного температурного поля системы эластомер-сталь

Приведенные расчеты соответствуют вулканизации эластомера в аппарате с псевдооживленным слоем инертного зернистого теплоносителя [1].

Температура псевдооживленного слоя составляла $t_c = 150^\circ C$; коэффициент теплоотдачи $\alpha = 70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ C)$; толщина слоя эластомера $l_1 = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; толщина стальной пластины $l_2 = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; начальная температура $t_0 = 30^\circ C$.

Линии 1, 2, 3, 4 соответствуют значениям времени $\tau_1 = 5 \text{ с}$, $\tau_2 = 15 \text{ с}$, $\tau_3 = 30 \text{ с}$, $\tau_4 = 60 \text{ с}$.

Из рис. 1 следует, что поверхность эластомера $x = 0$, в силу его низкой теплопроводности, прогревается заметно быстрее, чем его поверхность $x = l_1$, контактирующая со сталью. Для стали, коэффициент теплопроводности которой более чем на три порядка выше, прогрев осуществляется практически равномерно.

На рис. 2 представлена динамика изменения линий температурного поля во времени.

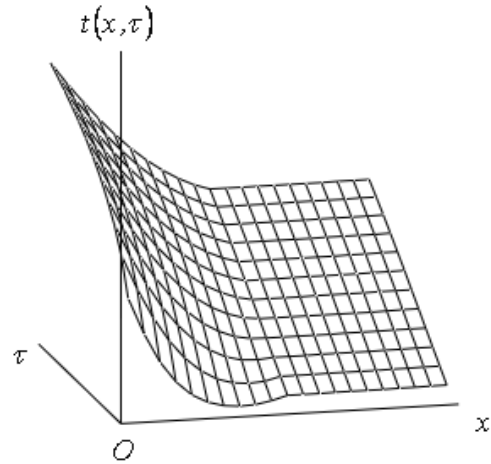


Рис. 2. Динамика изменения во времени линий нестационарного температурного поля

Поверхность, изображенная на рис. 2, составлена из двенадцати линий, каждая из которых соответствует определенному значению времени τ в диапазоне его значений от 5 до 60 секунд с шагом $\Delta \tau = 5 \text{ с}$.

Экспериментальная проверка расчетов нестационарных температурных полей в соответствии с предложенной математической моделью доказала возможность ее применения в инженерной практике при установлении оптимальных режимов термической вулканизации эластомера в системе эластомер-сталь.

Литература

1. Аваев, А. А. Аналитические модели теплопереноса в резинометаллических системах в процессах термической вулканизации резиновых обкладок при малой концентрации вулканизирующего агента / А. А. Аваев, Ю. Р. Осипов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 5 (66). – С. 5–9.
2. Лукомская, А. И. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий / А. И. Лукомская, П. Ф. Баденков, Л. М. Кеперша. – Москва: Химия, 1972. – 359 с.
3. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва: Высшая школа, 1967. – 600 с.

A.A. Ayaev
Cherepovets State University
Y.R. Osipov
Vologda State University

**NON-STATIONARY HEAT CONDUCTION IN THE ELASTOMER-STEEL SYSTEM DURING
ELASTOMER THERMAL VULCANIZATION**

Mathematic description of thermal elastomer vulcanization in the elastomer-steel system is a difficult process. The reason is the combination of chemical reactions and physical transformations taking place in the elastomer cover on the steel base. As a result, such description is possible only in a relatively simple situation when the concentration of elastomer free sulfur is low enough and there are no considerable changes of elastomer properties during its vulcanization. The mathematic model being proposed is based on the solution of linear heat conduction equation. The aim of modeling is to improve the organization of thermal vulcanization process in elastomer-steel systems. The mathematic model may be used in the modern engineering practice.

Elastomer-steel system, mathematic description, thermal vulcanization, free sulfur, steel base, linear equation of heat conduction, Laplace transformation.



В.Н. Бриш, А.В. Старостин, Н.И. Кулева
 Вологодский государственный университет
А.Н. Сизов
 Санкт-Петербургский государственный
 электротехнический университет «ЛЭТИ»
 им. В.И. Ульянова (Ленина)

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассмотрены методика и результаты проведения комплексных исследований свойств композиционных материалов на кафедре технологии машиностроения Вологодского государственного университета. Результатами проведенных работ являются полученные зависимости влияния состава смеси исходного материала на размеры полученных образцов. Результаты исследований позволяют уточнить заданные размеры пресс-форм для изготовления композиционных материалов различных составов.

Исследования, размерная точность, образец, прессование, состав смеси порошков.

Изучение проблем обеспечения качества машиностроительной продукции позволяет сделать вывод, что оно обеспечивается высоким уровнем подготовки специалистов, работающих на предприятиях. Необходим системный подход к решению проблем управления качеством и научный подход к решению вопросов технологии производства и контроля качества на всех этапах производства [1].

Качество подготовки и переподготовки инженерных кадров является главной задачей высших учебных заведений. Методы обеспечения качества связаны со многими дисциплинами, изучаемыми в вузе: «Технология конструкционных материалов», «Общая технология производства», «Технические измерения и приборы», «Методы обеспечения качества машиностроительной продукции», «Управление качеством», «Метрология, стандартизация и сертификация».

Студенты специальности «Технология машиностроения» (конструкторско-технологическое направление) изучают дисциплину «Технология конструкционных материалов». Лабораторные работы «Исследование зависимости относительной плотности и размерной точности от усилия прессования и состава смеси порошков» проводятся в лаборатории порошковой металлургии и литейного производства.

Целями работы являются разработка методических подходов и получение результатов исследований свойств композиционных материалов, полученных при прессовании. Задачей исследования является получение образцов с заданными свойствами и геометрическими размерами из различных составов смесей порошков, удовлетворяющих требованиям технологического процесса (относительная плотность и пористость).

Следует отметить, что трёхстадийный технологический процесс получения материалов изделий методами порошковой металлургии включает:

1) производство порошков и их смесей на металлургических и специализированных предприятиях. При этом формируются технологические свойства (форма частиц, гранулометрический состав, прессуемость);

2) формование заготовок. Конечным результатом второй стадии является обеспечение оптимальных характеристик заготовок (относительная плотность, пористость, размерная точность) для последующего спекания. Определение этих характеристик является задачей исследования.

3) спекание (диффузионный отжиг). Изменение объема и размеров образца при термообработке не является задачей данной работы.

Первая часть лабораторных работ по прессованию образцов из металлических и неметаллических порошков и их смесей включает следующие технологические операции, влияющие на показатели точности размеров изделия: дозирование, смешивание порошков, заполнение и равномерное распределение порошка по объему пресс-формы, прессование и выпрессовку из матрицы полученных заготовок (образцов).

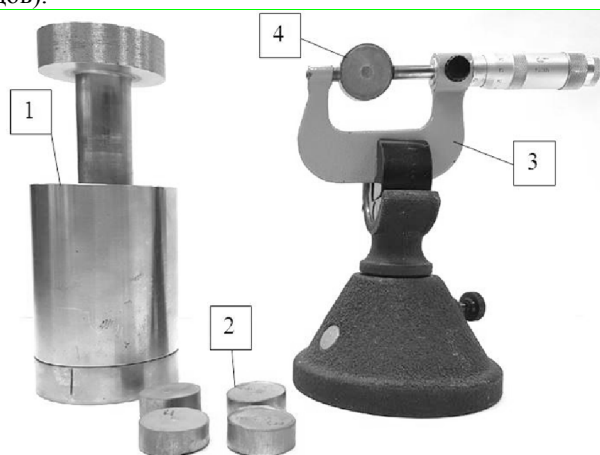


Рис. Пресс-форма (1), образцы (2), микрометр на стойке (3), образец в микрометре (4)

На рис. представлены пресс-форма, образцы и образец, установленный для измерения на микрометре со стойкой.

Погрешности изготовления по размерам возможны при нарушении скоростных режимов выпрессовки

образца при ручном управлении, что может привести к типичному браку в порошковой металлургии – скрытому расслою прессовок вследствие упругих деформаций образца после выпрессовки.

Составы смеси: железо-медь, железо-графит, железо-алюминий, медь-алюминий, медь-цинк.

Технологический процесс прессования включает операции смешивания порошков, засыпки их в пресс-форму, прессования по заданным режимам и выпрессовки образца из пресс-формы.

Тщательность смешивания порошков, равномерность их распределения по объему обеспечивает стабильность прочностных, размерных и эксплуатационных характеристик материала.

После засыпки порошка в пресс-форму (рис.) необходимо устранить неравномерность заполнения объема матрицы. Причиной такой неравномерности является угол естественного откоса сыпучих тел. На первой стадии прессования основным процессом, за счет которого повышается относительная плотность образца, является физическое уплотнение – перемещение, разворот и сближение частиц. Наряду с этим процессом имеет место и становится преимущественным процессом на втором этапе пластическая деформация частиц, обеспечивающая частичное заполнение пор. Заключительный этап может закончиться разрушением хрупких или наклепанных частиц и заполнением их обломками пор.

Одновременно с пластическими деформациями в образце имеют место и упругие деформации, приводящие к увеличению диаметра образца при выпрессовке.

Примечание: нарушение режимов прессования, в первую очередь, скорости прессования порошка и выпрессовки образцов, приводит к их разрушению из-за расслоя.

При прессовании железного порошка влияние добавок (второго компонента) порошков других металлов, сплавов и неметаллов на относительную плотность образцов различно и может способствовать:

- повышению относительной плотности вследствие большей пластичности, меньших размеров частиц порошка, низкой прочности или меньшего коэффициента трения второго компонента;

- понижению относительной плотности образцов при высоких твердости и коэффициенте трения второго компонента. Все эти особенности должны быть учтены в технологическом процессе.

Готовые образцы (в порошковой металлургии их называют «сырые», т.е. неспеченные, заготовки) упаковывают и передают в лабораторию метрологии на хранение для проведения следующих исследований.

Оценка размеров получившихся образцов выполняется в лаборатории метрологии и взаимозаменяемости и включает следующие этапы: выбор средств измерения с заполнением метрологической карты; ознакомление с методикой измерения; измерение размеров изготовленных образцов, измерение размеров пресс-формы (диаметра рабочей полости матрицы и диаметра пуансона); расчет значения изменения размеров образцов от состава смеси. Последним этапом работы является выявление зависимости изменения размеров образцов от состава и процентного соотно-

шения компонентов смеси, представленной в отчете по лабораторной работе в виде графиков и выводов.

1. Заполнение метрологической карты [2].

В метрологической карте вписаны все приборы и инструменты, применяемые в первой части работы: электронные весы ВЭУ-2 с ценой деления 0,5 г для дозирования порошков и весы MW-120 с ценой деления 0,01 г для взвешивания добавок, пресс П-50 с ценой деления 10 кН, штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм; и приборы, применяемые во второй части работы. Для измерения диаметра пуансона использован микрометр гладкий I класса, для измерения внутреннего диаметра матрицы – нутромер индикаторный (в данной работе рекомендуется нутромер ИНТО с погрешностью измерения $\Delta_{lim} = \pm 5$ мкм) с ценой деления 0,01 мм.

Для измерения диаметра образца используется микрометр I класса (желательно со стойкой).

Таким образом, в метрологическую карту входят шесть средств измерения. Все измерения проведены с учетом погрешности измерения.

2. Измерение размеров пресс-формы:

- Измерение действительного диаметра пуансона.

Измерение действительного диаметра пуансона необходимо для выявления износа пуансона. Измерение выполнено микрометром гладким I класса в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и в трех сечениях по высоте. Далее вычисляется среднее арифметическое значение из шести результатов, при этом результаты измерения позволяют выявить величину износа и погрешности формы износа.

- Измерение диаметра отверстия матрицы.

Измерение диаметра отверстия матрицы необходимо для выявления износа матрицы. Измерения проводятся индикаторным нутромером ИНТО. Для измерения необходимо иметь струбину с боковиками и блок плиток, равный номинальному диаметру отверстия матрицы ($\Phi_{матрицы}$). Действительный размер отверстия матрицы записывается в форму результатов измерения (табл. 1).

3. Измерение диаметра образца d_1 .

Диаметр образца измерен микрометром гладким I класса на стойке (рис.) в 3-х сечениях и рассчитано среднее значение $d_{1ср}$ с учетом погрешности измерения микрометра I класса $\Delta_{lim} = \pm 0,008$ мм.

Можно использовать микрометр гладкий 0 класса с погрешностью $\Delta_{lim} = \pm 0,0055$ мм [1].

В таблице 1 в качестве примера представлены результаты исследования образцов смеси.

4. По результатам измерений строится график зависимости измерения размеров образца ($\Delta_{в}$) от состава смеси порошков. На рисунках таблицы 2 представлены полученные схемы зависимости при разных составах смеси порошков по результатам исследований.

5. Анализ причин и явлений, влияющих на увеличение или уменьшение размера образцов. Именно этот момент проведения анализа результатов своих исследований вызывает повышенный интерес. Таблица 2 составлена по результатам исследований, проведенных за последние 5 лет [3, 4].

Таблица 1

Результаты измерений

№ образца	Состав смеси, %		Диаметр отверстия матрицы ($\varnothing_{\text{матрицы}}$), мм	Диаметр образца d_1 (измерения в 3-х сечениях)			Действительный размер ($d_{\text{ср}}$) с учетом Δlim $d_{\text{ср}} = d_{1\text{ср}}$	Изменение размера образца (Δ_B) $\Delta_B = d_{\text{ср}} - \varnothing_{\text{матрицы}}$
	K_I	K_{II}		1	2	3		
1	98	2	29,947	30,53	30,54	30,48	30,525	0,578
2	96	4	29,947	30,56	30,54	30,53	30,535	0,588
3	94	6	29,947	30,58	30,61	30,58	30,575	0,628
4	92	8	29,947	30,57	30,6	30,61	30,585	0,638

$d_{1\text{ср}}$ – среднее значение из 3-х результатов измерения

Таблица 2

Изменение диаметра образца при снятии усилия прессования

1.	Cu + Zn	Медь – пластичный материал, цинк – хрупкий. Zn имеет шаровидные частицы, твердый по отношению к меди. Чем больше процент цинка, тем больше препятствий пластической деформации и уплотнения образцов.	Δ_B , мкм	
2.	Cu + Fe	Частицы железа очень крупные, препятствуют уплотнению порошка, размер при выпрессовке увеличивается. Чем больше железа, тем больше увеличивается размер.	Δ_B , мкм	
3.	Cu + Al	Чешуйчатые частицы Al-пудры представляют длинную тонкую (2 мкм) изогнутую пластину. Чем больше Al, тем выше относительная плотность, тем меньше изменение размеров.	Δ_B , мкм	
4.	Fe + Al	Модуль упругости Fe в 2,86 раза больше модуля упругости Al. Чем больше алюминия, тем меньше изменение размеров.	Δ_B , мкм	
5.	Fe + графит	Особый случай. Считается, что графит не влияет на изменение размера, так как служит своего рода смазкой, при которой снижаются упругие деформации.	Δ_B , мкм	

Результаты экспериментальных исследований:

- размеры образцов определяются степенью завершенности процессов, протекающих при прессовании, таких как: физическое уплотнение, пластическая деформация, разрушение частиц; графит – единственный из исследованных материалов, низкая прочность которого способствует получению беспористых образцов;

- выпрессовка образцов из матрицы пресс-формы сопровождается упругим последствием с увеличением размеров, которое, в первую очередь, определяется модулем упругости материалов; из этого следует вывод, что при проектировании пресс-форм для серийного и массового производства деталей, изготовленных из порошков, необходимо экспериментальное определение диаметров матрицы и пуансона.

При составлении композиционных смесей следует запомнить три закономерности объемного расширения образцов как результат последствия упругих деформаций:

- с повышением содержания компонентов с высоким модулем упругости (цинка и железа) в смеси размеры увеличиваются (п. 1, 2 табл. 2);
- с повышением содержания пластичных компонентов (алюминия, меди) размеры уменьшаются (п. 3, 4 табл. 2);

- с повышением содержания хрупких компонентов (графита) размеры практически не изменяются (п.5 табл. 2).

Дальнейшее проведение исследований, т.е. третья стадия технологического процесса – спекание (термическая обработка) с целью получения готовых деталей, требует не только специального оборудования, но и больших затрат по времени.

Литература

1. Бриш В.Н. Управление качеством: учебное пособие / В.Н. Бриш, А.Н. Сигов, А.В. Старостин: м-во образ. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. – Вологда: ВоГУ, 2017. – 140 с.
2. Бриш В.Н. Метрология, стандартизация, сертификация: учебное пособие / В.Н. Бриш, А.Н. Сигов, А.В. Старостин. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – 131 с.
3. Бриш В.Н. Методы обеспечения качества машиностроительной продукции: учебное пособие / В.Н. Бриш, А.Н. Сигов, А.В. Старостин. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 112 с.
4. Технические измерения и приборы. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Исследование зависимостей относительной плотности и размерной точности от усилия прессования и состава смеси порошков / сост. В.Н. Бриш, Н.А. Сигов. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – 15 с.

V.N. Brish, A.V. Starostin, N.I. Kuleva

Vologda State University

A.N. Sigov

Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin)

TECHNIQUE AND RESULTS OF RESEARCH OF PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS

The article discusses the methodology and results of conducting comprehensive studies of the properties of composite materials at the Department of Mechanical Engineering Technology at Vologda State University. The results of this work are the obtained dependences of the influence of the composition of the mixture of the starting material on the dimensions of the obtained samples. The research results allow to specify the specified size of the press forms for the manufacture of composite materials of various compositions.

Research, dimensional accuracy, sample, pressing, powder mixture composition.



ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В работе исследуется влияние инициативы Industrie 4.0 и отражение программного документа «Цифровая экономика Российской Федерации» на ход развития промышленного кластера Вологодской области. Рассмотрены практические примеры внедрения высокотехнологичных программных систем как в промышленном кластере, так и в машиностроительном секторе малых предприятий, а также в области услуг.

Цифровые технологии, PLM и SCADA платформы, 3D проектирование, технологическая подготовка, инженерный анализ.

В академическом исследовании «*Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies*» (Индустрия 4.0 Индекс зрелости – Управление цифровой трансформацией компаний) [1] сформулирована шестиуровневая модель, в которой анализируются требования политики в области ресурсов, в сфере информационных систем, культуры и организации производства. Основные ступени в развитии предприятия на пути к Industrie 4.0 формулируются в следующей последовательности:

1. Компьютеризация (*Computerisation*).

Компьютеризация предполагает обеспечение цифровыми средствами управления всех подразделений производства.

2. Сетевое взаимодействие (*Connectivity*).

В рамках этой ступени отдельные технологии соединяются в общую информационную среду. Сетевое взаимодействие обеспечивает объединение процедур автоматизированного проектирования и производства CAD/CAM/CAPP/CAE со средствами управления технологическими процессами MES (Manufacturing Execution System) и позволяет построить логику взаимодействия подразделений и дистанционного обслуживания.

3. Обозримость (*Visibility*).

Условие предполагает создание виртуального двойника предприятия. Наличие цифрового отображения, связанного с системами PLM (Product Lifecycle Management), ERP (Enterprise Resource Planning) и MES, позволяет контролировать деятельность предприятия в реальном времени и принимать логически обоснованные решения в условиях быстро изменяющейся ситуации. Реализация этого этапа сопровождается проблемой сбора большого объема достоверных данных.

4. Прозрачность (*Transparency*).

Это требование предусматривает связь цифрового отображения с аналитическими системами, оперирующими большими данными, и получение новых знаний.

5. Прогнозирование (*Predictive capacity*).

В этом разделе используются адаптированные к производству технологии математического и имитационного моделирования, прогноз-корректорная аналитика.

6. Адаптивность (*Adaptability*).

Ступень предполагает способность к прогнозированию, что открывает пути по автоматизации функций, связанных с адаптацией производства к изменяющимся внешним условиям.

Достижения каждой ступени позволяют получить конкурентные преимущества в области производства товаров и услуг для предприятий, работающих в цифровой среде. Чтобы приобрести эти качества, необходимо создать многофункциональные, постоянно расширяющиеся базы данных.

Инициатива Industrie 4.0 затрагивает интересы общества в целом, поэтому должна рассматриваться в техническом и социокультурном аспектах, а также с учетом демографических и других вызываемых ею изменений.

Промышленность 4.0, базирующаяся на цифровых технологиях, дает эффект ускорения процессов в разработке, производстве и маркетинге, а также способна реализовать разнообразные экономические модели. Быстрые изменения в реальном времени являются основными стратегическими атрибутами предприятий в Industrie 4.0. Интеграция информационно-коммуникационных технологий в промышленном производстве дает толчок к новым видам и способам работ, требует преобразования организации и культуры производства.

Государственная Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», отражая мировые тренды, предусматривает реализацию ускоренной политики по созданию необходимых условий для развития цифровой экономики. Новые вызовы являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности, повышают конкурентоспособность, качество жизни, обеспечивают экономический рост и национальный суверенитет [2].

Все направления развития цифровой среды и ключевых институтов опираются на поддержку развития уже существующих условий для возникновения прорывных и перспективных сквозных цифровых платформ и технологий, а также ориентированы на создание условий для возникновения новых продуктов. К числу сквозных цифровых технологий, входя-

щих в рамки Программы, относятся: большие данные; новые производственные технологии; промышленный интернет; компоненты робототехники и сенсорики.

С учетом целей и задач развития цифровой экономики в РФ формируется система управления, которая включает представителей всех социальных и общественных групп. Одной из сторон системы управления является поддержка «стартапов» и субъектов малого и среднего предпринимательства в области разработки и внедрения цифровых технологий путем их информационного насыщения (обучения новым бизнес-моделям, навигации в системе управления, координации с другими участниками и т.д.) и инвестиционной политики (финансовой поддержки, создания специальных правовых и налоговых условий, переориентации институтов развития, создания новых способов поддержки и др.).

В перечне условий по достижению запланированных характеристик цифровой экономики к 2024 году указан такой показатель, как успешное функционирование не менее 500 малых и средних предприятий в сфере создания цифровых технологий и платформ, а также оказания цифровых услуг. Предусмотрены меры по реформированию системы профессионального образования и подготовке компетентных специалистов для цифровой экономики.

Для управления развитием цифровой экономики формируется «дорожная карта», в которой выделены три этапа развития по основным направлениям. Она включает описание целей, ключевых этапов и задач Программы, а также сроков их достижения. План содержит описание мероприятий, необходимых для достижения конкретных ступеней Программы и предполагает его ежегодное обновление. По итогам разделов предусмотрено достижение целевого состояния по каждому из направлений.

Управление развитием цифровой экономики невозможно без согласования интересов всех заинтересованных в развитии сторон и объединения организационных, трудовых, финансовых ресурсов государства и бизнеса.

Отражением Программы «Цифровая экономика Российской Федерации» на региональном уровне являются сформулированные в основных задачах департамента экономического развития Вологодской области положения:

- разработка и обеспечение реализации мер поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства на территории области;
- обеспечение развития научной, научно-технической деятельности на территории области в целях совершенствования форм интеграции науки и производства, реализации достижений науки и техники.

Промышленный кластер Вологодской области активно реализует высокотехнологичные цифровые продукты как в сфере управления, так и непосредственно в производственном секторе и услугах. Среди примеров можно отметить внедрение аппаратно-цифровой платформы на базе концепции SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) в промышленную эксплуатацию при работе доменной печи №5 (ПАО «Северсталь», г. Череповец) и автоматизацию технологических процессов (АСУТП) контроля уста-

новки придоменной грануляции шлака, осуществляющей мониторинг технологического процесса грануляции продукта доменного производства. В рамках модернизации домны № 2 ПАО «Северсталь» реконструирована система контроля охлаждения доменной печи и блока воздухонагревателей. АСУТП контролирует температуру кожуха доменной печи, температуру кожухов четырех воздухонагревателей и штуцеров горячего дутья, температуру кожуха печи в районе лётки, вырабатывает аварийную сигнализацию по превышению температурных границ на световое табло и на контроллер управления работой доменной печи. На предприятии «Северсталь-Метиз» (г. Череповец) внедрена АСУТП мельниц сухого размола силикокальция, в компании ООО «Теплоэнергоавтоматика» (г. Вологда) – для системы телеметрии объектов МУП «Вологдагортеплосеть».

Аппаратная составляющая АСУТП представлена датчиками физических величин, контроллерами нижнего и верхнего уровней, станциями управления и сервером. В качестве средств связи выступают оптоволоконные кабели, либо Интернет. Программная часть поддерживается управляющей SCADA-платформой, в качестве которой могут выступать такие оболочки, как TRACE MODE, In Touch и др. Последние представляют интегрированный инструмент для программирования контроллеров (Softlogic), разработки операторского интерфейса, управления производственными заданиями (MES), управления персоналом (HRM – Human Resources Management) и основными фондами (EAM – Enterprise Asset Management).

Идеология SCADA ориентирована АСУТП в широком спектре управления и требований. Информационная часть платформы позволяет:

- принимать в реальном времени и архивировать информацию о теплотехнических параметрах и нагрузках;
- контролировать значения уставок защиты;
- реализовать защиты и блокировки технологического оборудования;
- вести отчет тревог о достижении текущими значениями параметров регламентных и аварийных границ;
- реализовывать сложные алгоритмы управления;
- контролировать и оповещать о сроках регламентных работ и о наступлении предельных сроков эксплуатации;
- визуализировать ход технологического процесса предприятия в реальном времени.

Внедрение системы телеметрии на основе SCADA позволяет вести мониторинг удаленных объектов и проводить управление их режимом из диспетчерских пунктов.

Машиностроительный сектор Северо-Западного региона последовательно реализует внедрение цифровых технологий на основе САПР продуктов. Комплексное применение идеологии CAD/CAM/CAPP/CAE находится в стадии становления, хотя отдельные его компоненты нашли широкое применение на предприятиях всех уровней.

Основным содержанием цифрового конструкторско-технологического направления являются: проектирование в 3D формате, автоматизированная техно-

логическая подготовка, инженерный анализ конструкции.

На этапе конструкторской подготовки уточняется общая компоновка, кинематические связи и состав будущего изделия из условия унификации и максимального использования стандартных узлов. В рамках этого раздела САД-платформа дает возможности создать и редактировать 3D модели всех деталей и в ито-

ге сформировать рабочие чертежи с изображением необходимых проекций, сечений, разрезов, а также сборочные единицы [3].

Примеры использования САД-технологии в формате 3D при проектировании низкопольного троллейбуса представлены на рис. 1–3, при проектировании установки обеззараживания воды – на рис. 4.

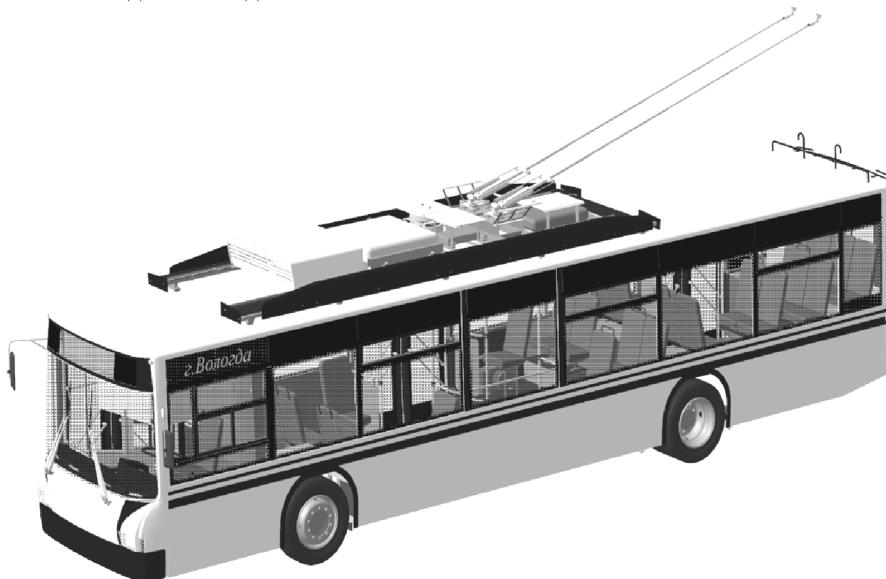


Рис. 1. Цифровая модель низкопольного троллейбуса

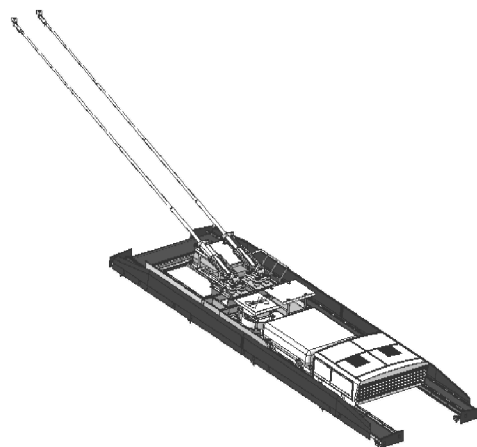
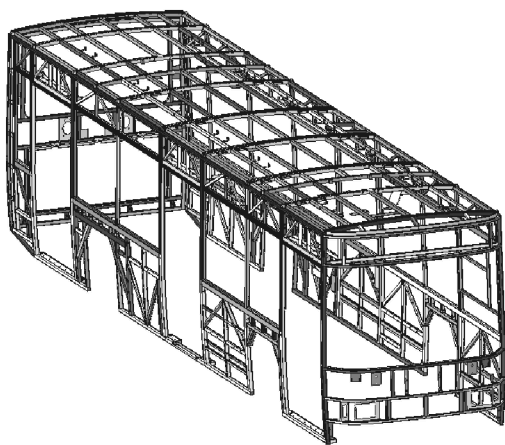


Рис. 2. Цифровые модели сборочных единиц «Каркас» и «Крыша» низкопольного троллейбуса

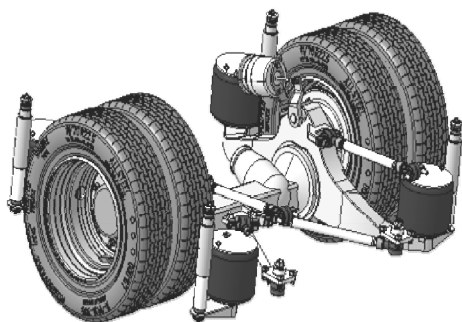


Рис. 3. Цифровая модель сборочной единицы «Шасси заднее» низкопольного троллейбуса

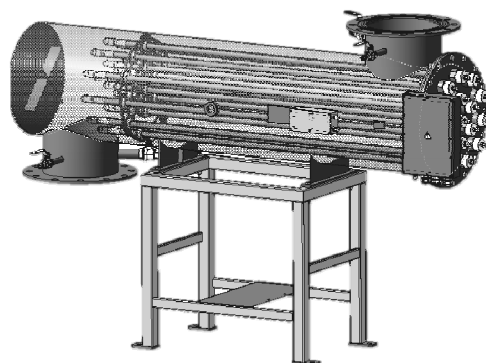


Рис. 4. Цифровая модель установки обеззараживания воды

Программный функционал дает возможность увидеть будущее изделие в объеме и в различных проекциях, придать ему реалистичное изображение в соответствии с заданным материалом для предварительной оценки конструкторских и дизайнерских решений.

Второй этап подготовки производства состоит в разработке на базе САПР ТП технологических процессов. В функции единой системы технологической подготовки производства входит обеспечение технологичности деталей и конструкции изделия в целом [4]. В ходе работы САПР ТП поддерживает связь с групповыми и типовыми технологическими процессами. На этой основе модернизируются технологии изготовления деталей и разрабатываются новые под возможности имеющегося оборудования, назначаются инструментальные средства, выбираются материал и вид заготовок, рассчитываются трудовые нормативы.

Разработка программ ЧПУ для металлообрабатывающих станков и центров осуществляется в специализированных приложениях. Работа с САМ платформой предполагает выбор инструмента, назначенного в базах данных САПР ТП, и, задавая траекторию режущего инструмента, получение требуемого продукта. Функционал платформы позволяет оценить время, затраченное на станочные операции, и выйти на итоговое время металлообработки.

Визуализация процесса механообработки в форме имитации траектории режущего инструмента с учетом перемещений всех исполнительных и вспомогательных органов дает возможность выявить ошибки и коллизии. Постпроцессорная обработка позволяет получить готовую программу обработки детали для конкретной стойки станка ЧПУ. На рис. 5 показана имитация траектории режущего инструмента при обработке детали «Оправа».

Инженерный анализ опирается на компьютерное моделирование и позволяет спрогнозировать поведение отдельных деталей и конструкции в целом как в рабочем режиме, так и в экстремальных условиях. Полный объем исследований, предоставляемых пользователю в САЕ модулях, достаточно широк, однако, как правило, в качестве первоначального этапа выполняется статический расчет. В перечень возможных видов анализа входят

следующие опции: статический расчет деталей и сборок, устойчивость и тепловые явления.

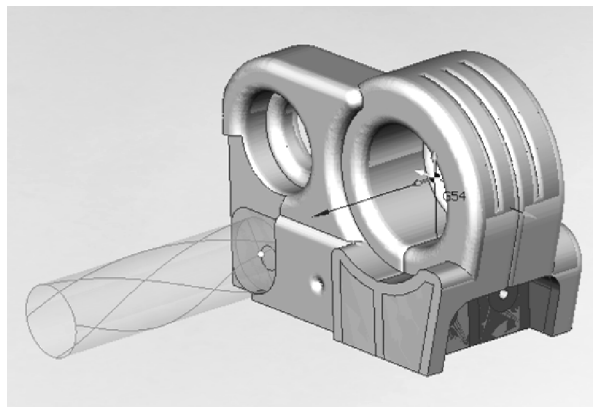


Рис. 5. Визуализация процесса обработки на ЧПУ детали «Оправа»

На рис. 6 представлен результат моделирования движения потока воды при нестационарном заполнении резервуара ультрафиолетовой обработки.

Результатом расчета является графический отчет с изображением формы детали после эксперимента, распределения сил и перемещений, дополненных цветовой шкалой со значениями параметров. Цветовая легенда позволяет определить зоны максимальных значений параметров исследования и сделать выводы о прочностных характеристиках конструкции (рис. 6) [4, 5].

Взаимосвязь цифровых машиностроительных продуктов отражается в PLM платформе [6], где формируются состав дерева изделия. Структура содержит модели, чертежи, описания технологий, сопровождающие документы, а также атрибутивную информацию. В созданной базе данных спроектированное изделие сохраняется как виртуальный прототип, с которым связаны детали и узлы, присутствующие в разработке. Цифровой набор документов является основой дальнейших модификаций изделия, условием организации коллективной работы над проектом [6], а также выступает средством согласования всех звеньев в цепи: заказчик – разработчики – производитель – поставщики – потребители.

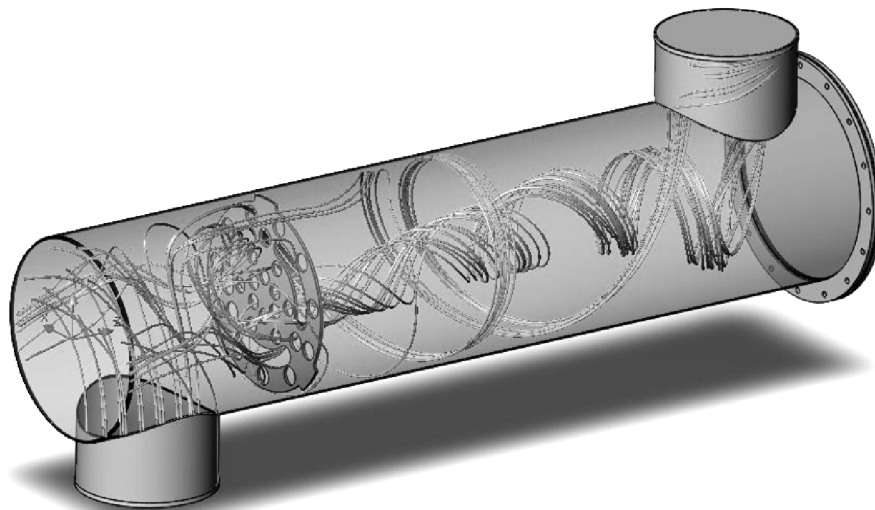


Рис. 6. Визуализация движения потока при нестационарном заполнении резервуара ультрафиолетовой обработки воды

Выводы

Проникновение цифровых технологий в деятельность предприятий находит отражение во внедрении и активном использовании SCADA и PLM систем. Это позволяет обнаружить влияние инициативы Industrie 4.0 и выполнение требований документа «Цифровая экономика Российской Федерации» на развитие промышленного кластера Вологодской области. Использование высокотехнологичных программных платформ отражает направление в развитии предприятий нового типа.

Реализация программы импортозамещения дает дополнительный импульс в развитии и продвижении отечественных высокотехнологичных программных продуктов, а также созданных на базе совместных фирм.

Атрибутом повседневной практики стали цифровые технологии в сфере услуг и быта. В среднем по стране 37,7% оборота розничной торговли и услуг населения проходит по банковским картам. В категорию услуг входят такие виды обслуживания, как транспортные услуги, связь, ЖКХ и др. В 2017 году по картам, эмитированным в РФ, было оплачено товаров и услуг на 16,067 трлн рублей. Политика цифровизации находит отражение на всех уровнях взаимодействия личность–социум–материальное производство.

Литература

1. The National Academy of Science and Engineering of Germany [Электронный ресурс]: Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies / Günther Schuh, Reiner

Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel, Wolfgang Wahlster [eds.]. – Режим доступа: https://en.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf.

2. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р // Техэксперт: инф.-справ. система / Консорциум «Кодекс».

3. Булавин, В. Ф. Валидация CAD-продуктов в малых предприятиях машиностроительного сектора / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – № 5 (325). – С. 64–75.

4. Булавин, В. Ф. Цифровые технологии в малом бизнесе машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев // САПР и графика. – 2018. – № 6. – С. 52–55.

5. Булавин, В. Ф. Инженерный анализ и новые технологии в методе конечных элементов / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 2 (328). – С. 109–120.

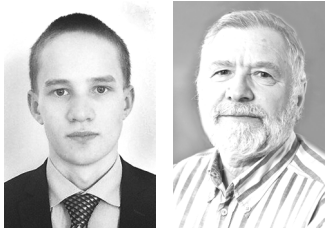
6. Булавин, В. Ф. PLM-стратегия в мелкосерийном производстве машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, В. А. Глазков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – № 8. – С. 37–49. – DOI: 10.18698/0536-1044-2018-8-37-49.

V.F. Bulavin, A.S. Stepanov, V.V. Yakhrichiev
Vologda State University

DIGITAL TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

The paper examines the impact of the Industry 4.0 initiative and “Digital Economy of the Russian Federation” program document on the development of the industrial cluster of Vologda region. Practical examples of the introduction of high-tech software systems both in the industrial cluster and in the machine-building sector of small enterprises, as well as in the sphere of services are considered.

Digital technologies, PLM and SCADA platform, 3D design, technological preparation, engineering analysis.



А.А. Колотов, Б.Я. Бендерский
Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова

СПЕЦИАЛЬНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ (СТС С ГСУ)

Автором предлагается разработанный эскизный проект специального транспортного средства, который позволяет создать установку, облагораживающую город: одновременно убирающую мусор с улиц и путей, окашивающую территории, не загрязняя при этом атмосферу благодаря гибридной силовой установке.

Научная новизна предлагаемых в проекте решений: гибридная силовая установка и двойная ходовая часть.

Транспорт, трамвайные пути, улицы, гибридная установка, двойная ходовая часть, полный привод, экология.

На сегодняшний день в городе Ижевске эксплуатируется сеть трамвайных путей протяжённостью 75,5 километров. В них включены 69 остановок, очистку территорий которых осложняет рельеф и ограниченность подъезда: он в большинстве мест возможен только с путей. Площадь города составляет 315 км², 65% площади – это дворовые территории, уборка которых представляет собой весьма трудоёмкий процесс.

Население города ежедневно выбрасывает тонны отходов, 9% которых остаются на газоне, проезжей части, дворах и межрельсовом пространстве. Этот мусор представляет собой мелкую фракцию – окурки, пачки из-под сигарет, пакеты, фантики, чеки, мелкая тара весом не более 200 грамм.

В настоящее время в Ижевске производится уборка мелкой фракции мусора в таких труднодоступных местах, как остановки, узкие тротуары, зоны жилых домов, парки и т.д., при помощи ручного труда. А проезжую часть и более широкие пешеходные дорожки чистят подметальными и подметально-уборочными машинами, основной недостаток которых – поднимаемая пыль в процессе работы. Также у данной техники есть ещё один ярко выраженный недостаток – это дизельный двигатель внутреннего сгорания с несоответствующими экологическими требованиями на сегодняшний день.

В связи со сформулированной выше проблемой предлагается рассчитать, спроектировать, собрать и испытать специальное транспортное средство, предназначенное для уборки территорий при помощи вакуумной установки, расположенной на двойной ходовой части и приводящейся в действие гибридным силовым агрегатом (СТС с ГСУ).

Проектируемое транспортное средство будет отвечать следующим техническим параметрам:

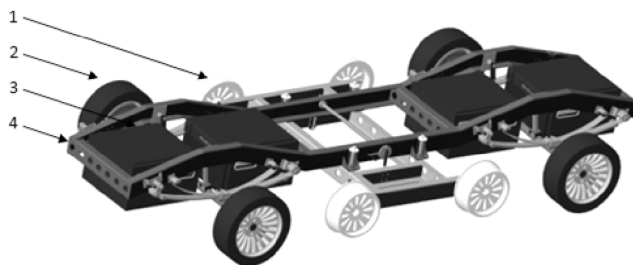
- количество мест – 2;
- привод специального транспортного средства – электродвигатели в каждом колесе;
- запас хода на аккумуляторных батареях – 30 мин;
- суммарная мощность – 80 кВт;
- снаряжённая масса ТС – 1000 кг;
- габариты – 5000/1700/1200 мм д/ш/в;
- максимальная скорость – 80 км/ч.

Оснащён:

- двойной ходовой частью;
- гибридной силовой установкой;
- вакуумной установкой;
- отопителем стрелок;
- возможна установка различного навесного оборудования (например, дефектоскопы, снегоуборочные агрегаты и другая аппаратура).

Существуют отдельно рельсовые и отдельно колёсные машины, предназначенные для очистки территорий, функционирующие как на двигателе внутреннего сгорания, так и приводящиеся в действие от электромоторов (рельсовые машины) [1]. Однако среди них нет такого транспортного средства, которое объединяло бы в себе оба параметра, было бы максимально экологично для окружающей среды, а также выполняло бы функции по уборке мусора и окашиванию территорий с максимальной производительностью.

Новизна проекта заключается в объединении конструкций для позволения перемещения на различных покрытиях за счёт двойной ходовой части и комбинировании силовых агрегатов для обеспечения максимальной экологической составляющей проекта.



*Рис. 1. Двойная ходовая часть:
1 – железнодорожная тележка; 2 – мотор-колесо;
3 – блоки кислотных батарей;
4 – рама из композиционных материалов*

Двойная ходовая часть (рис. 1) представляет собой рамную конструкцию, изготовленную из композиционных материалов. На раму монтируется рессорная подвеска. Привод осуществляется электрически-

ми мотор-колесами, суммарная мощность которых составляет 80 кВт. Основная идея двойной ходовой части заключается в обеспечении движения по трамвайным путям городской сети. Для этого на раме установлена быстро разворачиваемая железнодорожная тележка, функцией которой является задание направления движения автомобиля по железнодорожным путям. В такой комплектации и габаритах автомобиль способен проходить повороты радиусом 20 метров не сходя с рельс.

В СТС с ГСУ используются в качестве механизма, приводящего в движение электрические моторы, которые установлены в каждом колесе. Питание электродвигатели получают от блока аккумуляторных кислотных батарей (АКБ), который, в свою очередь, питается от дизельного генератора, установленного на раме автомобиля. При движении по линии трамвайных путей питание поступает от токоёмника через понижающий трансформатор. Гибридность привода автомобиля представляет собой двойной способ питания блока АКБ. Как упоминалось ранее, суммарная мощность четырёх моторов (рис. 2) составляет 80 кВт. Мотор работает по принципу асинхронного двигателя, крутящий момент создаётся магнитным полем, что позволяет создать силу тяги в 5000 Н [2]. Данной силы достаточно для перемещения СТС по пересечённой местности с различным рельефом и углом наклона до 30°.

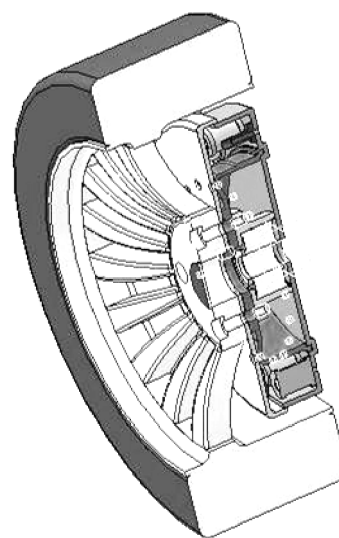


Рис. 2. Мотор-колесо

Общая компоновочная схема установки без детальной проработки представлена на рис. 3. В такой комплектации с представленным расположением узлов создается равное распределение нагрузки на раму, что обеспечивает дополнительную устойчивость. Многозавальный бак для мусора имеет мешкообразную форму, складывается в диск и помещается в специальный отсек для хранения.

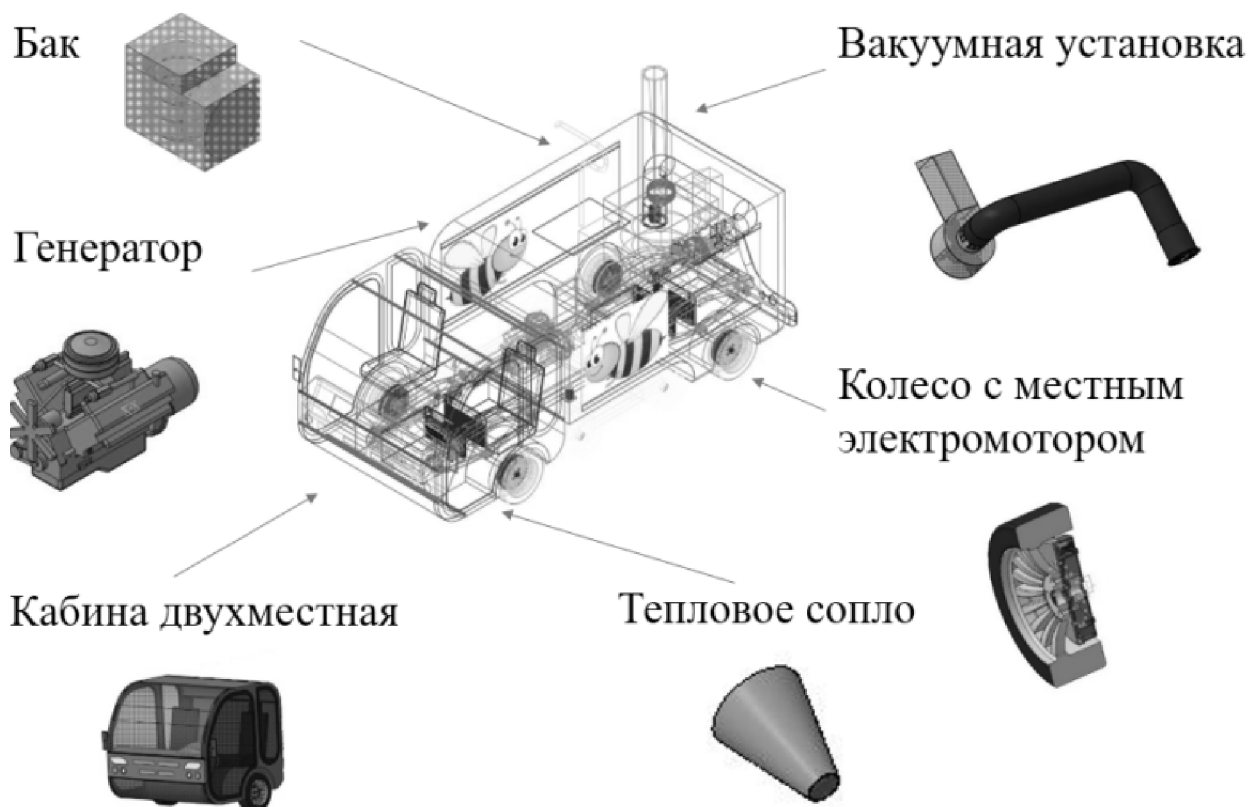


Рис. 3. Компоновка транспортного средства

Кабина водителя имеет увеличенный угол обзора и оснащена дополнительным каркасом безопасности. Дизель-генератор расположен в центре рамы и имеет легкий доступ к обслуживанию. Сбор мусора осуществляется сзади автомобиля при помощи промежуточного вентилятора, установленного перед баком. После прохождения бака и ряда фильтров воздух не сбрасывается, а в холодное время года подогревается и направляется на сопло, предназначенное для отогревания стрелок железнодорожных путей.

Проектируемое транспортное средство позволит выполнять уборку территорий с применением минимальных усилий и за меньший промежуток времени вне зависимости от покрытия.

1. Классификатор типов транспортных средств международной перевозки [Электронный ресурс]: приложение № 25 к Решению Комиссии Таможенного союза от 20 сентября 2010 г. № 378 // Техэксперт: инф.-справ. система / Консорциум «Кодекс».

2. Основы электрического транспорта: учебник для студ. вузов / [М. А. Слепцов, Г. П. Долаберидзе, А. В. Прокопович и др.]; под общ. ред. М. А. Слепцова. – Москва: Академия, 2006. – 464 с.

A.A. Kolotov, B.Ya. Bendersky

Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov

SPECIAL VEHICLE WITH HYBRID PROPULSION SYSTEM (SV WITH HPS)

The author developed a draft of a special vehicle which allows to create the installation improving the city by simultaneously cleaning wastes from the streets, ways and mowing around the areas without polluting the atmosphere thanks to the hybrid power plant.

The scientific novelty of the solutions being suggested in the project includes hybrid propulsion system and dual running gear.

Transport, tram tracks, streets, hybrid system, dual running gear, four-wheel drive, ecology.



ВЫБОР СИСТЕМ ОТСЧЕТА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖУЩИМИСЯ ИНЕРТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Показано, что при равномерном и прямолинейном движении двух, трех или нескольких свободных инертных тел в одномерном или трехмерном пространстве произвольные инерциальные системы отсчета, в том числе связанные с каждым из движущихся инертных тел, существенно не эквивалентны в части суммарной кинетической энергии, при этом ни одна из этих систем отсчета не представляется уникальной, или выделенной. При необходимости выбора уникальной, или выделенной, инерциальной системы отсчета можно исходить из условия минимума суммарной кинетической энергии движущихся инертных тел в этой системе. При этом уникальной, или выделенной, инерциальной системой отсчета является реликтовая система отсчета, связанная с центром масс движущихся инертных тел и с эпицентром их начального гипотетического взаимодействия. Реликтовые системы отсчета являются расчетными. Тела не обязательно изначально в них взаимодействуют. Применение реликтовых систем отсчета позволяет сохранить баланс между кинетической энергией и произведенной работой. Число инертных тел при расчете реликтовой системы отсчета может быть сколь угодно большим.

Тело, движение, инерциальная система отсчета, кинетическая энергия, центр масс.

Пусть два свободных тела с массами m_1 и m_2 движутся друг относительно друга с постоянной скоростью v .

В инерциальной системе отсчета, связанной с первым телом, суммарная кинетическая энергия тел равна

$$E_{112} = E_{11} + E_{12} = 0 + \frac{m_2 v^2}{2}. \quad (1)$$

В инерциальной системе отсчета, связанной со вторым телом, суммарная кинетическая энергия тел равна

$$E_{212} = E_{21} + E_{22} = \frac{m_1 v^2}{2} + 0. \quad (2)$$

В произвольной (третьей) инерциальной системе отсчета первое тело движется со скоростью v_1 , второе – со скоростью $v_2 = v_1 - v$.

В третьей системе отсчета суммарная кинетическая энергия равна

$$E_{312} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 (v_1 - v)^2}{2}. \quad (3)$$

В части кинетической энергии (1), (2), (3) все три инерциальные системы отсчета существенно не эквивалентны. При этом ни одна из них не представляется уникальной.

При необходимости выбора уникальной инерциальной системы отсчета [1–5] можно исходить из условия минимума величины (3), который определяется следующим образом:

$$\frac{d(E_{312})}{dv_1} = m_1 v_1 + m_2 v_1 - m_2 v = 0. \quad (4)$$

Скорости тел в уникальной системе отсчета равны

$$v_1 = \frac{m_2}{m_2 + m_1} v, \quad v_2 = -\frac{m_1}{m_2 + m_1} v. \quad (5)$$

Взаимодействие двух тел в R^1 . Пусть нулевая (реликтовая) инерциальная система отсчета связана с центром масс двух тел, неподвижных относительно нее и друг друга.

После взаимодействия (например, взрыва) тела имеют количество движения [6–10]:

$$m_1 v_1 = -m_2 v_2 = -m_2 (v_1 - v).$$

Это выражение идентично (4).

Таким образом, уникальной инерциальной системой отсчета является реликтовая, связанная с центром масс тел и с эпицентром взаимодействия, в которой скорости тел после взаимодействия определяются выражениями (5).

О выборе инерциальной системы отсчета для трех свободных тел в R^1 .

Пусть три свободных тела с массами m_1 , m_2 и m_3 движутся друг относительно друга с постоянными скоростями v_{12} , v_{13} и v_{23} . При этом $v_{23} = v_{13} - v_{12}$.

В произвольной (четвертой) инерциальной системе отсчета первое тело движется с постоянной скоростью v_1 , второе – со скоростью $v_2 = v_1 - v_{12}$, третье – со скоростью $v_3 = v_1 - v_{13}$.

В четвертой системе отсчета суммарная кинетическая энергия равна

$$E_{4123} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 (v_1 - v_{12})^2}{2} + \frac{m_3 (v_1 - v_{13})^2}{2}. \quad (6)$$

Минимум величины (6) определяется следующим образом:

$$\frac{d(E_{4123})}{dv_1} = m_1 v_1 + m_2 v_1 - m_2 v_{12} + m_3 v_1 - m_3 v_{13} = 0. \quad (7)$$

Скорости тел в уникальной системе отсчета равны

$$v_1 = \frac{m_2 v_{12} + m_3 v_{13}}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad (8)$$

$$v_2 = \frac{m_3 v_{13} - m_1 v_{12} - m_3 v_{12}}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{m_3 v_{23} - m_1 v_{12}}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad (9)$$

$$v_3 = \frac{m_2 v_{12} - m_1 v_{13} - m_2 v_{13}}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{-m_1 v_{13} - m_2 v_{23}}{m_1 + m_2 + m_3}. \quad (10)$$

Взаимодействие трех тел в R^1 . Пусть нулевая (реликтовая) инерциальная система отсчета связана с центром масс трех тел, неподвижных относительно нее и друг друга.

После взаимодействия тела имеют количество движения

$$\begin{aligned} & m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_3 v_3 = \\ & = m_1 v_1 + m_2 (v_1 - v_{12}) + m_3 (v_1 - v_{13}) = 0. \end{aligned}$$

Это выражение идентично (7).

Таким образом, уникальной инерциальной системой отсчета является реликтовая, связанная с центром масс тел и с эпицентром взаимодействия, в которой скорости тел после взаимодействия определяются выражениями (8)–(10).

Полученный вывод легко обобщается на любое, сколь угодно большое число тел.

О выборе инерциальной системы отсчета для трех свободных тел в R^3 .

Пусть три свободных тела движутся друг относительно друга с постоянными скоростями \mathbf{V}_{12} , \mathbf{V}_{13} и \mathbf{V}_{23} . При этом $\mathbf{V}_{23} = \mathbf{V}_{13} - \mathbf{V}_{12}$.

В произвольной (четвертой) инерциальной системе отсчета первое тело движется с постоянной скоростью \mathbf{V}_1 , второе – со скоростью $\mathbf{v}_2 = \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_{12}$, третье – со скоростью $\mathbf{v}_3 = \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_{13}$.

В четвертой системе отсчета суммарная кинетическая энергия равна

$$\begin{aligned} E_{4123} &= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{12})^2}{2} + \frac{m_3 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{13})^2}{2} = \\ &= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 (v_1^2 - 2v_1 v_{12} \cos \varphi_{112} + v_{12}^2)}{2} + \\ &+ \frac{m_3 (v_1^2 - 2v_1 v_{13} \cos \varphi_{113} + v_{13}^2)}{2}, \quad (11) \end{aligned}$$

здесь φ_{ij} – угол между векторами \mathbf{v}_i и \mathbf{v}_{ij} .

Минимум величины (11) определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{d(E_{4123})}{dv_1} &= m_1 v_1 + m_2 v_1 - m_2 v_{12} \cos \varphi_{112} + \\ &+ m_3 v_1 - m_3 v_{13} \cos \varphi_{113} = 0. \quad (12) \end{aligned}$$

Взаимодействие трех тел в R^3 . Пусть нулевая (реликтовая) инерциальная система отсчета связана с центром масс трех тел, неподвижных относительно нее и друг друга.

После взаимодействия тела имеют количество движения

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{12}) + m_3 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{13}) = 0$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} + m_2 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{12}) \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} + m_3 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{13}) \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} = 0.$$

Это выражение идентично (12).

Таким образом, уникальной инерциальной системой отсчета является реликтовая, связанная с центром масс тел и с эпицентром взаимодействия, в которой скорости тел после взаимодействия определяются выражениями

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1 &= \frac{m_2 \mathbf{v}_{12} + m_3 \mathbf{v}_{13}}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad \mathbf{v}_2 = \frac{m_3 \mathbf{v}_{23} - m_1 \mathbf{v}_{12}}{m_1 + m_2 + m_3}, \\ \mathbf{v}_3 &= \frac{-m_1 \mathbf{v}_{13} - m_2 \mathbf{v}_{23}}{m_1 + m_2 + m_3}. \end{aligned}$$

О выборе инерциальной системы отсчета для произвольного числа свободных тел в R^3 .

Пусть произвольное число n свободных тел с массами $m_1, \dots, m_i, \dots, m_n$ движутся друг относительно друга с постоянными скоростями $\mathbf{V}_{12}, \dots, \mathbf{V}_{ij}, \dots, \mathbf{V}_{(n-1)n}$.

При этом $\mathbf{v}_{ij} = \mathbf{v}_{1j} - \mathbf{v}_{1i}$.

В произвольной $(n+1)$ -й инерциальной системе отсчета первое тело движется с постоянной скоростью \mathbf{V}_1 , i -е – со скоростью $\mathbf{v}_i = \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_{1i}$, n -е – со скоростью $\mathbf{v}_n = \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_{1n}$.

В $(n+1)$ -й системе отсчета суммарная кинетическая энергия равна

$$\begin{aligned} E_{(n+1)1+n} &= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \sum_{i=2}^n \frac{m_i (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1i})^2}{2} = \\ &= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \sum_{i=2}^n \frac{m_i (v_1^2 - 2v_1 v_{1i} \cos \varphi_{11i} + v_{1i}^2)}{2}. \quad (13) \end{aligned}$$

Минимум величины (13) определяется следующим образом:

$$\frac{d(E_{(n+1)1+n})}{dv_1} = m_1 v_1 + \sum_{i=2}^n (m_i v_1 - m_i v_{1i} \cos \varphi_{11i}) = 0. \quad (14)$$

Взаимодействие произвольного числа тел в R^3 . Пусть нулевая (реликтовая) инерциальная система отсчета связана с центром масс произвольного числа n свободных тел, неподвижных относительно нее и друг друга.

После взаимодействия тела имеют количество движения

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n m_i \mathbf{v}_i &= m_1 \mathbf{v}_1 + \sum_{i=2}^n m_i (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1i}) = 0, \\ m_1 \mathbf{v}_1 \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} &+ \sum_{i=2}^n m_i (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1i}) \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} = 0. \end{aligned}$$

Это выражение идентично (14).

Таким образом, уникальной инерциальной системой отсчета является реликтовая, связанная с центром масс тел и с эпицентром взаимодействия. При этом

$$\mathbf{v}_1 = \frac{\sum_{i=2}^n m_i \mathbf{v}_{1i}}{\sum_{i=1}^n m_i}.$$

Заключение

Реликтовые системы отсчета являются расчетными. Тела не обязательно изначально в них взаимодействуют.

Число тел при расчете реликтовой системы отсчета может быть сколь угодно большим.

Литература

1. Попов, И. П. Метод определения скорости волнового электромагнитного импульса / И. П. Попов // Вопросы естествознания. – 2018. – № 1 (15). – С. 23–26.
2. Попов, И. П. Метод определения векторного произведения двух векторов в многомерном пространстве / И. П. Попов // Вопросы естествознания. – 2017. – № 2 (14). – С. 43–50.
3. Попов, И. П. Об одном условии, позволяющем определить векторное произведение двух векторов в R^n / И. П. Попов // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2018. – № 1. – С. 11–17. – DOI 10.31040/2222-8349-2018-0-1-11-17
4. Попов, И. П. Операторы типа набла: поверхностный, нулевой и мнимый нулевой / И. П. Попов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Математика. Физика. – 2017. – № 6 (255), вып. 46. – С. 44–53.
5. Попов, И. П. Скалярное и векторное дифференцирование векторов / И. П. Попов // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. – 2016. – № 3 (34). – С. 19–27. – DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu1.2016.3.2>
6. Попов, И. П. Степенной ряд мер механического движения / И. П. Попов // Ученые записки Орловского государственного университета. Естественные, технические и медицинские науки. – 2014. – № 6 (62). – С. 37–39.
7. Попов, И. П. О мерах механического движения / И. П. Попов // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2014. – № 3 (26). – С. 13–15.
8. Попов, И. П. Меры механического движения с различными степенями скорости / И. П. Попов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2018. – № 1 (33). – С. 49–53.
9. Попов, И. П. Формальное волновое преобразование уравнения прямолинейного равномерного движения инертного тела / И. П. Попов // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. – 2014. – Вып. 1. – С. 58–61.
10. Попов, И. П. Волновые уравнения и меры движения / И. П. Попов // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. – 2014. – Вып. 2. – С. 30–33.

I.P. Popov

Kurgan State University

CHOICE OF COUNTING SYSTEMS IN THE PROBLEMS OF MANAGING THE MOVING INERT OBJECTS

It is shown that for uniform and rectilinear motion of two, three or several free inert bodies in one-dimensional or three-dimensional space, arbitrary inertial frames of reference, including those associated with each of the moving inert bodies, are not substantially equivalent in the part of the total kinetic energy. In this case, none of these frames of reference is not unique or distinguished. If it is necessary to choose a unique or selected inertial reference frame, one can start from the condition of a minimum of the total kinetic energy of the moving inert bodies in this system. In this case, a unique or distinguished inertial reference system is a relict reference frame connected with the center of masses of the moving inert bodies and with the epicenter of their initial hypothetical interaction. Relict systems of reference are calculated. The bodies do not necessarily interact with them in the first place. The use of relict reference systems allows you to maintain a balance between kinetic energy and the work done. The number of inert bodies in calculating the relict frame of reference can be arbitrarily large.

Body, motion, inertial reference system, kinetic energy, center of mass.



РОТОРНО-ЛИНЕЙНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Представленное в статье теоретическое обоснование и математическое описание показывает принцип работы реактивного движения механической системы, масса которой не изменяется, что открывает перспективы дальних космических полетов. Приведено доказательство существования роторно-линейного движителя и варианты возможной практической реализации конструкции.

Реактивный, роторный, движитель, момент, импульс.

Применение ракет с реактивным двигателем принципиально ограничено массой вещества, которое они должны нести для того, чтобы безвозвратно исторгнуть, сообщив ему количество движения, которое не утилизируется. Именно количество движения самой ракеты по этой причине и является ограниченным. Главная проблема ракеты в этом смысле состоит в необходимой утрате вещества. Реактивный роторный движитель не имеет этой проблемы.

Эквивалентное или роторное количество движения. Пусть активный объект (на рис. 1 справа) разви-

вает постоянную силу F и приобретает количество движения [1–5]:

$$p_{lin} = -Ft = mv. \quad (1)$$

Активный объект посредством троса передает барабану импульс

$$p_r = Ft = m_r v_r. \quad (2)$$

При этом $p_r = -p_{lin}$ или $m_r v_r = -mv$.

При схеме взаимодействия, изображенной на рис. 2, количество движения активного объекта попережнему равно (1).

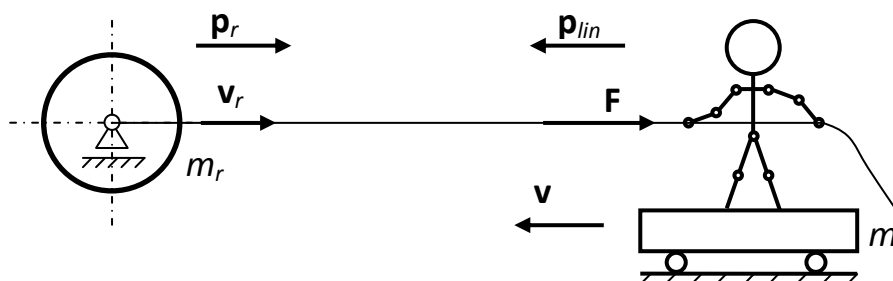


Рис. 1. Линейное количество движения

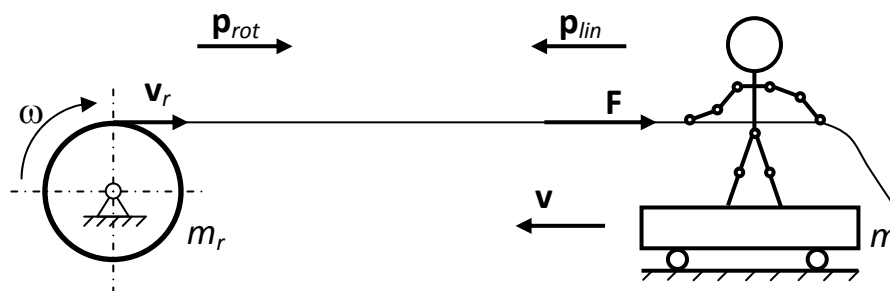


Рис. 2. Роторное количество движения

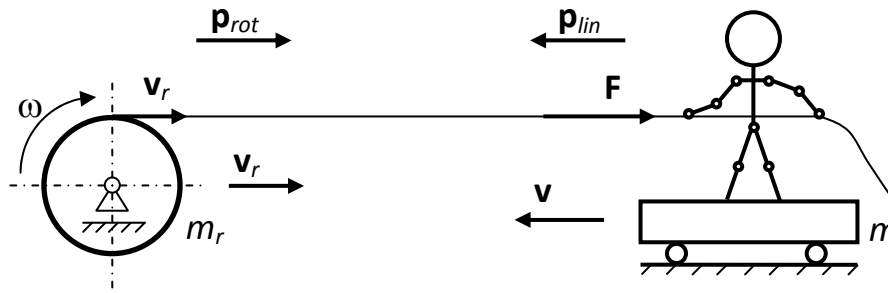


Рис. 3. Суперпозиция движений

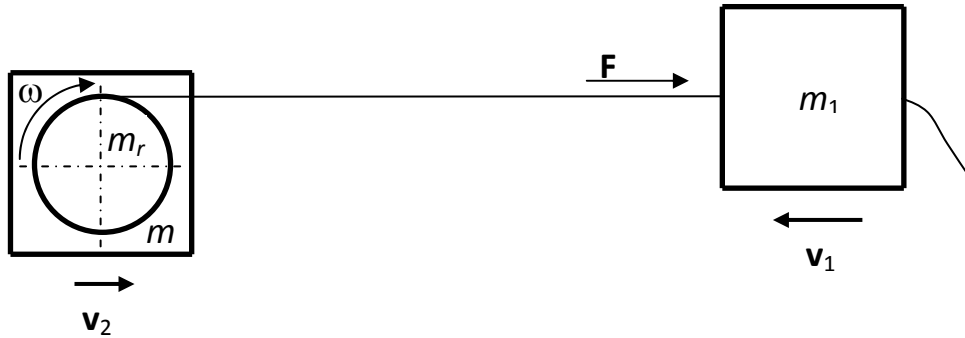


Рис. 4. Реактивный роторный движитель

Пусть радиус инерции барабана равен r . Активный объект посредством троса передает момент импульса

$$L = J\omega = r^2 m_r \frac{v_r}{r} = Ftr = p_{rot} r.$$

Здесь p_{rot} – эквивалентное или роторное количество движения:

$$p_{rot} = m_r v_r = Ft = \frac{L}{r}. \quad (3)$$

Роторное количество движения с достаточной необходимостью удовлетворяет закону сохранения количества движения

$$p_{rot} = -p_{lin} \quad \text{или} \quad m_r v_r = -mv.$$

В данном случае

$$p_{rot} = p_r = m_r v_r$$

и активный объект не чувствует разницы между двумя схемами взаимодействия. Другими словами, количество движения барабана и роторное количество движения для активного объекта неотличимы.

На рис. 3 представлена суперпозиция первой и второй схем взаимодействия.

Количество движения активного объекта равно (1).

С учетом (2) и (3) активный объект посредством троса передает импульс

$$p = Ft = p_r + p_{rot} = m_r v_r + \frac{L}{r}.$$

Теоретическая основа создания реактивного роторного движителя.

Лемма. Для ортогональных векторов \mathbf{a} и \mathbf{b} имеет место формула

$$(\mathbf{b} \times \mathbf{a}) \times \mathbf{b} = b^2 \mathbf{a}.$$

Доказательство. Известна формула [6–10]

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \times \mathbf{c} = \mathbf{b}(\mathbf{c} \cdot \mathbf{a}) - \mathbf{a}(\mathbf{c} \cdot \mathbf{b}).$$

Пусть $\mathbf{c} = \mathbf{b}$. Тогда

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \times \mathbf{b} = \mathbf{b}(\mathbf{b} \cdot \mathbf{a}) - \mathbf{a}(\mathbf{b} \cdot \mathbf{b}) = -b^2 \mathbf{a}.$$

Лемма доказана.

Теорема 1. Линейное количество движения преобразуется в роторное количество движения:

$$\mathbf{p}_{lin} = mv = \mathbf{p}_{rot} = \frac{\mathbf{L} \times \mathbf{r}}{r^2}.$$

Доказательство.

$$\mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{L},$$

$$(\mathbf{r} \times \mathbf{p}) \times \mathbf{r} = \mathbf{L} \times \mathbf{r}.$$

В соответствии с леммой

$$r^2 \mathbf{p} = \mathbf{L} \times \mathbf{r},$$

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{L} \times \mathbf{r}}{r^2}.$$

Теорема доказана.

Теорема 2. Роторный момент количества движения преобразуется в линейный момент количества движения:

$$\mathbf{L}_{rot} = J\omega = \mathbf{L}_{lin} = \frac{\rho^2}{r^2} (\mathbf{r} \times \mathbf{p}).$$

Доказательство.

$$\mathbf{v} = \omega \times \mathbf{r}.$$

В соответствии с леммой

$$\mathbf{v} \times \mathbf{r} = (\omega \times \mathbf{r}) \times \mathbf{r} = -r^2 \omega,$$

$$\omega = \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{v}}{r^2}.$$

$$\mathbf{L} = J\omega = m\rho^2 \omega = m\rho^2 \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{v}}{r^2} = \frac{\rho^2}{r^2} (\mathbf{r} \times \mathbf{p}).$$

Теорема доказана.

Теорема 3 (Теорема реактивного роторного движения). Вращательное движение элемента системы может преобразовываться в линейное движение системы.

Доказательство. Пусть свободная система состоит из двух первоначально неподвижных элементов – активного (первого) и пассивного (второго) (рис. 4). В результате взаимодействия активный элемент приобретает количество движения

$$\mathbf{p}_1 = -\mathbf{F}t = m_1 \mathbf{v}_1$$

и с учетом теоремы 1 посредством троса передает импульс

$$\mathbf{p}_2 = \mathbf{F}t = m_2 \mathbf{v}_2 + \frac{\mathbf{L} \times \mathbf{r}}{r^2}.$$

Суммарное количество движения равно

$$\begin{aligned} \mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 &= m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 + \frac{\mathbf{L} \times \mathbf{r}}{r^2} = \\ &= \mathbf{p}_{lin} + \mathbf{p}_{rot} = \mathbf{0}. \end{aligned}$$

Роторное количество движения системы равно

$$\mathbf{p}_{rot} = \frac{\mathbf{L} \times \mathbf{r}}{r^2}.$$

Линейное количество движения системы с учетом теоремы 2 равно

$$\begin{aligned} \mathbf{p}_{lin} = m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 &= \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{L}}{r^2} = \frac{\rho^2}{r^2} \mathbf{r} \times (\mathbf{r} \times \mathbf{p}_r) = \\ &= -\frac{\rho^2}{r^2} \frac{r^2 \mathbf{p}_r}{r^2} = -\frac{\rho^2}{r^2} \mathbf{p}_r \neq \mathbf{0}. \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Пример технического воплощения. Свободная система с двумя связанными элементами (реактивный роторный движитель) изображена на рис. 4.

Первый элемент (справа) развивает силу \mathbf{F} , приобретает количество движения

$$p_1 = -Ft = m_1 v_1 \quad (4)$$

и с учетом теорем 1 и 2 посредством троса передает импульс

$$\begin{aligned} p_{2r} = Ft = p_2 + p_r + \frac{L}{r} &= m_2 v_2 + m_r v_2 + \frac{L}{r} = \\ &= m_2 v_2 + m_r v_2 + \frac{1}{r} \frac{\rho^2 p_r}{r} = \\ &= m_2 v_2 + m_r v_2 + \frac{\rho^2 m_r v_r}{r^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует

$$p_1 = m_1 v_1 = -m_2 v_2 - m_r v_2 - \frac{\rho^2 m_r v_r}{r^2}.$$

После того как элементы соединятся, количество движения системы станет равным:

$$\begin{aligned} p &= p_1 + p_{2r} = \\ &= -m_2 v_2 - m_r v_2 - \frac{\rho^2 m_r v_r}{r^2} + m_2 v_2 + m_r v_2 + \frac{L}{r} = \\ &= -\frac{\rho^2 m_r v_r}{r^2} + \frac{L}{r} = p_{lin} + p_{rot}. \end{aligned}$$

Система приобретает линейное количество движения

$$p_{lin} = -\frac{\rho^2 m_r v_r}{r^2}$$

и движется влево со скоростью

$$v = -\frac{\rho^2}{r^2} \frac{m_r v_r}{m_1 + m_2 + m_r}.$$

Оптимальные параметры: $\rho = r, m_2 = 0$.

Роторное количество движения системы равно

$$p_{rot} = \frac{L}{r}.$$

Вращение ротора может быть утилизировано, например, электромеханическим способом.

Второй элемент перемещают в исходную позицию, что не изменяет приобретенного линейного количества движения системы, и повторяют процесс. При этом система приобретает вторую порцию линейного количества движения. Повторяемость процесса ничем, кроме запаса энергии, не ограничена. Для обеспечения равномерности накопления количества движения можно использовать несколько роторных механизмов. При использовании ядерной энергетической установки можно накапливать линейное количество движения, не сопоставимое с тем, которое развивает обычная ракета.

Заключение. Представленное доказательство существования реактивного движения механической системы, принцип ее действия, возможный алгоритм расчета и технической реализации открывает перспективы создания реактивного движителя для дальних космических полетов.

Литература

1. Попов, И. П. О мерах механического движения / И. П. Попов // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2014. – № 3 (26). – С. 13–15.
2. Попов, И. П. Волновые уравнения и меры движения / И. П. Попов // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. – 2014. – Вып. 2. – С. 30–33.
3. Попов, И. П. Меры механического движения с различными степенями скорости / И. П. Попов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2018. – № 1 (33). – С. 49–53.
4. Попов, И. П. Градация мер механического движения / И. П. Попов // Вестник Курганского государственного университета. Естественные науки. Вып. 9. – 2016. – № 4 (43). – С. 79–82.
5. Попов, И. П. Степенной ряд мер механического движения / И. П. Попов // Ученые записки Орловского государственного университета. Естественные, технические и медицинские науки. – 2014. – № 6 (62). – С. 37–39.
6. Popov, I. P. Vector differential surface operator / I. P. Popov // British journal of innovation in science and technology. – 2017. – Vol. 2, № 6. – P. 25–31.
7. Popov, I. P. Surface, zero and zero imaginary operators nabla / I. P. Popov // Software of systems in the industrial and social fields. – 2017. – Vol. 5, № 2. – P. 2–11.
8. Попов, И. П. О некоторых операциях над векторами / И. П. Попов // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. – 2014. – № 5 (24). – С. 55–61.

9. Попов, И. П. Поверхностные градиент, дивергенция и ротор / И. П. Попов // Вестник Псковского государственного университета. Естественные и физико-математические науки. – 2014. – Вып. 5. – С. 159–172.

10. Попов, И. П. Операторы типа набла: поверхностный, нулевой и мнимый нулевой / И. П. Попов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Математика. Физика. – 2017. – № 6 (255), вып. 46. – С. 44–53.

I.P. Popov
Kurgan State University

ROTARY-LINEAR PROPULSION UNIT

The theoretical substantiation and mathematical description presented in the article show the principle of operation of the jet propulsion of a mechanical system, the mass of which does not change, which opens up the prospects for long-range space flights. The proof of the existence of a rotary linear propulsor and options for the possible practical implementation of the design are given.

Reactive, rotary, propulsion, momentum, impulse.



СИНТЕЗ ПРЯМОЛИНЕЙНО-НАПРАВЛЯЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ ОТРЕЗКИ ЗАГОТОВОК ЭСКИМО

В статье рассматривается вопрос о применении шарнирного четырехзвенного механизма в технологической линии производства эскимо для отрезки заготовок (полуфабрикатов). Шарнирный четырехзвенный механизм характеризуется простотой и низкой стоимостью конструкции, высокой износостойкостью и минимальными потерями на трение. Отмечено, что для соответствия вида движения требуемой технологии необходим синтез нового шарнирного четырехзвенного прямолинейно-направляющего механизма по шести параметрам самого механизма и по трем параметрам шатунной кривой (габаритным размерам, длине прямолинейного участка и точности). Рассмотрена методика выбора оптимальных параметров механизма по наименьшей относительной величине работы сил сопротивления. Спроектированная схема механизма характеризуется высокой точностью прямолинейного участка и минимальной относительной величиной работы сил сопротивления, равной $0,401 \text{ м}^3/\text{с}^2$, что на 101% меньше, чем у известного аналога Tetra Pak Hoyer Straightline N.

Прямолинейно-направляющий механизм, шатунная кривая, эскимо, метод сканирования.

Введение. Направляющие механизмы предназначены для осуществления движения согласно заданной шатунной кривой траектории, описываемой какой-либо точкой шатуна при его движении. Эти механизмы находят применение в машиностроении, пищевой промышленности и других отраслях. Например, при шлифовании деталей сложного профиля [3]; при отрезке заготовок эскимо (прямолинейно-направляющие механизмы Tetra Pak Hoyer Straightline 600C, Straightline N¹ и др.); при ориентировании изделий на некоторых упаковочных машинах типа Flow-Pack. В последних двух случаях используются прямолинейно-направляющие механизмы, которые характеризуются наличием на шатунной кривой прямолинейного участка.

Направляющие и прямолинейно-направляющие механизмы могут быть рычажными и иметь различную структуру [3], либо могут представлять собой сочетание сразу нескольких приводов (сервомоторов, пневмоприводов и т.п.) и исполнительных элементов (например, устройство резки экструзионных линий Tetra Pak M3 и A3²). Следует заметить, что наличие поступательных кинематических пар в таких прямолинейно-направляющих устройствах способствует сравнительно быстрому износу элементов этих пар и является причиной снижения КПД устройства, ограничения его производительности, а также его частого технического обслуживания.

Большинство известных конфигураций шатунных кривых, особенно с прямолинейными участками, можно получить, используя шарнирный четырехзвенный механизм, который отличается не только простотой и низкой стоимостью конструкции, но и высокой

износостойкостью входящих в него элементов (подшипников качения), что гарантирует надежность и минимальные потери на трение при его работе. При этом к точности изготовления звеньев и сборке механизма предъявляются высокие требования, нарушение которых может сказываться на точности получаемой шатунной кривой. Однако современные технологии машиностроения позволяют производить детали с допуском до 0,01 мм, что во многом гарантирует отсутствие погрешностей при сборке. Конструкция шарнирного четырехзвенного механизма располагает минимальным количеством звеньев, что также дает преимущества при сборке и эксплуатации устройства по сравнению с 6–7-звенными механизмами Tetra Pak Hoyer Straightline N, Straightline 600C.

О шарнирных четырехзвенных прямолинейно-направляющих механизмах. Параметрами шарнирных четырехзвенных кривошипно-коромысловых механизмов (рис. 1, 4) являются длины звеньев: кривошипа (1) – a , плеч шатуна (2) – b и k , коромысла (3) – c , стойки (4) – d ; а также угол конфигурации шатуна ξ . Все кривошипно-коромысловые механизмы должны удовлетворять условию существования кривошипа (правилу Грасгофа):

$$a + d < b + c, \quad (1)$$

при выполнении которого кривошипом будет являться наименьшее из звеньев.

Наиболее известными прямолинейно-направляющими механизмами являются механизмы П.Л. Чебышева (механизмы № 615, 616 [2]), характерной особенностью которых является симметрия шатунной кривой, что достигается следующими условиями:

$$b = c = k;$$

$$\xi = 180^\circ,$$

в результате чего они определяются лишь тремя параметрами: a , b и d .

¹ Доступны на видеохостинге YouTube

² Доступно на www.tetrapak.com/ru

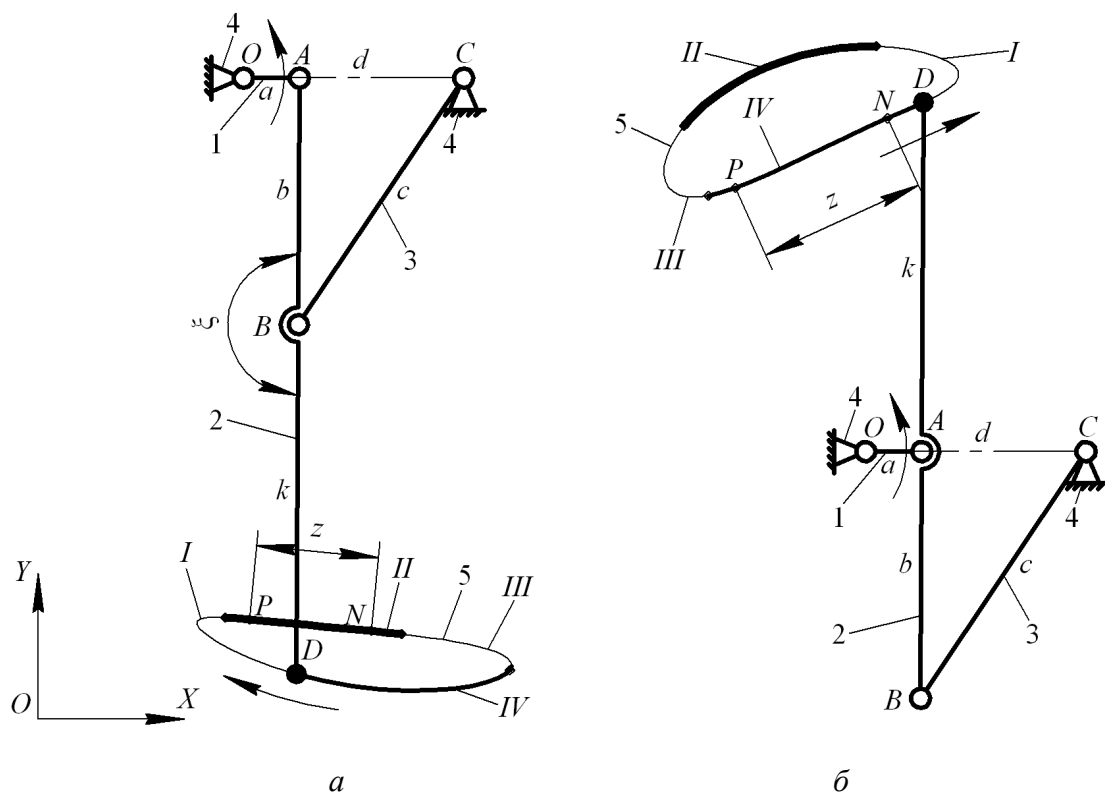


Рис. 1. Прямолинейно-направляющие механизмы, синтезированные по 5 параметрам: $b = 4,4a$; $c = 5,3a$; $d = 3,93a$; $k = 6,23a$; $\xi = 180^\circ$ (a); $\xi = 0^\circ$ (б)

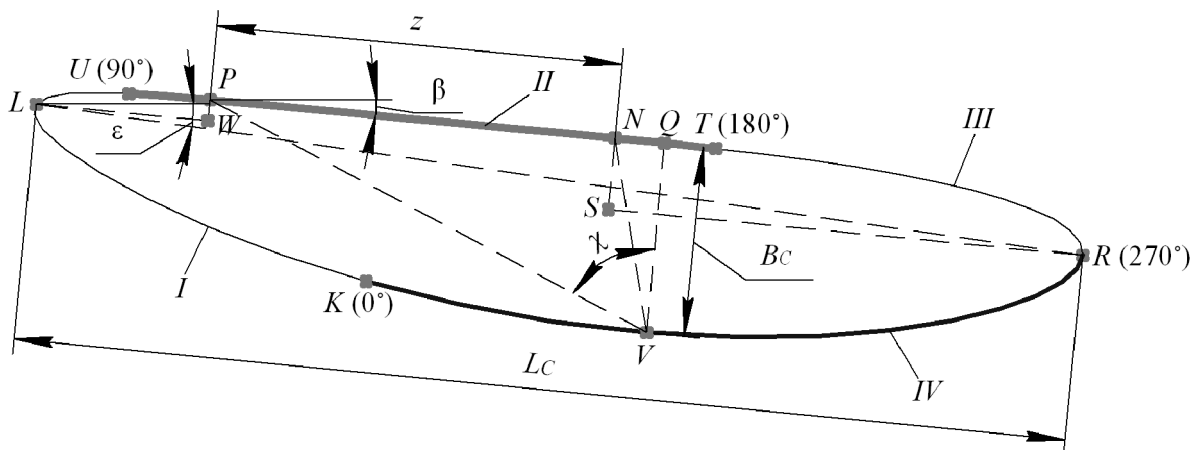


Рис. 2. Несимметричная шатунная кривая

Механизмы П.Л. Чебышева пока не нашли широкого практического применения в технологических машинах, однако они достаточно хорошо изучены и при их модификации [6, 11] могут использоваться в некоторых технологиях.

Расширить сферу применения кривошипно-коромысловых прямолинейно-направляющих механизмов можно путем использования несимметричной шатунной кривой 5 (рис. 1, 2), что позволит добиться большего соответствия вида движения требуемой технологии. Число определяющих параметров механизма при этом будет более трех, что во многом ус-

ложняет решение задачи об определении параметров механизма. Однако тщательная проработка методики синтеза наряду с изучением шатунной кривой позволяет найти оптимальное решение задачи при определении всех 6 параметров: a, b, c, d, k, ξ , в частности, при синтезе механизма для отрезки заготовок эскимо.

Существующие подходы к решению поставленной задачи. Известны следующие основные аналитические методы синтеза передаточных и направляющих механизмов: интерполирование функций, квадратическое приближение и наилучшее приближение функций [1].

Первые два метода требуют задания ряда условий и позволяют выполнять эти условия лишь в нескольких положениях механизма, недостаточно далеко удаленных друг от друга. При этом должна быть предварительно получена некоторая приближающая функция. Вид приближающей функции при этом будет оказывать существенное значение на трудоемкость решения поставленной задачи, главным образом на возможность последующего вычисления искоемых параметров из коэффициентов определяющей функции.

Метод наилучших приближений обеспечивает высокую точность решения поставленной задачи, однако отличается трудоемкостью вычислений и применяется для синтеза направляющих механизмов, выходное звено которых совершает движение по горизонтальной или вертикальной прямой, либо по окружности [8].

Методы Л. Бурместера [1] и аналитические методы, изложенные в [11], позволяют по заданным четырем–пяти точкам траектории получить положения плоской фигуры в пространстве и связать ее с остальными звеньями. Но при использовании таких методов значения задаваемых точек, если они изначально не известны и задаются впервые, будут играть решающую роль в достижении поставленной цели.

В работе [6] представлены численно-аналитические методы оптимального синтеза рычажных механизмов, в частности кривошипно-кулисных. Но тем не менее разработка механизма, включающего только низшие вращательные кинематические пары, остается наиболее предпочтительной.

Универсальным и современным средством является использование специальных программных сред [4, 5, 12]. Но в большинстве случаев многие программы не являются доступными. Кроме того, проектировщики должны обладать специальными навыками пользования подобными программами.

Способ составления приближающей функции путем замены выходной точки шатуна поступательной кинематической парой, а также способы, изложенные в [7], позволяют получить шатунную кривую с прямолинейным участком заданной длины, но без учета угла конфигурации шатуна и габаритных размеров шатунной кривой.

С развитием вычислительной техники все более популярными становятся методы оптимизационного синтеза передаточных, в том числе и направляющих, механизмов [9, 10].

Ниже представлен способ решения поставленной задачи, в основу которого положен оптимизационный метод сканирования с использованием оценочных параметров. Преимуществами такого метода являются наглядность, простота реализации, высокая вероятность нахождения оптимальных параметров, выраженных в целых числах (миллиметрах), что упрощает процесс конструирования и сборки устройства. Недостатком метода является продолжительный по времени этап выполнения поиска.

Характеристики шатунной кривой. На шатунной кривой (рис. 2) в соответствии с интервалами положения кривошипа можно выделить 4 фрагмента, на

которых может находиться точка D механизма: I (от 0 до 90°), II (от 90° до 180°), III (от 180° до 270°), IV (от 270° до 360°).

Фрагмент II приведенной шатунной кривой содержит прямолинейный участок PN длиной z . Фрагменты II и IV могут взаимно меняться назначением в зависимости от конфигурации механизма, и в механизме на рис. 1б прямолинейный участок PN будет расположен на фрагменте IV.

Необходимость отступа точек P и N от точек U и T объясняется наличием криволинейности в точках U и T при переходе к фрагментам I и III. Рекомендуемая величина такого отступа в эквиваленте угла поворота кривошипа составляет 15°–25°. Если величина отступа составит 15°, то точке P шатунной кривой на рис. 2 будет соответствовать угол поворота кривошипа $\varphi_P = 105^\circ$, а точке N – угол поворота кривошипа $\varphi_N = 165^\circ$.

Основными характеристиками шатунной кривой являются длина z участка PN , его точность F и габаритные размеры шатунной кривой L_C и B_C .

Длина z участка PN , как и некоторых других характеристик шатунной кривой, определяется согласно теореме Пифагора с подстановкой значений координат точки D , совпадающих с координатами точек P и N : X_P, Y_P, X_N, Y_N :

$$z = \sqrt{(X_P - X_N)^2 + (Y_P - Y_N)^2}. \quad (2)$$

Точность F прямолинейного участка PN (рис. 3) является неотъемлемой характеристикой шатунной кривой, поскольку позволяет найти оптимальное геометрическое решение:

$$F = \frac{z}{M}, \quad (3)$$

где $M = \sqrt{\frac{\sum_{i=\varphi_P}^{i=\varphi_N} h_i^2}{\varphi_N - \varphi_P}}$ – среднеквадратическое отклонение шатунной кривой 1 от прямой 2 (заданной функции). Здесь h_i вычисляется по формуле

$$h_i = \sqrt{(X_{D_i} - X_P)^2 + (Y_{D_i} - Y_P)^2} \cdot \sin \left(\arctg \left(\frac{Y_{D_i} - Y_P}{X_{D_i} - X_P} \right) - \beta \right), \quad (4)$$

где X_{D_i} и Y_{D_i} – координаты точки D на участке PN ; $\beta = \arctg \left(\frac{Y_N - Y_P}{X_N - X_P} \right)$ – угол наклона прямой 2. Координаты точки D здесь вычисляются координатным способом.

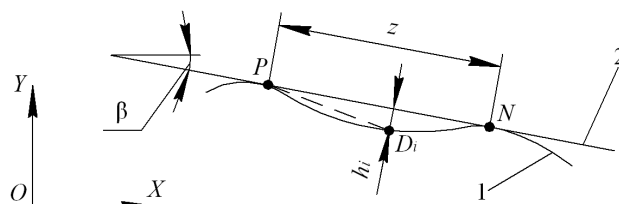


Рис. 3. Утрированный фрагмент шатунной кривой, изображающий неточность участка PN

Длину L_C и ширину B_C шатунной кривой (рис. 2) следует ориентировать параллельно и перпендику-

лярно участку PN . Определяются они следующим образом:

$$L_C = LR \cdot \cos(\beta - \varepsilon), \quad (5)$$

$$B_C = PV \cdot \cos \chi, \quad (6)$$

где LR – расстояние между точками L и R ;

$\varepsilon = \arctg\left(\frac{Y_R - Y_L}{X_R - X_L}\right)$ – угол наклона отрезка LR ;

$$\chi = -\frac{\pi}{2} + \arccos\left(\frac{PV^2 + NV^2 - PN^2}{2PV \cdot NV}\right) + \arccos\left(\frac{PN^2 + NV^2 - PV^2}{2PN \cdot NV}\right)$$

– угол между отрезками PV и QV (здесь и для формулы (5) отрезки PV , QV , NV , PN следует определять координатным методом по теореме Пифагора).

Синтез прямолинейно-направляющего механизма. В Приложении приведен код программы синтеза прямолинейно-направляющего механизма для отрезки заготовок эскимо, написанный в среде Visual Basic Microsoft Excel. Синтез устройства включает следующие основные этапы: задание исходных данных, расчет и проверка длины z участка PN , расчет и проверка габаритных размеров шатунной кривой, расчет и проверка точности участка PN . За прототип разрабатываемого устройства был принят механизм на рис. 1а.

Для представленной схемы механизма (рис. 1а) с параметрами a , b , c , d , k и ξ можно записать следующие выражения для определения значений координат точек A , B , C , и D в прямоугольной декартовой системе координат:

$$X_A = a \cdot \cos \varphi,$$

$$Y_A = a \cdot \sin \varphi,$$

$$X_C = d,$$

$$Y_C = 0,$$

$$X_B = X_A + (X_C - X_A) \cdot \frac{b}{AC} \cdot \cos \alpha - (Y_C - Y_A) \cdot \frac{b}{AC} \cdot \sin \alpha,$$

$$Y_B = Y_A + (X_C - X_A) \cdot \frac{b}{AC} \cdot \sin \alpha + (Y_C - Y_A) \cdot \frac{b}{AC} \cdot \cos \alpha,$$

$$X_D = X_B + (X_A - X_B) \cdot \frac{k}{b} \cdot \cos \xi - (Y_A - Y_B) \cdot \frac{k}{b} \cdot \sin \xi, \quad (7)$$

$$Y_D = Y_B + (X_A - X_B) \cdot \frac{k}{b} \cdot \sin \xi + (Y_A - Y_B) \cdot \frac{k}{b} \cdot \cos \xi, \quad (8)$$

где φ – угол поворота кривошипа, град;

$$AC = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + Y_A^2}; \quad \cos \alpha = \frac{b^2 + AC^2 - c^2}{2AC \cdot b};$$

$$\sin \alpha = -\sqrt{1 - (\cos \alpha)^2}.$$

Основные исходные данные – требуемые параметры шатунной кривой – принимались на основании рассмотрения математической модели отрезки заготовок эскимо, разработанной для проверки работоспособности устройства. Для возможности работы с размерами заготовок эскимо шириной до 100 мм и толщиной до 50 мм требуемые значения z_N , мм, длины

участка PN и отношений этого параметра к длине $Ratio_{LZ}$ и ширине $Ratio_{BZ}$ шатунной кривой были приняты

$$z_N = 65,5,$$

$$Ratio_{LZ} = \frac{L_C}{z} = 2,405,$$

$$Ratio_{BZ} = \frac{B_C}{z} = 0,525$$

с допускаемыми отклонениями: 0,5 мм (для z_N) и 0,005 (для $Ratio_{LZ}$ и $Ratio_{BZ}$).

Пределы изменения параметров механизма a , b , c , d , k , ξ (рис. 1а), град, при поиске их оптимальных значений определялись исходя из результатов предварительных исследований прототипа: $a_{\min} = 27$ мм, $a_{\max} = 31$ мм, $b_{\min} = 92$ мм, $b_{\max} = 103$ мм, $c_{\min} = 55$ мм, $c_{\max} = 95$ мм, $d_{\min} = 93$ мм, $d_{\max} = 114$ мм, $k_{\min} = 216$ мм, $k_{\max} = 232$ мм, $\xi_{\min} = 135^\circ$, $\xi_{\max} = 161^\circ$. Рекомендуемый шаг варьирования $t = 1$ мм.

Неотъемлемым этапом синтеза является проверка правила Грасгофа – условия (1).

Длина z участка PN определялась по формуле (2), а требуемая величина оценивалась выполнением условия

$$z_N + 0,5 > z > z_N - 0,5.$$

Углы поворота кривошипа φ_R и φ_L , при которых точка D совпадает с точками R и L , определялись итерационным методом при постепенном изменении значения угла φ от 230° до 300° (при определении φ_R) и от 30° до 80° (при определении φ_L). При этом рассчитывались расстояния RS_i и LW_i (рис. 2):

$$RS_i = -Y_N \cdot \sin \beta - X_N \cdot \cos \beta + Y_R \cdot \sin \beta + X_R \cdot \cos \beta;$$

$$LW_i = Y_P \cdot \sin \beta + X_P \cdot \cos \beta - Y_L \cdot \sin \beta - X_L \cdot \cos \beta,$$

где X_R , Y_R , X_L , Y_L – координаты точки D , соответствующие текущим значениям углов φ_R и φ_L и определяемые по формулам (7) и (8).

Требуемые значения углов φ_R и φ_L фиксировались, когда величины LW и RT достигали максимальных значений.

Длина L_C шатунной кривой определялась по формуле (5) и оценивалась условием

$$Ratio_{LZ} + 0,005 > \frac{L_C}{z} > Ratio_{LZ} - 0,005.$$

Угол поворота кривошипа φ_V , при котором точка D соответствует точке V , определялся итерационным методом при постепенном изменении значения угла φ от 310° до 355° . Требуемое значение угла φ_V фиксировалось при максимальной ширине B_C шатунной кривой, определяемой по формуле (6). Соответствие найденного значения ширины B_C шатунной кривой требуемому оценивалось выполнением условия

$$Ratio_{BZ} + 0,005 > \frac{B_C}{z} > Ratio_{BZ} - 0,005.$$

Заключительный этап проверки состоял в определении точности прямолинейного участка шатунной кривой по формуле (3), минимальное значение которого принималось 1700.

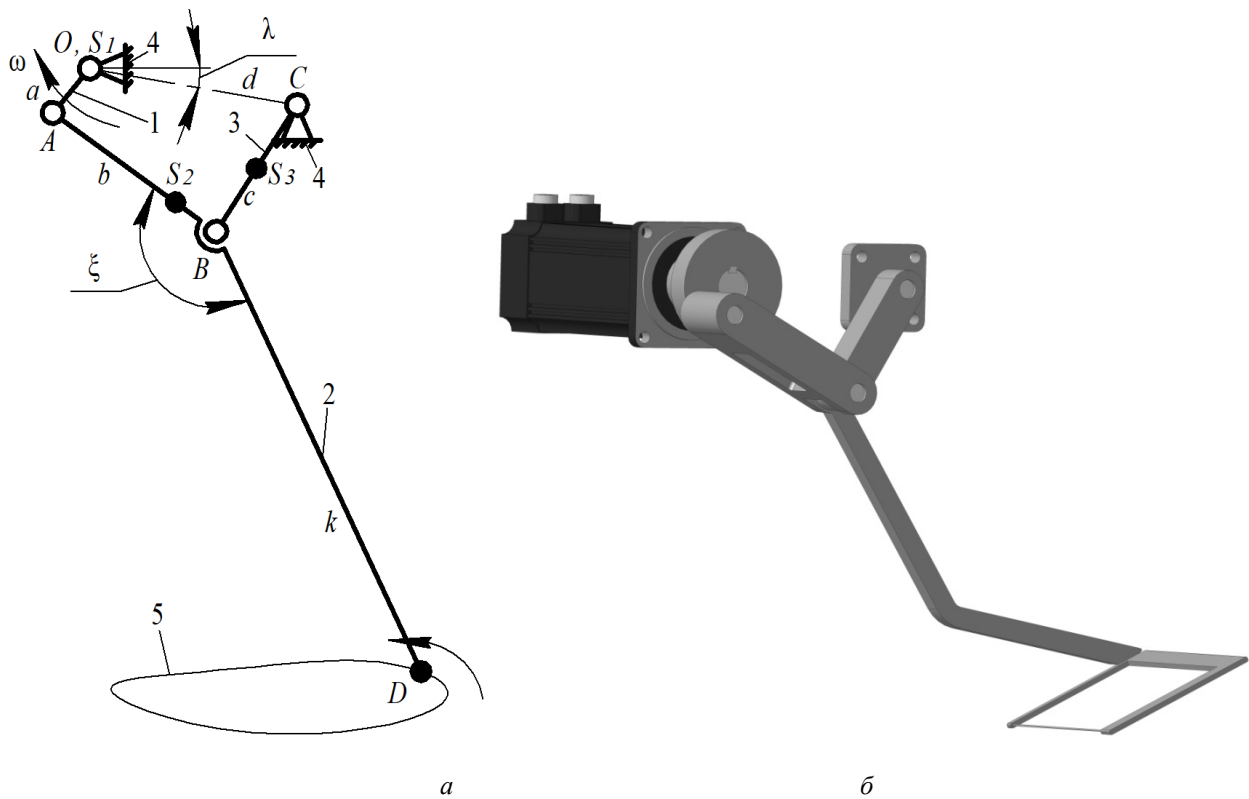


Рис. 4. Расчетная схема (а) и модель механизма резки (б)

Расчет аналога работы и выбор оптимального результата. Выбор оптимального результата проводился по минимальной относительной величине работы сил сопротивления A_C , $\text{м}^3/\text{с}^2$, за цикл φ , равный 360° :

$$A_C = \int_0^\varphi M_C d\varphi,$$

где M_C – относительная величина момента сопротивления, $\text{м}^3/\text{с}^2$, определяемая из кинестатического анализа механизма.

Для заданной расчетной схемы (рис. 4а) при вычислении относительных значений сил тяжести, инерции и моментов сил инерции, действующих на звенья 2 и 3, в качестве допущения массы звеньев m_2 и m_3 принимались равными

$$m_2 = b + k,$$

$$m_3 = c$$

и имели размерность м ; положение центра масс S_3 принималось посередине коромысла 3 (наиболее вероятный вариант); положение центра масс S_2 на шатуне 2 варьировалось от точки D к точке A .

Угол наклона стойки механизма λ :

$$\lambda = \beta - 5^\circ,$$

где 5° – угол наклона дозатора (требуемый угол наклона шатунной кривой).

Угловая частота принималась $\omega = -25,133$ рад/с (240 шт/мин), что на 20% выше, чем у режущих устройств Tetra Pak M3 и A3 (200 шт/мин).

Нагрузка от взбитой смеси мороженого на точку D , где устанавливается режущая струна, в расчеты не принималась, поскольку ее величина ввиду свойств взбитой смеси и размеров струны незначительна.

Кинестатический анализ проводился общеизвестным аналитическим методом при помощи ЭВМ.

Анализ полученных результатов (рис. 5) указывает на следующие оптимальные параметры механизма: $a = 29$ мм; $b = 99$ мм; $c = 86$ мм; $d = 109$ мм; $k = 217$ мм; $\xi = 148^\circ$; $\lambda = 0,95^\circ \approx 1^\circ$, с высокой точностью прямолинейного участка $F = 1998$ (для сравнения: у механизма на рис. 1б точность прямолинейного участка PN составляет $F = 257$). Максимальная величина отклонения от прямолинейности, рассчитанная по формуле (4), составила $h = 0,06$ мм. При нахождении S_2 на расстоянии $AS_2 = 0,75AB$ относительная величина работы сил сопротивления составила $A_C = 0,401$ $\text{м}^3/\text{с}^2$, что существенно меньше значения $A_C = 0,807$ $\text{м}^3/\text{с}^2$, рассчитанного аналогичным образом для механизма Tetra Pak Hoyer Straightline N. Кроме того, механизм Tetra Pak Hoyer Straightline N отличается большим количеством звеньев и кинематических пар, а также сравнительно низкой точностью прямолинейного движения струны.

Предлагаемое положение центра масс S_2 на шатуне при конструировании может быть достигнуто облегчением его плеча BD .

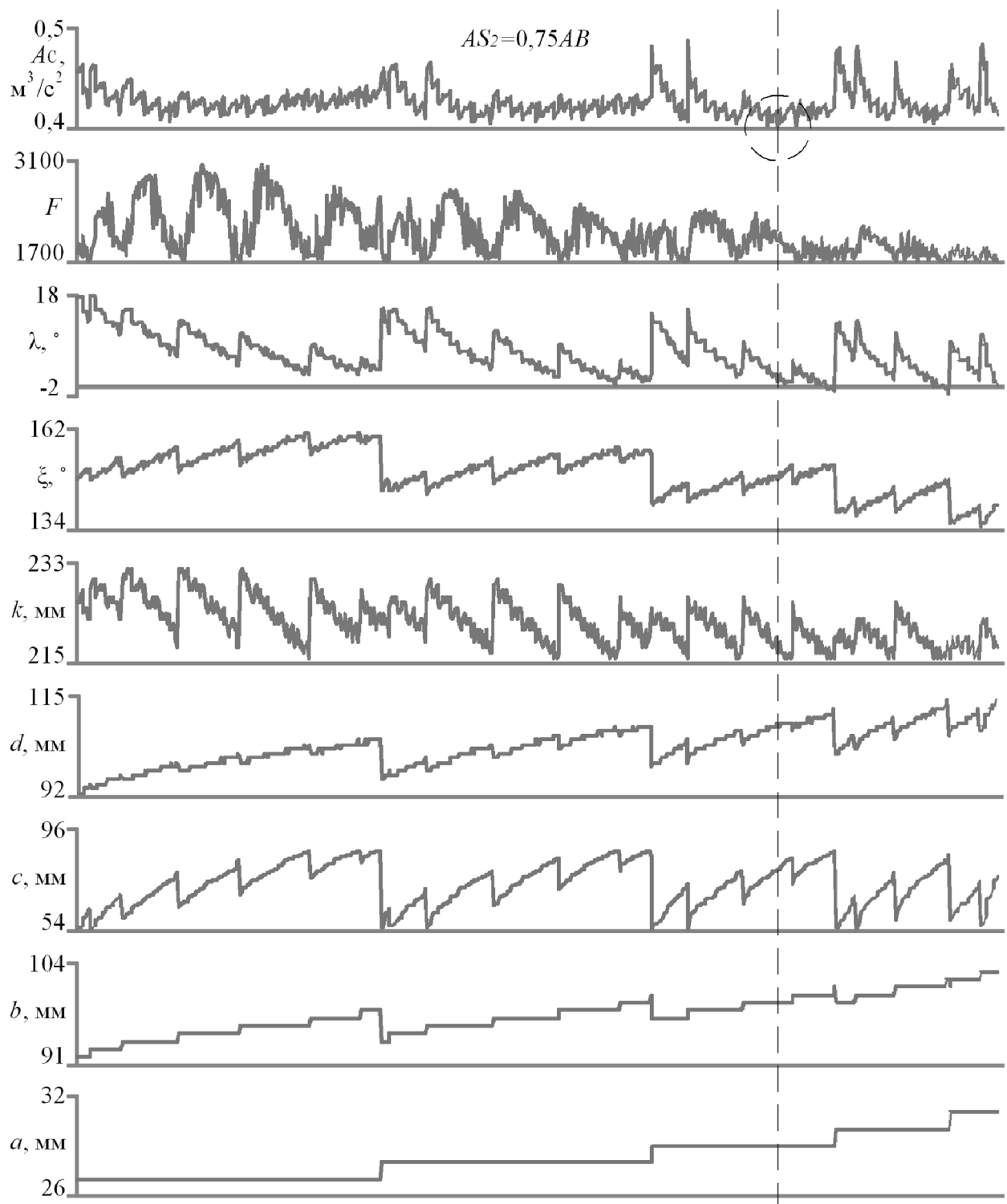


Рис. 5. Результаты синтеза

Выводы:

1. Спроектированный прямолинейно-направляющий механизм характеризуется простотой и низкой стоимостью конструкции, высокой износостойкостью входящих в него элементов и минимальными потерями на трение.

2. Работоспособность устройства с представленными параметрами гарантирована высокой точностью прямолинейного участка шатунной кривой и минимальным относительным значением работы сил сопротивления.

**Программа синтеза
прямолинейно-направляющего механизма
(Visual Basic Microsoft Excel)**

```

Dim a, b, c, d, k, ksi, fi, xd, yd
'Координаты точки D (уравнение траектории шатунной кривой)
Sub xd_yd_6()
  xa = a * Cos(fi * 1.74532925199433E-02): ya = a * Sin(fi * 1.74532925199433E-02)
  xc = d: yc = 0
  xca = xc - xa: yca = yc - ya
  ac = Sqr(xca * xca + yca * yca)
  ca = (b ^ 2 + ac * ac - c ^ 2) / (2 * ac * b)
  sa = -Sqr(1 - ca * ca)
  xb = xa + (ca * xca - sa * yca) * b / ac
  yb = ya + (sa * xca + ca * yca) * b / ac
  xd = xb + ((xa - xb) * Cos(ksi * 1.74532925199433E-02) - (ya - yb) * Sin(ksi * 1.74532925199433E-02)) * k / b
  yd = yb + ((xa - xb) * Sin(ksi * 1.74532925199433E-02) + (ya - yb) * Cos(ksi * 1.74532925199433E-02)) * k / b
End Sub
Sub designing_SL_fourbar_linkage()
'Исходные данные
Zn = 65.5
RatioLZ = 2.405
RatioBZ = 0.525
a_min = 27
a_max = 31
b_min = 92
b_max = 103
c_min = 55
c_max = 95
d_min = 93
d_max = 114
k_min = 216
k_max = 232
ksi_min = 135
ksi_max = 161
t = 1
n = 0
a = a_min: Cells(3 + n, 20) = a
b_reset:
  b = b_min: Cells(3 + n, 21) = b
c_reset:
  c = c_min: Cells(3 + n, 22) = c
k_reset:
  k = k_min: Cells(3 + n, 24) = k
ksi_reset:
  ksi = ksi_min: Cells(3 + n, 25) = ksi
d_reset:
  d = d_min: Cells(3 + n, 23) = d
calculation:
'Проверка выполнения правила Грасгофа
If (a + d) >= (b + c) Then d = d_max: GoTo scanning
'Определение отклонения от шатунной кривой
'Проверка длины участка z
  fi_n = 165

```

```

fi = fi_n: xd_yd_6: xn = xd: yn = yd
fi_p = 105
fi = fi_p: xd_yd_6: xp = xd: yp = yd
Z = Sqr((xn - xp) ^ 2 + (yn - yp) ^ 2)
If Z < (Zn - 0.5) Or Z > (Zn + 0.5) Then GoTo scanning
'Проверка габаритных размеров
beta = Atn((yn - yp) / (xn - xp))
rt = 0
For i = 230 To 300
  fi = i: xd_yd_6: xr = xd: yr = yd
  rti = -yn * Sin(beta) - xn * Cos(beta) + yr * Sin(beta) + xr * Cos(beta)
  If rti > rt Then rt = rti: fi_r = fi
Next
lw = 0
For i = 30 To 80
  fi = i: xd_yd_6: xl = xd: yl = yd
  lwi = yp * Sin(beta) + xp * Cos(beta) - yl * Sin(beta) - xl * Cos(beta)
  If lwi > lw Then lw = lwi: fi_l = fi
Next
fi = fi_l: xd_yd_6: xl = xd: yl = yd
fi = fi_r: xd_yd_6: xr = xd: yr = yd
lr = Sqr((xr - xl) ^ 2 + (yr - yl) ^ 2)
eps = Atn((yr - yl) / (xr - xl))
lc = lr * Cos(beta - eps)
If (lc / Z) < (RatioLZ - 0.005) Or (lc / Z) > (RatioLZ + 0.005) Then GoTo scanning
bc = 0
For i = 310 To 355
  fi = i: xd_yd_6: xv = xd: yv = yd
  vp = Sqr((xv - xp) ^ 2 + (yv - yp) ^ 2)
  nv = Sqr((xv - xn) ^ 2 + (yv - yn) ^ 2)
  pn = Sqr((xp - xn) ^ 2 + (yp - yn) ^ 2)
  x = -3.14159265358979 / 2 + Application.Acos((vp * vp + nv * nv - pn * pn) / (2 * vp * nv)) + Application.Acos((pn * pn + nv * nv - vp * vp) / (2 * pn * nv))
  bci = vp * Cos(x)
  If bci > bc Then bc = bci
Next
If (bc / Z) < (RatioBZ - 0.005) Or (bc / Z) > (RatioBZ + 0.005) Then GoTo scanning
'Проверка точности
h = 0
For fi_i = fi_p + 1 To fi_n
  fi = fi_i: xd_yd_6: xdi = xd: ydi = yd
  hi = Sqr((xdi - xp) ^ 2 + (ydi - yp) ^ 2) * Sin((Atn((ydi - yp) / (xdi - xp)) - beta))
  h = h + hi ^ 2
Next
m = Sqr(h / (fi_n - fi_p))
f = Z / m
If f > 1700 Then Cells(3 + n, 32) = f: Cells(3 + n, 33) = Z: Cells(3 + n, 26) = beta / 1.74532925199433E-02: Cells(3 + n, 28) = lc: Cells(3 + n, 29) = bc: GoTo further_calculation
scanning:
'Сканирование
Cells(3 + n, 20) = a
If a <= a_max And b <= b_max And c <= c_max And k <= k_max And ksi <= ksi_max And d < d_max Then d = d + t: Cells(3 + n, 23) = d: GoTo calculation

```

```

If a <= a_max And b <= b_max And c <= c_max
And k <= k_max And ksi < ksi_max And d = d_max
Then ksi = ksi + t: Cells(3 + n, 25) = ksi: GoTo d_reset
If a <= a_max And b <= b_max And c <= c_max
And k < k_max And ksi = ksi_max Then k = k + t:
Cells(3 + n, 24) = k: GoTo ksi_reset
If a <= a_max And b <= b_max And c < c_max And
k = k_max Then c = c + t: Cells(3 + n, 22) = c: GoTo
k_reset
If a <= a_max And b < b_max And c = c_max Then
b = b + t: Cells(3 + n, 21) = b: GoTo c_reset
If a < a_max And b = b_max Then a = a + t: Cells(3
+ n, 20) = a: GoTo b_reset
If a = a_max Then GoTo calculation_completed
further_calculation:
n = n + 1
GoTo scanning
calculation_completed:
End Sub

```

Литература

1. Артоболевский, И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов. – Москва: Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Артоболевский, И. И. Механизмы в современной технике. Т. 1: Элементы механизмов. Простейшие рычажные и шарнирно-рычажные механизмы / И. И. Артоболевский. – Москва: Наука, 1979. – 496 с.
3. Боренштейн, Ю. П. Исполнительные механизмы со сложным движением рабочих органов / Ю. П. Боренштейн. – Ленинград: Машиностроение, 1973. – 120 с.
4. Джамалов, Н. К. Комплекс программ автоматизированного синтеза и анализа параллельных рычажных механизмов «ASYAN» / Н. К. Джамалов, А. Н. Камал // VI Международная конференция «Проблемы механики современных машин» (Улан-Удэ – оз. Байкал, 29 июня – 4 июля 2015 г.): тезисы докладов. – Улан-Удэ, 2015. – С. 67–72.
5. Кикин, А. Б. Разработка методов и средств для структурно-кинематического проектирования рычажных механизмов машин легкой промышленности: дис. ... д-ра. техн. наук / А. Б. Кикин. – Санкт-Петербург, 2006. – 362 с.
6. Кіницький, Я. Т. Синтез важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі напрямних механізмів: монографія / Я. Т. Кіницький, В. О. Харжевський, М. В. Марченко. – Хмельницький, 2013. – 432 с.
7. Лушников, С. В. Синтез прямолинейно-направляющего механизма / С. В. Лушников // Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 6. – С. 80–84.
8. Полное собрание сочинений П. Л. Чебышева. Т. 4: Теория механизмов / отв. ред.: И. И. Артоболевский, Н. Г. Бруевич; редкол.: С. Н. Бернштейн, И. М. Виноградов, А. Н. Колмогоров и др. – Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1948. – 255 с.
9. Сункуев, Б. С. Оптимизационный синтез регулируемых рычажных механизмов машин легкой промышленности: дис. ... д-ра. техн. наук / Б. С. Сункуев. – Витебск, 1983. – 440 с.
10. Хорунжин, В. С. Кинематический и динамический синтез пространственных рычажных механизмов с выстоями выходного звена по заданной циклограмме: дис. ... д-ра. техн. наук / В. С. Хорунжин. – Омск, 2000. – 311 с.
11. Norton, R. L. Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines / R. L. Norton. – McGraw-Hill, 2004. – 880 p.
12. Riutort, K. T. Applied Design and Implementation of Straight-Line Mechanisms: master of Science diss. / K. T. Riutort. – Blacksburg, 1996. – 82 p.

M.A. Khalturin
Kemerovo State University

SYNTHESIZING A STRAIGHT-LINE MECHANISM FOR CUTTING SEMI-FINISHED STICK ICE CREAM

The article deals with the problem of using a straight-line fourbar link mechanism for the semi-finished cutting in a stick ice cream production line. Fourbar link mechanism is characterized by a simple and low-cost construction, high wear resistance and minimal friction losses. It is noted that synthesizing a new straight-line fourbar link mechanism by its six parameters and by three parameters of coupler curve (overall dimensions, length of straight-line and its accuracy) is necessary for conformance of the motion pattern with the process conditions. A method of selecting optimum mechanism parameters by minimum relative work of the resistance force is considered. The mechanism structure designed is characterized by high accuracy of straight-line and minimum relative work of the resistance force equal to $0,401 \text{ m}^3/\text{s}^2$, which is 101% less than the known analogue Tetra Pak Hoyer Straightline N.

Straight-line mechanism, coupler curve, stick ice cream, scanning method.



М.А. Иванова, В.А. Бабарушкин
Вологодский государственный университет

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рассмотрены уровни сбора данных автоматизированной системы интеллектуального учета электроэнергии. Описаны технологии передачи данных, предложена классификация потребителей электроэнергии и электрических сетей по трём критериям: по уровню напряжения, по типу подключения, по удалённости. Для выбора рациональной технологии передачи данных необходимо учитывать ряд условий, от которых будет зависеть надёжность автоматизированной информационно-измерительной системы учета электроэнергии.

Система интеллектуального учета, технология передачи данных, дистанционный сбор данных.

Автоматизированная информационно-измерительная система учета электроэнергии (АИИС УЭ) субъекта представляет собой совокупность функционально объединенных информационно-измерительных комплексов точек учета (ИИК ТУ), информационно-вычислительных комплексов электроустановок (ИВКЭ), информационно-вычислительных комплексов (ИВК) субъектов и системы единого времени субъекта. АИИС УЭ по своему назначению могут подразделяться на автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) и автоматизированные информационно-измерительные системы технического учета электроэнергии (АИИС ТУЭ) [1].

В настоящее время в сетевой компании АО «Вологодская областная энергетическая компания» интенсивно внедряется АИИС КУЭ на базе приборов производителя ООО «Эльстер Метроника».

Организация дистанционного сбора данных предполагает трехуровневую автоматизированную систему интеллектуального учёта электроэнергии с централизованным управлением и распределенной функцией выполнения измерений.

Первый уровень системы осуществляет функцию выполнения измерений и содержит ИИК ТУ. В структуру ИИК ТУ входят счётчики электроэнергии Альфа Смарт AS300 и AS3500. Данные с приборов учёта собираются на следующем уровне, который содержит ИВКЭ, через местные линии силовых электросетей 0,4 кВ с помощью технологии Power Line Communication (PLC), предложенной альянсом Prime. Помимо этого, данные со счётчиков также могут считываться автономно с помощью оптического преобразователя напрямую на портативный компьютер.

Второй уровень осуществляет функции консолидации информации по данному энергообъекту и передачи ее на следующий уровень и включает в себя

ИВКЭ. В структуру ИВКЭ входит концентратор данных и каналобразующее оборудование.

Третий уровень осуществляет функции сбора, хранения и обработки данных и включает в себя ИВК. В структуру ИВК входят технические средства приема-передачи данных, устройство синхронизации системного времени, сервер базы данных, технические средства для организации локальной вычислительной сети, средства информационной безопасности, и, кроме того, специальное и системное программное обеспечение.

Данные с однофазных устройств собираются на концентраторе посредством местных линий силовых электросетей 0,4 кВ с помощью технологии PLC Prime. Стандарт Prime дает возможность осуществить высокоскоростной (до 123 Кбит/с в полосе частот 41.9...88.8 кГц, CENELEC A – сетка частот, принятая Европейским комитетом по электротехнической стандартизации (*European Committee for Electrotechnical Standardization*)), устойчивый и помехозащищенный канал связи с приборами учёта. Передача данных на верхний уровень ИВК исполняется концентратором RTU-325ML посредством встроенного GPRS-модема (рис. 1) [2].

Всего в период с августа 2017 года по январь 2018 года на предприятии АО «Вологодская областная энергетическая компания» заменено более 5100 приборов учета в системе АИИС КУЭ.

Преимущественно АО «ВОЭК» устанавливает приборы учета серии Альфа Смарт (AS) производителя ООО «Эльстер Метроника». Они были выбраны на основании опытной эксплуатации при проведении «пилотного проекта» между тремя системами АИИС КУЭ:

- Меркурий «Пирамида»;
- Энергомера;
- Эльстер «Альфа смарт»;

как обладающие большими функциональными возможностями.

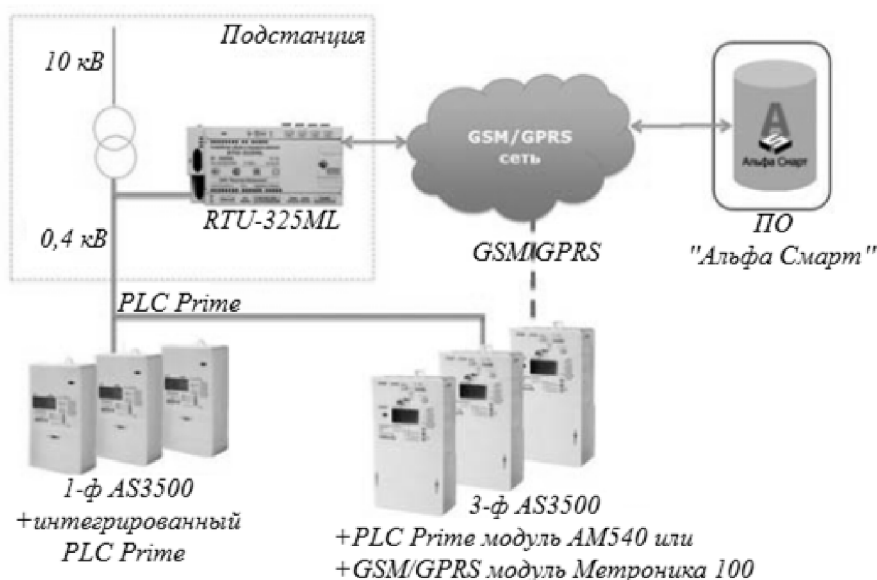


Рис. 1. Уровни АИИС КВЭ

В результате внедрения системы АИИС КУЭ в АО «ВОЭК» снизились потери активной мощности. Изучив динамику снижения потерь за период с августа 2017 года по январь 2018 года, сделан вывод о том, что наблюдается устойчивое снижение потерь активной мощности на ~2%.

Таким образом, можно сказать, что снижение потерь наблюдается преимущественно по трём причинам:

- правильность и своевременность съема показаний;
- выявление в кратчайшие сроки системой АИ-ИС КУЭ очагов потерь, своевременное и качественное принятие мер по фиксации безучетного и бездоговорного потребления;
- вычисление фактических потерь на участках эл. сети, разработка мероприятий по изменению технических характеристик оборудования, в том числе выявление неисправных приборов учета.

Важными элементами АИИС КУЭ являются технологии передачи данных. Для выбора эффективной технологии целесообразно разработать рекомендации, которые должны учитывать характеристики района потребления электроэнергии и конфигурацию электрической сети.

Система интеллектуального учёта энергоресурсов для РРЭ «Альфа Смарт» является разработкой российской компании ООО «Эльстер Метроника». Все компоненты системы производятся на заводе в Москве.

Система интеллектуального учёта с централизованным управлением на базе программного обеспечения «Альфа Смарт» поддерживает распределенную функцию выполнения измерений счётчиками Альфа, осуществляет сбор и обработку данных в автоматическом режиме.

Возможности системы:

- 1) конфигурирование устройства учета энергоресурсов с использованием различных протоколов передачи данных;

- 2) ограничение потребления электроэнергии приборами учета, имеющими в своем составе силовые контакторы, в ручном и автоматическом режимах по различным критериям;

- 3) сбор флагов событий с конечных устройств с последующей обработкой и формированием журналов событий по каждому устройству и группам устройств;

- 4) эффективная диагностика сбора данных, расхода и качества электроэнергии;

- 5) формирование статистической информации и информации по коммерческому учету потребления энергоресурсов с привязкой к географическому расположению, физической топологии сети или логической топологии внедряемой системы интеллектуального учета;

- 6) оперативная диагностика: информация о состоянии, сбоях и событиях в работе приборов учета энергоресурсов и фактах несанкционированного доступа к ним [1].

Технология Power Line Communication (PLC)

PLC-технология подразумевает передачу данных от электросчетчиков по силовым линиям.

Для передачи показаний по силовой сети, кроме счетчиков с PLC-модемами, необходимы устройства для сбора данных – концентраторы. Задача концентраторов – регулярно опрашивать счетчики и хранить показания за много дней.

Концентраторы обычно устанавливаются в трансформаторной подстанции (ТП) по одному на каждую фазу. У «Эльстер Метроника» устройства сбора данных идут в трехфазном исполнении. Для передачи накопленной информации в диспетчерский пункт к концентраторам можно подключить GSM-модем.

Не редкость, когда счетчики с PLC-модемами перестают опрашиваться из-за помех в электросети. Из-за того, что сигнал идет по силовой сети, на скорость и надёжность связи отрицательно влияют электробытовые приборы. Кроме того, негативно влияют скрутки и заниженное сечение проводов, приводящие к росту сопротивления и нагреву проводников.

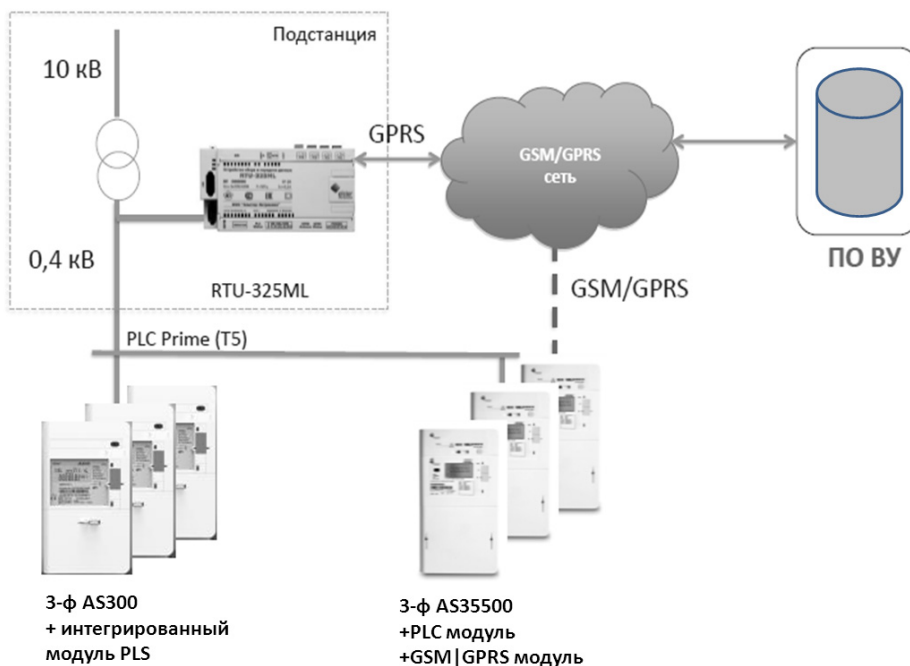


Рис. 2. Решение на базе технологии PLC

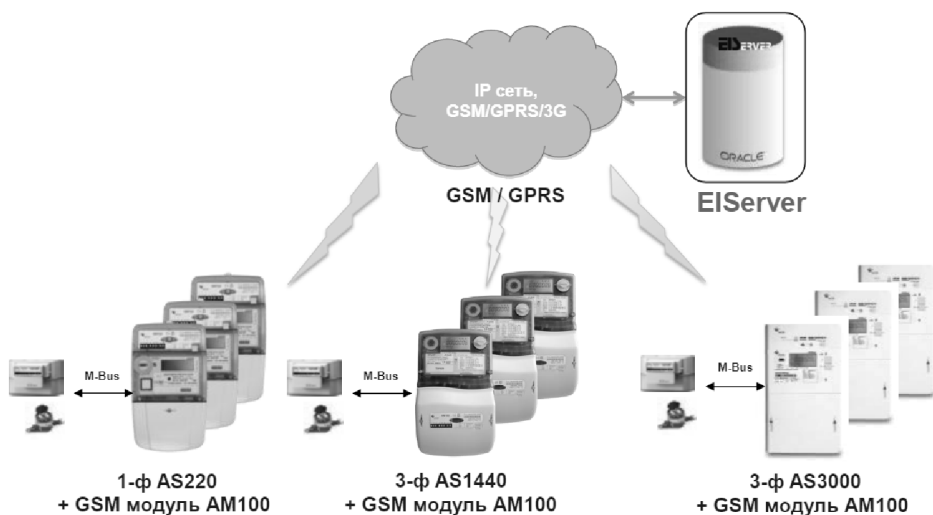


Рис. 3. Решение на базе технологии GSM/GPRS

Для того чтобы повысить качество трансляции данных по силовым сетям, производители счетчиков предлагают устанавливать фильтрующие устройства, а также проводить предварительные замеры уровня помех в сети.

Стоит отметить, что, выбирая PLC-систему, требуется следить за дальностью передачи данных. Это может быть опасно тем, что самый дальний счетчик не будет опрашиваться. Эту проблему решает ретрансляция данных (рис. 2).

Передача данных по сотовой сети (GSM)

Благодаря глобальному покрытию территорий, эти виды связи стали доступны не только в городах, но и в сельской местности.

Для использования этой технологии для опроса счетчика достаточно подключить GSM-модем с SIM-картой. У этой системы есть свои плюсы – надежность передачи данных, простота и отсутствие УСПД,

ретрансляторов и других устройств. Но есть также минус – оплата услуг связи оператору сотовой сети (рис. 3).

Чтобы снизить затраты на сотовую связь при эксплуатации системы, необходимо внимательно изучить тарифы операторов, работающих в регионе. В АО «ВОЭК» для передачи данных используются операторы Мегафон и Билайн.

Enternet-конвертеры и Wi-Fi модемы

В современных садовых товариществах и в коттеджных поселках нередко прокладываются кабели связи, дающие доступ в Интернет.

В таких случаях могут найти применение Enternet-конвертеры и Wi-Fi модемы, которые обеспечивают связь со счетчиком через всемирную паутину.

Плюсы таких устройств – небольшая стоимость, условно бесплатный трафик и высокая скорость опроса. Минус – устройства требуют предварительной настройки.

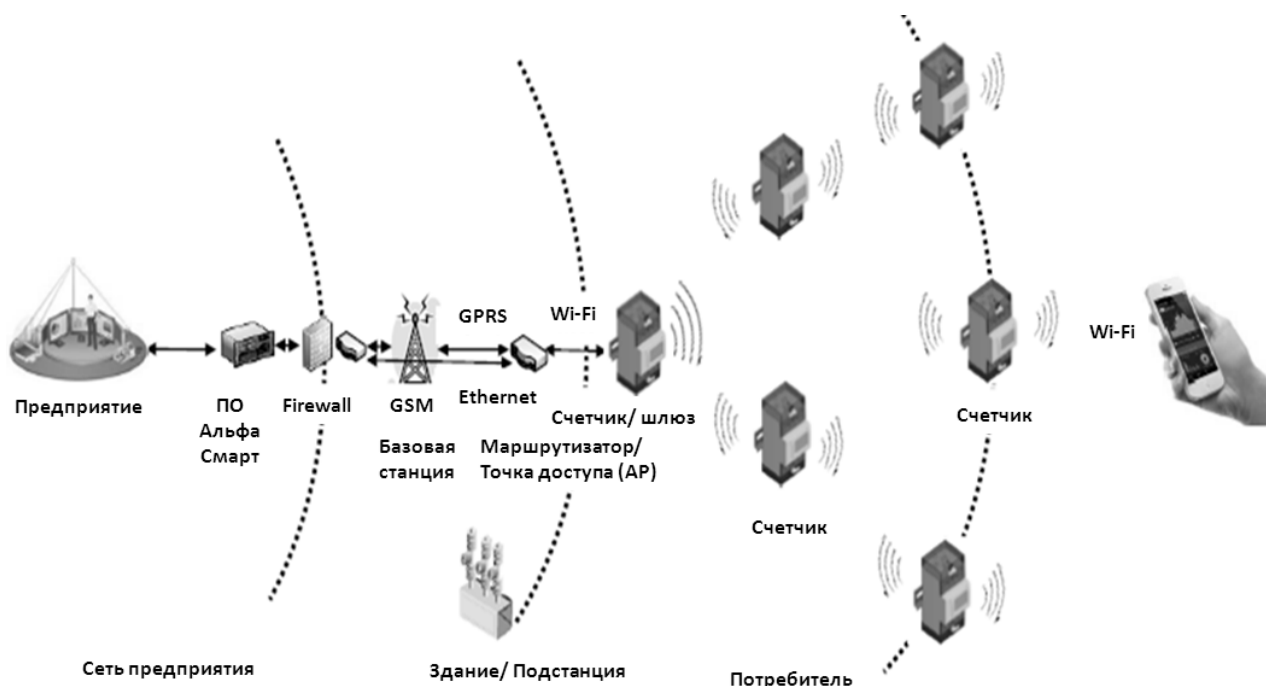


Рис. 4. Решение на базе технологии Wi-Fi

При наличии сети Интернет, оптимальный выбор – Ethernet-конвертер или Wi-Fi модем, который обеспечит беспроводную связь счетчика с точкой доступа в Интернет (рис. 4).

Для выбора рациональной технологии передачи данных необходимо ввести классификацию потребителей электроэнергии и электрических сетей [5].

Потребитель электроэнергии – предприятие, организация, учреждение, здание и т.п., присоединенные к электрическим сетям энергообеспечивающей организации и применяющие электроэнергию с помощью электроприемников [3].

Классификация вводится по трём критериям:

- по уровню напряжения;
- по способу подключения;
- по удаленности.

По уровню напряжения:

- до 0,4 кВ;
- выше 0,4 кВ.

К потребителям до 0,4 кВ относятся: административные здания; банковские и страховые учреждения; учреждения общего образования, начального, среднего и высшего специального образования; учреждения досугового назначения; детские дошкольные учреждения; санатории, дома отдыха; физкультурно-оздоровительные учреждения; предприятия общественного питания; магазины; предприятия бытового обслуживания населения; гостиницы; вокзалы и т.п.; бытовые потребители.

К группе бытовых потребителей наряду с населением относятся подсобные, приусадебные, индивидуальные, садовые участки и дачи, находящиеся в личном пользовании, гаражи для личных машин, личные мастерские художников и скульпторов, а также освещение дворов, лестниц и номерных фонарей.

К потребителям выше 0,4 кВ можно отнести промышленные предприятия, электроустановки выше 1

кВ (понижительные подстанции, судоходные предприятия, металлургические предприятия, троллейбусные и трамвайные сети).

Классификация по типу подключения:

- воздушные линии (ВЛ);
- кабельные линии (КЛ).

Электрические воздушные линии (ВЛ) предназначены для передачи и распределения электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным к различным опорным конструкциям. Воздушные линии электропередачи могут быть с напряжением до 1 кВ включительно и выше 1 кВ (3, 6, 10 кВ и выше по шкале стандартных напряжений) [4].

Кабель представляет собой совокупность нескольких проводников (жил), изолированных друг от друга и от земли и заключенных в общую защитную оболочку. Жилы кабеля служат для передачи электрической энергии.

Классификация по удаленности:

- густонаселенные;
- слабонаселенные.

Данное разделение потребителей также требуется для выбора технологии передачи данных, так как дальность опроса в каждой технологии различаются.

Примечание: густонаселенный район – потребители расположены друг от друга на расстоянии менее 80–100 м; слабонаселенный район – расстояние между потребителями более 100 м.

Таким образом, названные критерии положены в основу методики выбора технологии передачи данных.

Литература

1. Измерение.ru [Электронный ресурс]: инф. портал – Режим доступа – <https://www.izmerenie.ru/>.

2. Техэксперт [Электронный ресурс]: инф.-справ. система / Консорциум «Кодекс». – Санкт-Петербург: Кодекс, 2015. – Режим доступа: <http://www.cntd.ru>.

3. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. – Изд. офиц. – Москва, 2016. – 122 с.

4. Карапетян, И. Г. Справочник по проектированию электрических сетей / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро – Москва: ЭНАС, 2012. – 376 с.

5. Я.Энергетик [Электронный ресурс]: инф. портал. – Режим доступа: <https://yaenergetik.ru>.

M.A. Ivanova, V.A. Babarushkin
Vologda State University

AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR COMMERCIAL ACCOUNTING OF ENERGY MANAGEMENT

Quality of data collection of intellectual metering automated system was considered. Data transfer technology was described, classification according to three criteria of electrical consumers and electric networks by voltage level, by connection type, by distance was proposed. A number of conditions which the reliability of automated information-measuring system of energy management depend on shall be taken into consideration to select rational data transfer technology.

Smart metering system, data transfer technology, remote data collection.



ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ И КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ

Приведена методика статистического анализа на примере данных природных гидрохимических наблюдений. Выполнены автокорреляционный и корреляционный анализы биогенных загрязняющих веществ по малой реке Верхняя Ерга – притоку реки Сухоны Двинско-Печерского водного бассейна. Дан анализ полученным результатам с учетом определения существенности автокорреляционных и корреляционных связей.

Гидрохимическое загрязнение малых водотоков, биогенное загрязнение, нечерноземная зона РФ, корреляционный и автокорреляционный анализы, анализ существенности корреляционных и автокорреляционных связей.

Целью представленных в статье исследований является подбор методостатистических подходов для проведения анализа результатов обработки массивов данных на примере природных гидрохимических наблюдений.

Статистический анализ включает в себя оценку характеристик стохастических данных наблюдений, в том числе проверку на однородность, наличие корреляционных и автокорреляционных связей с учетом оценок параметров регрессионных зависимостей [1–6].

Результаты анализа позволяют с помощью критериев согласия подобрать сглаживающие кривые, характеризующие законы распределения концентрации загрязняющих биогенных веществ в речных водах, а также расходов воды малых рек-водоприемников осушительных мелиоративных систем, и определить их характеристики. Математическое моделирование с целью расширения рядов наблюдений реализуется методом Монте-Карло. Полученные с помощью математического моделирования ряды наблюдений анализируются с точки зрения закона распределения, оценки его характеристик проверяются на смещенность, состоятельность, робастность и эффективность [3]. Эти ряды и соответствующие им законы распределения дают возможность построить кривые обеспеченности, по которым определяется вероятность превышения предельно-допустимой концентрации биогенных веществ в речных водах в створе полного смешения их со сточными водами. Предлагается назначать предельно-допустимое содержание биогенных загрязняющих веществ в этом створе в зависимости от категории реки. Предельно-допустимые сбросы в реку сточных вод из дренажных коллекторов и магистральных каналов определяются с учетом предельно-допустимого содержания загрязняющих веществ в створе полного смешения. В периоды превышения предельно-допустимых сбросов предполагается ряд мероприятий, позволяющих аккумулировать часть сильно загрязненных биогенами сточных вод с целью их повторного использования на сельскохозяйственных угодьях.

Корреляционные связи отражают междурядовую зависимость случайных величин. В данном случае речь идет о поисках зависимости в хронологических рядах наблюдений концентраций биогенных загрязняющих веществ (соединений азотной и фосфорной групп) от расхода воды, а также друг от друга. В азотную группу входят азот аммонийный, нитритный и нитратный. В фосфорную группу – минеральный и общий фосфор. Для исследования корреляционных и автокорреляционных связей между ними и расходом воды выбран типичный для Северо-Западной зоны РФ бассейн рек Двинско-Печерского водосбора. Основу электронного банка составляют многолетние данные природных наблюдений, полученные на стационарных постах Росгидромета [7].

В среднем отбор проб на малых реках производится не более 7–10 раз в год. Для формирования однородных рядов природных наблюдений выделены два расчетных периода: весенний (март–май) и осенний (август–октябрь). Корреляционный анализ проводился как для всего ряда наблюдений, так и для выбранных расчетных периодов. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Коэффициент корреляции определяется по формуле [1]:

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (1)$$

где, $\text{cov}(x, y)$ – ковариация x, y ; σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения сравниваемых выборок.

Значимость коэффициента корреляции оценивалась по следующим показателям:

1. Визуальная оценка. Если r_{xy} стремится к 1 или к (-1), то корреляция значима. Причем, положительное значение коэффициента корреляции определяет прямую зависимость между случайными величинами, отрицательное – обратную.

2. Средняя квадратическая ошибка коэффициента корреляции определяется по формуле [4]:

$$\Delta R = 0.674 \cdot \frac{1-r_{xy}^2}{\sqrt{N-2}}. \quad (2)$$

Если учетверенная ошибка коэффициента корреляции будет меньше значения коэффициента корреляции, то он значим.

3. Приближенная оценка значимости коэффициента корреляции на уровне $\alpha=0,05$ определяется по следующей зависимости [3]:

$$|r_{xy}| \cdot \sqrt{N-1} \geq 2.5. \quad (3)$$

Если условие выполняется, то корреляция значима.

4. Расчетное значение критерия Стьюдента определяется по формуле [1, 3]:

$$t_{\text{рас}} = \frac{r_{xy}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \cdot \sqrt{N-2}. \quad (4)$$

Критическое значение определяется по таблицам [1] в зависимости от уровня значимости ($\alpha=0,05$) и числа степеней свободы ($m=N-2$). Если расчетное значение превышает критическое, то корреляция значима.

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа хронологических натуральных данных для общего ряда и расчетных периодов

Корреляция	Q-Nh ₄ ⁺	Q-NO ₂ ⁻	Q-NO ₃ ⁻	Q-P _{мин}	Q-P _{общ}	Nh ₄ ⁺ -NO ₂ ⁻	Nh ₄ ⁺ -NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻ -NO ₃ ⁻	P _{мин} -P _{общ}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Река Верхняя Ерга, натурные данные за весь период наблюдения									
Количество значений, N	143	146	144	136	122	152	148	152	131
Коэффициент корреляции, r _{xy}	0,03	-0,02	-0,08	0,01	0,13	0,17	-0,03	0,20	0,33
Ошибка r _{xy} ΔR	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05
4ΔR	0,23	0,22	0,22	0,23	0,24	0,21	0,22	0,21	0,21
Значимость	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Примерная оценка	0,34	-0,20	-1,01	0,11	1,39	2,08	-0,40	2,44	3,82
Значимость >2,5 при α=0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Критерий Стьюдента, t _{рас}	0,34	-0,20	-1,01	0,11	1,39	2,11	-0,40	2,48	4,04
Значимость	-	-	-	-	-	+	-	+	+
Река Верхняя Ерга, весенний период									
Количество значений, N	83	84	80	79	69	87	83	85	73
Коэффициент корреляции, r _{xy}	0,02	-0,01	-0,21	-0,03	0,03	-0,01	-0,14	0,20	0,48
Ошибка r _{xy} ΔR	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06
4ΔR	0,30	0,29	0,29	0,30	0,32	0,29	0,29	0,28	0,24
Значимость	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Примерная оценка	0,16	-0,11	-1,84	-0,25	0,23	-0,05	-1,27	1,84	4,05
Значимость >2,5 при α=0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Критерий Стьюдента, t _{рас}	0,16	-0,11	-1,87	-0,25	0,22	-0,05	-1,27	1,87	4,58
Значимость	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Река Верхняя Ерга, осенний период									
Количество значений, N	59	61	61	58	52	64	64	66	57
Коэффициент корреляции, r _{xy}	-0,02	-0,03	0,11	-0,04	0,30	0,36	0,19	0,28	0,11
Ошибка r _{xy} ΔR	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09
4ΔR	0,35	0,34	0,34	0,35	0,34	0,29	0,32	0,31	0,35
Значимость	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Примерная оценка	-0,18	-0,24	0,84	-0,32	2,15	2,87	1,55	2,22	0,80
Значимость >2,5 при α=0,05	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Критерий Стьюдента, t _{рас}	-0,18	-0,24	0,84	-0,32	2,23	3,06	1,56	2,30	0,80
Значимость	-	-	-	-	+	+	-	+	-

- значимость коэффициента корреляции отсутствует;
 + коэффициент корреляции значим;
 α – уровень значимости.

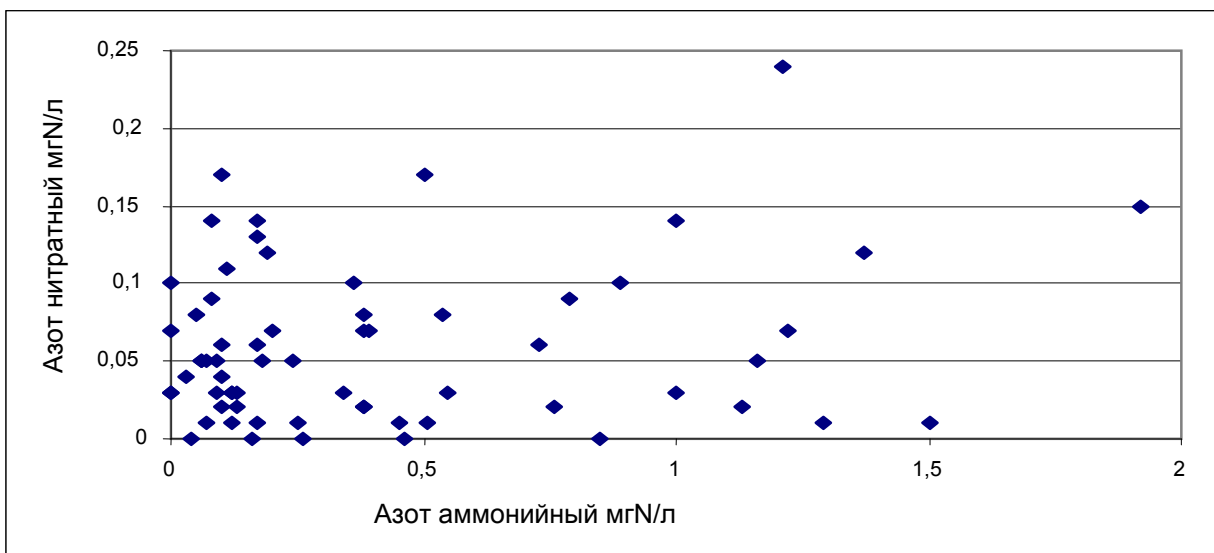


Рис. 1. График, свидетельствующий об отсутствии корреляции между азотом аммонийным и нитратным в осенний период наблюдений

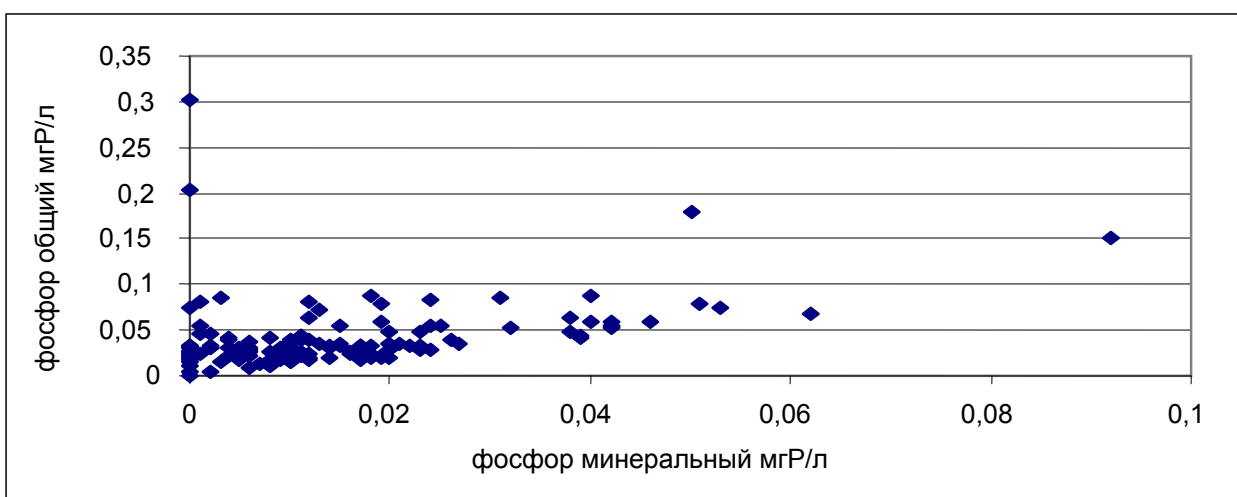


Рис. 2. Зависимость соединений фосфора общего и минерального в общем ряду наблюдений

По результатам анализа натурной информации можно сделать следующие выводы:

1. Зависимость концентраций биогенных загрязняющих веществ от расхода воды не обнаружена.
2. Корреляционная связь установлена между соединениями фосфора. Однако при этом значимость коэффициента корреляции для фосфора минерального и фосфора общего подтверждена лишь для общего ряда наблюдений и весеннего периода.
3. Коэффициент корреляции оказался значимым для азота аммонийного и нитритного в весенний период наблюдений.
4. Значимость коэффициента корреляции только по одному из трех рассмотренных оценок установлена в общем ряду наблюдений между азотом аммонийным и нитритным, азотом нитритным и нитратным; в осеннем периоде наблюдений – между расходом и фосфором общим, азотом нитритным и нитратным.

На рис. 1 представлен график, характерный для большинства сравниваемых массивов. Разброс точек в виде «облака» графически подтверждает отсутствие корреляционных связей между рассматриваемыми

случайными величинами. Рис. 2, напротив, свидетельствует о наличии корреляционной связи между минеральным и общим фосфором.

Следующим этапом анализа является выявление автокорреляционных связей между соседними случайными величинами в хронологических рядах наблюдений.

Результаты автокорреляционного анализа приведены в таблице 2. Автокорреляционный анализ выполнен для хронологических рядов натуральных наблюдений по реке Верхняя Ерга как для общего ряда, так и для расчетных периодов.

Коэффициент автокорреляции определяется по формуле [1, 5]:

$$r_{aem} = \frac{cov(x_1, x_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} (x_i - x_{cp1})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (x_{i+1} - x_{cp2})^2}}, \quad (5)$$

где $cov(x_1, x_2)$ – ковариация смежных значений ряда; x_{cp1} , x_{cp2} – средние арифметические значения из элементов ряда $(i - N - 1)$ и $(i + 1 - N)$.

**Результаты автокорреляционного анализа хронологических натуральных данных
для общего ряда и расчетных периодов**

Автокорреляция	Q	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	P _{мин}	P _{общ}
1	2	3	4	5	6	7
Река Верхняя Ерга, натурные данные за весь период наблюдения						
Количество значений, N	147	153	156	152	148	131
Коэффициент автокорреляции, r _{авт}	-0,03	0,36	0,11	0,09	0,24	-0,02
По Нейману	2,05	1,26	1,78	1,77	1,50	1,92
Значимость	-	+	-	-	+	-
По Андерсону	-	+	-	-	+	-
По Стъденту	-0,33	4,67	1,34	1,13	3,05	-0,22
Значимость	-	+	-	-	+	-
Река Верхняя Ерга, весенний период						
Количество значений, N	85	88	89	85	84	73
Коэффициент автокорреляции, r _{авт}	-0,16	0,29	-0,03	-0,05	0,12	-0,11
По Нейману	2,30	1,40	2,06	2,02	1,69	1,97
Значимость	-	+	-	-	-	-
По Андерсону	-	+	-	-	-	-
По Стъденту	-1,44	2,76	-0,32	-0,41	1,11	-0,95
Значимость	-	+	-	-	-	-
Река Верхняя Ерга, осенний период						
Количество значений, N	61	64	66	66	63	57
Коэффициент автокорреляции, r _{авт}	-0,03	0,29	0,0005	-0,05	0,29	-0,05
По Нейману	2,06	1,37	2,00	2,10	1,18	2,08
Значимость	-	+	-	-	+	-
По Андерсону	-	+	-	-	+	-
По Стъденту	-0,23	2,38	0,00	-0,42	2,36	-0,36
Значимость	-	+	-	-	+	-

Значимость коэффициента автокорреляции определяется тремя способами:

1. По зависимости Неймана, которая представляет собой отношение среднего квадрата последовательных разностей к дисперсии [2, 5]:

$$\frac{\delta^2}{\sigma^2} = \frac{1}{N-1} \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{cp})^2}. \quad (6)$$

Для определения значимости коэффициента автокорреляции в зависимости от отношения Неймана существуют специальные таблицы [5].

2. Значимость коэффициента автокорреляции устанавливается также по кривой связи Андерсона [5]. Кривая представляет собой зависимость коэффициента автокорреляции от количества значений в выборке, при этом на графике указана область, в которой коэффициент автокорреляции значим при заданном уровне значимости.

3. Проверка значимости автокорреляции по критерию Стъдента аналогична проверке значимости коэффициента корреляции.

По полученным результатам автокорреляционного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициент автокорреляции значим в хронологических общих натуральных рядах наблюдений и в осенний период для азота аммонийного и фосфора минерального; в весенний период – для азота аммонийного.

2. Коэффициент автокорреляции не значим для расхода воды, азота нитритного, нитратного и фосфора общего.

Полученные статистические характеристики о наличии корреляционных связей между случайными величинами, какими являются расход воды в малых реках и концентрации биогенных загрязняющих веществ, а также автокорреляционные связи внутри хронологических рядов наблюдений могут быть использованы при организации математического моделирования упомянутых случайных величин с целью получения репрезентативных рядов этих величин.

Литература

1. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семенов. – Москва: Наука, 1980. – 977 с.
2. Гавич, И. К. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач / И. К. Гавич, С. М. Семенова, В. М. Швец. – Москва: Высшая школа, 1981. – 159 с.
3. Максимум, Ю. Д. Математика. Вып. 8: Математическая статистика: опорный конспект / Ю. Д. Максимум. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 96 с.
4. Михалев, М. А. Инженерная гидрология / М. А. Михалев. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2003. – 360 с.
5. Гидрологические основы гидротехники / А. Ш. Резниковский, А. Ю. Александров, В. В. Атурин и др. – Москва: Энергия, 1979. – 232 с.

6. Общая теория статистики / Т. В. Рябушкин, М. Р. Ефимова, И. М. Ипатова, Н. И. Яковлева. – Москва: финансы и статистика, 1981. – 279 с.

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Северное территориальное управление по гидрометеорологии и

мониторингу окружающей среды. Государственный водный кадастр. Раздел 1: Поверхностные воды. Серия 2: Ежегодные данные Ежегодные данные о качестве поверхностных вод. Часть 1: Реки и каналы. Том 1 (28) РФ (Бассейны рек на территории Архангельской, Вологодской и республики Коми).

S.N. Kovalenko
Vologda State University

STUDY OF AUTO-CORRELATION AND CORRELATION DEPENDENCE USING THE EXAMPLE OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SMALL WATERCOURSES POLLUTION

The technique of statistical analysis of data of field hydrochemical observations is given. The autocorrelation and correlation analysis of biogenic pollutants were carried out along the small river Verkhnyaya Erga of the Sukhona Dvinsko-Pechersk water basin. The analysis of the obtained results is given, taking into account the determination of the significance of autocorrelation and correlation links.

Hydrochemical pollution of small watercourses, biogenic pollution, nonchernozem zone of the Russian Federation, correlation and autocorrelation analysis, analysis of the significance of correlation and autocorrelation links.



Э. Мухамадиев
 Вологодский государственный университет
С. Байзаев
 Таджикский государственный университет
 права, бизнеса и политики
М.А. Очилова
 Худжандский государственный университет

ПОЛНОТА ПРОСТРАНСТВА РАВНОМЕРНО СХОДЯЩИХСЯ РЯДОВ ФУРЬЕ ПО НЕСИММЕТРИЧЕСКИМ ЧАСТИЧНЫМ СУММАМ

Вводятся понятия несимметрических частичных сумм ряда Фурье и равномерной сходимости этого ряда. Доказывается полнота пространства равномерно сходящихся рядов Фурье непрерывных функций по несимметрическим частичным суммам.

Ряды Фурье, несимметрические частичные суммы, равномерная сходимость, полнота пространства, пространство гёльдеровых функций, математический анализ, обработка информации.

В ряде случаев при исследованиях амплитудных и гармонических колебаний в информационных системах требуется математическое описание равномерно сходящихся рядов, для чего используются ряды Фурье.

Ряды Фурье [1, 2] и их срезки [3, 4] используются в решении многих задач математики и смежных наук, в частности в исследовании сингулярного интегрального уравнения типа Гильберта.

Ряд Фурье 2π -периодической функции $f(t)$ обозначим:

$$(Sf)(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(f) e^{ikt}, \quad (1)$$

где коэффициенты $c_k(f)$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) определяются равенством

$$c_k(f) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) e^{-ikt} dt.$$

Частичные суммы ряда (1) определяются как [1, с. 17]

$$(S_{-n,n}f)(t) = \sum_{k=-n}^n c_k(f) e^{ikt}. \quad (2)$$

Наряду с (2) рассмотрим несимметрические частичные суммы

$$(S_{-m,n}f)(t) = \sum_{k=-m}^n c_k(f) e^{ikt} \quad (m, n > 0).$$

Будем говорить, что ряд (1) **сходится равномерно** к функции $f(t)$ по несимметрическим частичным суммам на отрезке $[0, 2\pi]$, если

$$\lim_{m, n \rightarrow +\infty} \|f - S_{-m,n}f\|_C = 0, \quad (3)$$

где $\|\cdot\|_C$ – норма в $C[0, 2\pi]$. В дальнейшем под термином «сходится равномерно» будем понимать сходимость по несимметрическим частичным суммам.

Критерий Коши о равномерной сходимости позволяет сформулировать равномерную сходимость ряда Фурье, где участвуют лишь коэффициенты Фу-

рье функции $f(t)$: ряд (1) сходится равномерно на отрезке $[0, 2\pi]$ тогда и только тогда, когда

$$\lim_{m, n \rightarrow +\infty} \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| \sum_{k=-m-q}^{-m-1} c_k(f) e^{ikt} + \sum_{k=n+1}^{n+p} c_k(f) e^{ikt} \right| = 0$$

равномерно относительно $p \geq 1, q \geq 1$.

Каждый из односторонних рядов

$$(S_{1,+\infty}f)(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{n}_k(f) e^{ikt},$$

$$(S_{-\infty,-1}f)(t) = \sum_{k=-\infty}^{-1} \tilde{n}_k(f) e^{ikt} \quad (4)$$

называется **срезкой** ряда Фурье (1) функции $f(t)$.

Равномерная сходимость последовательности частичных сумм $(S_{-m,n}f)(t)$ тесно связана с равномерной сходимостью срезов $(S_{1,+\infty}f)(t)$ и $(S_{-\infty,-1}f)(t)$. А именно, справедлива теорема.

Теорема 1. Пусть ряд Фурье (1) непрерывной 2π -периодической функции $f(t)$ сходится равномерно по $t \in [0, 2\pi]$. Тогда существуют функции $f^{(+)} \in C[0, 2\pi]$ и $f^{(-)} \in C[0, 2\pi]$, являющиеся равномерными пределами рядов (4) соответственно:

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| f^{(+)}(t) - \sum_{k=1}^n c_k(f) e^{ikt} \right| = 0, \quad (5)$$

$$\lim_{m \rightarrow +\infty} \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| f^{(-)}(t) - \sum_{k=-m}^{-1} c_k(f) e^{ikt} \right| = 0. \quad (6)$$

Доказательство. Пусть ряд (1) равномерно сходится. Покажем равномерную сходимость первой из срезов (4). Это означает существование непрерывной функции $f^{(+)}(t)$, что для любого $\varepsilon > 0$ найдется $N(\varepsilon) > 0$ такое, что для любого $n \geq N(\varepsilon)$ выполняется неравенство $\|f^{(+)} - S_{1,n}f\|_C \leq \varepsilon$. Согласно критерию Коши достаточно доказать, что для любого $\varepsilon > 0$ существует такое $N(\varepsilon) > 0$, что имеет место неравенство

$$\left\| \sum_{k=n+1}^{n+p} c_k(f) e^{ikt} \right\|_C \leq \varepsilon, \quad (7)$$

где $n \geq N(\varepsilon)$ и $p = 1, 2, \dots$ – произвольные числа.

Так как ряд (1) равномерно сходится, то по заданному $\varepsilon > 0$ можно найти $M_1(\varepsilon) > 0$ и $N_1(\varepsilon) > 0$ такие, что для любых номеров $m \geq M_1(\varepsilon)$ и $n \geq N_1(\varepsilon)$ выполняется неравенство

$$\|f - S_{-m,n}f\|_C \leq \frac{\varepsilon}{2}.$$

Отсюда, в частности, получаем $\|f - S_{-m,n+p}f\|_C \leq \frac{\varepsilon}{2}$ для любого $p = 1, 2, \dots$. Поэтому

$$\begin{aligned} \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| \sum_{k=n+1}^{n+p} c_k(f) e^{ikt} \right| &= \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| \sum_{k=-m}^{n+p} c_k(f) e^{ikt} - \sum_{k=-m}^n c_k(f) e^{ikt} \right| = \\ &= \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| \sum_{k=-m}^{n+p} c_k(f) e^{ikt} - f - \sum_{k=-m}^n c_k(f) e^{ikt} + f \right| \leq \\ &\leq \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| \sum_{k=-m}^{n+p} c_k(f) e^{ikt} - f \right| + \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| \sum_{k=-m}^n c_k(f) e^{ikt} - f \right| < \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon}{2} = \varepsilon. \end{aligned}$$

Соотношение (7) доказано. Из равномерной сходимости первой из срезок (4) вытекает непрерывность ее предела. Обозначив этот предел $f^{(+)}(t)$, будем иметь включение $f^{(+)} \in C[0, 2\pi]$ и справедливость (5).

Аналогичным образом доказывается существование непрерывной функции $f^{(-)}(t)$ и справедливость соотношения (6).

Теорема 1 доказана.

Отметим, что обратное утверждение к теореме 1 является очевидным: если срезки $(S_{1,+\infty}f)(t)$ и $(S_{-\infty,-1}f)(t)$ являются равномерно сходящимися рядами, то частичные суммы $(S_{-m,n}f)(t)$ ряда Фурье самой функции также являются равномерно сходящимися.

Из определения равномерной сходимости по несимметрическим частичным суммам и теоремы 1 нетрудно заметить справедливость утверждения: для равномерной сходимости ряда Фурье функции $f(t)$ необходимо и достаточно компактности семейства функций $(S_{-m,n}f)(t)$, $m \geq 0$, $n \geq 0$.

В пространстве $C[0, 2\pi]$ выделяем множество всех 2π -периодических функций $f(t)$, ряд Фурье которых сходятся к этой функции равномерно по $t \in [0, 2\pi]$. Обозначим это множество $FC[0, 2\pi]$.

Теорема 2. Множество $FC[0, 2\pi]$ является полным нормированным пространством с нормой

$$\|f\|_{FC} = \sup_{m,n>0} \|S_{-m,n}f\|_C. \quad (8)$$

Доказательство. Линейность. Пусть $f(t)$ и $g(t)$ являются непрерывными 2π -периодическими

функциями с равномерно сходящимися на отрезке $[0, 2\pi]$ рядами Фурье. Тогда ряд Фурье функции $h(t) = \alpha f(t) + \beta g(t)$ сходится к этой функции равномерно по $t \in [0, 2\pi]$ для любых постоянных α и β . Линейность $FC[0, 2\pi]$ доказана.

Выполнение аксиом нормы для функционала (8) проверяется непосредственно.

Покажем, что норма, определенная равенством (8), является более сильной по сравнению с нормой пространства $C[0, 2\pi]$, точнее для любой функции $f \in FC[0, 2\pi]$ имеет место неравенство

$$\|f\|_C \leq \|f\|_{FC}. \quad (9)$$

Действительно, пусть $f \in FC[0, 2\pi]$ – произвольная функция. Так как ряд Фурье (1) функции $f(t)$ сходится к этой функции равномерно по $t \in [0, 2\pi]$, то для его остатка

$$f(t) - (S_{-m,n}f)(t) = \sum_{k=-\infty}^{-m-1} c_k(f) e^{ikt} + \sum_{k=n+1}^{\infty} c_k(f) e^{ikt}$$

справедливо соотношение (3).

Для произвольных $m, n > 0$ имеет место неравенство

$$\left| (S_{-m,n}f)(t) \right| \geq |f(t)| - \left| f(t) - (S_{-m,n}f)(t) \right|. \quad (10)$$

Переходя в неравенстве (10) к максимумам по $t \in [0, 2\pi]$, получим

$$\begin{aligned} \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| (S_{-m,n}f)(t) \right| &\geq \max_{0 \leq t \leq 2\pi} |f(t)| - \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| f(t) - (S_{-m,n}f)(t) \right| \geq \\ &\geq \max_{0 \leq t \leq 2\pi} |f(t)| - \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| f(t) - (S_{-m,n}f)(t) \right|. \quad (11) \end{aligned}$$

Так как

$$\max_{0 \leq t \leq 2\pi} |f(t)| = \|f\|_C, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| (S_{-m,n}f)(t) \right| &\leq \sup_{m,n>0} \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| (S_{-m,n}f)(t) \right| = \\ &= \|f\|_{FC}, \quad (13) \end{aligned}$$

то из (11) в силу (12) и (13), получим

$$\|f\|_{FC} \geq \|f\|_C - \max_{0 \leq t \leq 2\pi} \left| f(t) - (S_{-m,n}f)(t) \right|. \quad (14)$$

Неравенство (14) верно для всех положительных m и n . Переходя в (14) к пределу при $m \rightarrow \infty$ и $n \rightarrow \infty$, получаем справедливость неравенства (9).

Докажем, что любая фундаментальная последовательность $\{f_i\}$ из $FC[0, 2\pi]$ имеет предел в этом множестве.

Фундаментальность последовательности $\{f_i\}$ в $FC[0, 2\pi]$ означает выполнение равенства

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \|f_{l+p} - f_l\|_{FC} = 0 \quad (15)$$

равномерно по $p \geq 1$. Отсюда и из неравенства (9) – подчиненности норм – вытекает равенство $\lim_{l \rightarrow \infty} \|f_{l+p} - f_l\|_C = 0$. Это равенство показывает фундаментальность последовательности $\{f_l\}$ в $C[0, 2\pi]$. Из полноты пространства $C[0, 2\pi]$ вытекает существование функции $f_0 \in C[0, 2\pi]$ такой, что

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \|f_0 - f_l\|_C = 0. \quad (16)$$

Покажем, что функция $f_0(t)$ принадлежит и пространству $FC[0, 2\pi]$, то есть

$$\lim_{m, n \rightarrow +\infty} \|S_{-m, n} f_0 - f_0\|_C = 0 \quad (17)$$

равномерно по $q \geq 1, p \geq 1$.

Из равенства (15) – фундаментальности последовательности $\{f_l\}$ в $FC[0, 2\pi]$ – следует, что для любого $\varepsilon > 0$ найдется номер $l_0(\varepsilon) > 0$ такой, что равномерно по $p \geq 1$ выполняется неравенство

$$\|f_{l+p} - f_l\|_{FC} \equiv \sup_{m, n > 0} \|S_{-m, n} f_{l+p} - S_{-m, n} f_l\|_C < \varepsilon \quad (18)$$

для всех $l \geq l_0(\varepsilon)$. Следовательно,

$$\|f_{l+p} - f_l\|_C < \varepsilon, \quad \|S_{-m, n} f_{l+p} - S_{-m, n} f_l\|_C < \varepsilon$$

для всех $m \geq 1, n \geq 1, l \geq l_0(\varepsilon)$ и $p \geq 1$. Отсюда, в силу (16) и непрерывной зависимости коэффициентов Фурье $c_k(f)$ функции f в пространстве $C[0, 2\pi]$, переходя к пределу при $p \rightarrow \infty$, получим

$$\|f_0 - f_l\|_C \leq \varepsilon, \quad (19)$$

$$\|S_{-m, n} f_0 - S_{-m, n} f_l\|_C \leq \varepsilon \quad (20)$$

для всех $m \geq 1, n \geq 1, l \geq l_0(\varepsilon)$.

Так как

$$\begin{aligned} \|f_0 - S_{-m, n} f_0\|_C &\leq \|f_0 - f_l\|_C + \\ &+ \|f_l - S_{-m, n} f_l\|_C + \|S_{-m, n} f_l - S_{-m, n} f_0\|_C, \end{aligned}$$

то в силу (19) и (20) имеем

$$\|f_0 - S_{-m, n} f_0\|_C \leq 2\varepsilon + \|f_l - S_{-m, n} f_l\|_C \quad (21)$$

для всех $m \geq 1, n \geq 1, l \geq l_0(\varepsilon)$. В неравенстве (21) при фиксированном $l \geq l_0(\varepsilon)$, переходя к пределу при $m \rightarrow \infty, n \rightarrow \infty$, получим оценку

$$\lim_{m, n \rightarrow \infty} \|f_0 - S_{-m, n} f_0\|_C \leq 2\varepsilon. \quad (22)$$

В силу произвольности $\varepsilon > 0$ из оценки (22) следует справедливость равенства (17). Таким образом, $f_0 \in FC[0, 2\pi]$.

Из неравенства (20) следует, что

$$\|f_0 - f_l\|_{FC} \leq \varepsilon \quad (23)$$

для всех $l \geq l_0(\varepsilon)$. Таким образом, нами доказано равенство

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \|f_l - f_0\|_{FC} = 0. \quad (24)$$

Теорема 2 доказана.

Существуют непрерывные функции, ряды Фурье которых расходятся в некоторых точках. Классическим примером таких функций является пример Дюбуа-Реймонда [5, с. 497–502]. Отсюда следует, что пространство непрерывных функций $C[0, 2\pi]$ шире пространства функций с равномерно сходящимися рядами Фурье $FC[0, 2\pi]$. Однако, пространство $FC[0, 2\pi]$ шире любого пространства Гельдера $H^\gamma[0, 2\pi]$ ($0 < \gamma < 1$) – непрерывных 2π -периодических функций $f(t)$, удовлетворяющих так называемому условию Гельдера с показателем γ :

$$|f(t+h) - f(t)| \leq H(f)|h|^\gamma$$

для всех $t \in [0, 2\pi], t+h \in [0, 2\pi]$, а $H(f) > 0$ – постоянная Гельдера, не зависящая от h . Таким образом, справедливы включения

$$H^\gamma[0, 2\pi] \subset FC[0, 2\pi] \subset C[0, 2\pi],$$

причем все подмножества являются собственными.

Доказательством этого факта является следующий равномерно сходящийся ряд Фурье, сумма которого не принадлежит пространству $H^\gamma[0, 2\pi]$ ни при одном значении $\gamma: 0 < \gamma < 1$:

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin b_n t,$$

где $a_n = \frac{1}{2^n}, n = 1, 2, \dots$;

$$b_1 = 2; \quad b_{n+1} = 2^{b_n}, \quad n = 1, 2, \dots$$

$$\text{Обозначим } h_m = \frac{\pi}{2b_m}, \quad m = 1, 2, \dots$$

$$\text{Тогда } b_m h_m = \frac{\pi}{2}, \quad m = 1, 2, \dots$$

При $t = 0, h = h_m, m = 1, 2, \dots$ имеем

$$\begin{aligned} \frac{f(t+h) - f(t)}{h^\gamma} \Big|_{t=0, h=h_m} &= \\ &= \frac{1}{h_m^\gamma} \left[\sum_{n=1}^{m-1} a_n \sin b_n h_m + a_m \sin b_m h_m + \sum_{n=m+1}^{\infty} a_n \sin b_n h_m \right]. \quad (25) \end{aligned}$$

1) Покажем, что

$$\sin b_n h_m = 0 \quad \text{при } n \geq m+1, m \geq 2. \quad (26)$$

Имеем $b_n h_m = 2^{b_{n-1}} \cdot \frac{\pi}{2b_m} = 2^{b_{n-1}-b_{m-1}-1} \pi$. Если

$m \geq 2$, то $b_{n-1} - b_{m-1} - 1$ является целым числом. Тогда $2^{b_{n-1}-b_{m-1}-1} \pi$ – кратно π и, следовательно, имеет место равенство (26). Отсюда получаем, что $\sum_{n=m+1}^{\infty} a_n \sin b_n h_m = 0$ для всех $m \geq 2$.

2) Для среднего слагаемого (25), получаем

$$\frac{1}{h_m^\gamma} a_m \sin b_m h_m = \left(\frac{\pi}{2b_m}\right)^{-\gamma} \frac{1}{2^m} \sin \frac{\pi}{2} = \left(\frac{2}{\pi}\right)^\gamma 2^{\gamma b_{m-1}-m}. \quad (27)$$

Так как для любого $\gamma: 0 < \gamma < 1$ справедливо соотношение $\gamma b_{m-1} - m \rightarrow +\infty$ при $m \rightarrow \infty$, то из (27) будем иметь $\frac{1}{h_m^\gamma} a_m \sin b_m h_m \rightarrow +\infty$ при $m \rightarrow \infty$.

3) Рассмотрим первое слагаемое в правой части (25). При $1 \leq n \leq m-1$ имеем $0 < b_n h_m < \frac{\pi}{2}$. Поэтому $\sin b_n h_m < b_n h_m$ при $1 \leq n \leq m-1$, и, следовательно, $\frac{1}{h_m^\gamma} \sum_{n=1}^{m-1} a_n \sin b_n h_m < \frac{1}{h_m^\gamma} \sum_{n=1}^{m-1} a_n b_n h_m = h_m^{1-\gamma} \sum_{n=1}^{m-1} a_n b_n$.

Докажем, что если $m \geq 5$, то имеет место соотношение

$$\sum_{n=1}^{m-1} a_n b_n < a_{m-2} b_{m-1}. \quad (28)$$

Доказательство проведем методом математической индукции. При $m=5$ имеем: $\sum_{n=1}^{m-1} a_n b_n \Big|_{m=5} = 4 + 2^{12}$, $a_{m-2} b_{m-1} \Big|_{m=5} = 2^{13}$. Отсюда, $4 + 2^{12} < 2^{13}$.

Пусть неравенство (28) имеет место при $m = k > 5$:

$$\sum_{n=1}^{k-1} a_n b_n < a_{k-2} b_{k-1}. \quad (29)$$

Покажем справедливость (28) при $m = k+1$:

$$\sum_{n=1}^k a_n b_n < a_{k-1} b_k.$$

Рассмотрим функцию $\varphi(x) = 2^x - 4x$. Она является возрастающей на промежутке $(2 + \log_2 \log_2 e, +\infty)$. Так как $\varphi(4) = 0$, то $\varphi(x) > 0$ для всех $x > 4 > 2 + \log_2 \log_2 e$. Таким образом, нами доказано неравенство

$$2^x > 4x \quad (x > 4). \quad (30)$$

Используя (29) и (30), получим

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^k a_n b_n &= \sum_{n=1}^{k-1} a_n b_n + a_k b_k < a_{k-2} b_{k-1} + a_k b_k = \frac{1}{2^{k-2}} b_{k-1} + \frac{1}{2^k} 2^{b_{k-1}} = \\ &= \frac{1}{2^k} (2^2 b_{k-1} + 2^{b_{k-1}}) < \frac{1}{2^k} (2^{b_{k-1}} + 2^{b_{k-1}}) = \frac{1}{2^{k-1}} 2^{b_{k-1}} = a_{k-1} b_k. \end{aligned}$$

Неравенство (28) доказано. При $m \geq 5$ из (28) будем иметь

$$\sum_{n=1}^{m-1} a_n b_n < a_{m-2} b_{m-1} = \frac{1}{2^{m-2}} \cdot 2^{b_{m-2}} = 2^{b_{m-2}-m+2}.$$

$$\text{Поэтому } \frac{1}{h_m^\gamma} \sum_{n=1}^{m-1} a_n \sin b_n h_m < 4 \left(\frac{\pi}{2}\right)^{1-\gamma} \cdot 2^{(\gamma-1)b_{m-1}+b_{m-2}-m}.$$

Так как $\gamma - 1 < 0$, то

$$(\gamma - 1)b_{m-1} + b_{m-2} - m \rightarrow -\infty \text{ при } m \rightarrow \infty,$$

$$\text{и, следовательно, } 4 \left(\frac{\pi}{2}\right)^{1-\gamma} \cdot 2^{(\gamma-1)b_{m-1}+b_{m-2}-m} \rightarrow 0$$

при $m \rightarrow \infty$. Поэтому,

$$\frac{1}{h_m^\gamma} \sum_{n=1}^{m-1} a_n \sin b_n h_m \rightarrow 0 \text{ при } m \rightarrow \infty.$$

Таким образом, нами доказано соотношение

$$\left| \frac{f(t+h) - f(t)}{h^\gamma} \right|_{t=0, h=h_m} \rightarrow \infty \text{ при } m \rightarrow \infty,$$

которое означает, что функция $f(t)$ не принадлежит пространству Гёльдера H^γ ни для одного значения $\gamma: 0 < \gamma < 1$.

Аналогичным свойством обладает и непрерывная 2π -периодическая функция $\varphi(t)$, которая на отрезке $[0, \pi]$ определяется следующим образом:

$$\varphi(t) = \begin{cases} 0, & t = 0, \\ \varphi_k(t), & t \in (\alpha_k, \beta_k], \quad k = 1, 2, \dots, \end{cases}$$

где

$$\varphi_k(t) = \begin{cases} \alpha_k^\sigma (t - \alpha_k)^{\alpha_k/2}, & t \in (\alpha_k, \xi_k], \\ \alpha_k^\sigma (\beta_k - t)^{\alpha_k/2}, & t \in (\alpha_k, \xi_k], \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots,$$

$$\alpha_k = \frac{\pi}{2^k}, \quad \beta_k = 2\alpha_k, \quad \xi_k = \frac{1}{2}(\alpha_k + \beta_k), \quad k = 1, 2, \dots,$$

$\sigma: 1 < \sigma < 2$ – произвольное число. На отрезке $[-\pi, 0]$ продолжается по четности:

$$\varphi(t) = \varphi(-t), \quad t \in [-\pi, 0].$$

Можно показать, что: 1) построенная функция $\varphi(t)$ $t \in [-\pi, \pi]$ равномерно по $t \in [-\pi, \pi]$ удовлетворяет условию Дини, что гарантирует равномерную сходимость ряда Фурье этой функции на отрезке $[-\pi, \pi]$, и не принадлежит пространству Гёльдера $H^\gamma[-\pi, \pi]$ ни при одном значении $\gamma: 0 < \gamma < 1$.

Таким образом, предложенное математическое описание и его доказательство позволяет использовать пространство равномерно сходящихся рядов Фурье в математическом анализе гармонических колебаний при обработке массивов информации.

Литература

1. Кахан, Ж.-П. Абсолютно сходящиеся ряды Фурье / Ж.-П. Кахан. – Москва: Мир, 1976. – 206 с.

2. Эдвардс, Р. Ряды Фурье в современном изложении: в 2 т. Т. 1 / Р. Эдвардс. – Москва: Мир, 1985. – 264 с.

3. Назимов, А. Б. Метод регуляризации сдвигом: теория и приложения: монография / А. Б. Назимов, Э. М. Мухамадиев, В. А. Морозов, М. Муллоджанов. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 368 с.

4. Назимов, А. Б. Сингулярные интегральные уравнения Гильберта нейтрального типа: теория и алгоритмы: монография / А. Б. Назимов, М. Муллоджанов, Н. О. Менухова. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 244 с.

5. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 3 / Г. М. Фихтенгольц. – Москва: Наука, 1969. – 658 с.

E. Mukhamadiev

Vologda State University

S. Baizaev

Tajik State University of Law, Business and Politics

M.A. Ochilova

Khujand State University

COMPLETENESS OF THE SPACE OF UNIFORMLY CONVERGENT FOURIER SERIES ON NON-SYMMETRIC PARTIAL SUMS

The term of non-symmetric partial sums of the Fourier series and uniform convergence of this series are introduced. The completeness of the space of uniformly convergent Fourier series of continuous functions on non-symmetric partial sums is proved.

Fourier series, non-symmetric partial sums, uniform convergence, completeness of space, space of Holder, mathematical analysis, information processing.



ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ

В статье исследована разрешимость одного класса нелинейных уравнений с малым параметром в евклидовом пространстве конечномерных вещественных векторов. Исследование данного класса уравнений затруднено тем, что главная линейная часть уравнения не обратима, поэтому известные теоремы не применимы. В настоящей работе для исследования разрешимости рассматриваемого класса уравнений применен новый метод, в котором сочетаются метод Понтрягина из теории автономных систем на плоскости и методы вычисления вращения векторных полей. Сформулирована и доказана теорема об условиях разрешимости исследуемого класса нелинейных уравнений. В качестве приложения доказана новая теорема о разрешимости периодической задачи для системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений.

Нелинейное уравнение с малым параметром, метод Понтрягина, вращение векторного поля, периодическая задача, математический анализ, обработка информации.

1. Введение

Статья посвящена исследованию разрешимости нелинейных уравнений следующего вида:

$$Ax = \mu f(x, \mu), \quad x \in R^n. \quad (1)$$

Здесь R^n – евклидово пространство n -мерных вещественных векторов со скалярным произведением

$$\langle x, y \rangle = x_1 y_1 + \dots + x_n y_n, \quad x, y \in R^n.$$

μ – вещественный параметр, $A: R^n \rightarrow R^n$ – линейный оператор, $g: R^{n+1} \rightarrow R^n$ – непрерывное отображение.

Если оператор A обратим, то уравнение (1) сводится к уравнению

$$x = \mu A^{-1} f(x, \mu), \quad x \in R^n, \quad (2)$$

и, применяя теорему Брауэра о неподвижной точке [1], можно доказать, что при малых значениях параметра μ уравнение (2) разрешимо.

В настоящей статье исследуется разрешимость уравнения (1) в случае, когда оператор A не обратим. В этом случае применяется новый метод, исходящий от метода Понтрягина, известного в теории автономных систем на плоскости [2; 3, с. 203]. Метод Понтрягина применяется для доказательства существования предельного цикла возмущенной автономной системы с малым параметром на плоскости. Основная идея метода Понтрягина заключается в том, что при использовании нелинейного возмущения выделяется определенное решение невозмущенной автономной системы и посредством этого решения доказываем существование решения возмущенной автономной системы. Данная идея в настоящей работе реализована применительно к нелинейным уравнениям вида (1). К тому же, в отличие от метода Понтрягина, не предполагается дифференцируемость нелинейного отображения f и применяется теория вращения векторных полей [4, с. 135-157]. Сформулирована и доказана теорема о

разрешимости уравнения (1) при малых значениях параметра μ . В качестве приложения исследована периодическая задача

$$y' = Cy + \mu g(t, y, \mu), \quad t \in (0, \omega), \quad (3)$$

$$y \in R^n, \quad y(0) = y(\omega)$$

в резонансном случае, т.е. в случае, когда матрица C имеет чисто мнимые собственные значения $\pm i2\pi/\omega$. Полученные результаты являются новыми и в последующем могут быть использованы при исследовании краевых задач для нелинейных дифференциальных уравнений.

2. Основные результаты

Для формулировки основных результатов введем ряд обозначений. Обозначим через A^* оператор, сопряженный к оператору A . Пусть $N(A)$, $N(A^*)$ – ядра операторов A и A^* , а $R(A)$, $R(A^*)$ – их области значений, $R(A)^\perp$, $R(A^*)^\perp$ – ортогональные дополнения к $R(A)$, $R(A^*)$.

Общеизвестны следующие равенства [1]:

$$R(A)^\perp = N(A^*), \quad R(A) \oplus N(A^*) = R^n,$$

$$R(A^*)^\perp = N(A),$$

$$R(A^*) \oplus N(A) = R^n, \quad \dim R(A) = \dim R(A^*),$$

$$\dim N(A) = \dim N(A^*).$$

Из последнего равенства следует существование линейного обратимого оператора $B: N(A^*) \rightarrow N(A)$. А также заметим, что обратим оператор $\bar{A}: R(A^*) \rightarrow R(A)$ – сужение оператора A на подпространстве $R(A^*)$. Далее, обозначим через P и Q ортогональные проекторы $P: R^n \rightarrow N(A)$, $Q: R^n \rightarrow N(A^*)$.

Лемма 1. Если μ отлично от нуля и x – решение уравнения (1), то из разложения $x = u + v$, где $u \in N(A)$ и $v \in R(A^*)$, следует, что пара (u, v) является решением системы уравнений

$$\begin{aligned} BQf(u + v, \mu) = 0, \quad v = \mu \tilde{A}^{-1}(I - Q)f(u + v, \mu), \\ u \in N(A), \quad v \in R(A^*). \end{aligned} \quad (4)$$

И обратно, если пара (u, v) – решение системы уравнений (4), то $x = u + v$ является решением уравнения (1).

Согласно лемме 1, уравнение (1) при ненулевом μ равносильно системе уравнений (4). Исследуем разрешимость системы уравнений (4) предполагая выполненными следующие два условия:

- 1) существуют $u_0 \in N(A)$ и $\varepsilon > 0$ такие, что $BQf(u_0, 0) = 0$ и $BQf(u, 0) \neq 0$ при $0 < |u - u_0| \leq \varepsilon$;
- 2) вращение векторного поля $BQf(\cdot, 0): N(A) \rightarrow N(A)$ на сфере $S_\varepsilon^1(u_0) = \{u \in N(A) : |u - u_0| = \varepsilon\}$ отлично от нуля: $\gamma(BQf(\cdot, 0), S_\varepsilon^1(u_0)) \neq 0$

Имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Пусть $N(A) \neq \{0\}$ и выполнены условия 1), 2). Тогда существует $\mu_0 > 0$ такое, что при всех $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$ система уравнений (4) разрешима.

Используя теорему 1, исследуем разрешимость периодической задачи (3) в резонансном случае. Пусть выполнены условия:

- 3) матрица C постоянна и имеет чисто мнимые собственные значения $\pm i2\pi/\omega$;
- 4) отображение $g: R^{n+2} \rightarrow R^n$ непрерывно и ω – периодически по t ;
- 5) существует вектор $x_0 \in R^n$, обладающий свойствами:

- а) вектор x_0 принадлежит подпространству

$$E = \{x \in R^n : (e^{-\omega C} - I)x = 0\};$$

- б) для любого вектора X из некоторой окрестности

$$U_r(x_0) = \{x \in R^n : |x - x_0| < r\}$$

существует единственное решение $p(t, x, \mu)$, $t \in [0, \omega]$ задачи Коши

$$y' = Cy + \mu g(t, y, \mu), \quad y(0) = x;$$

- в) вектор x_0 является изолированным нулем векторного поля

$$G(x) \equiv BQ \int_0^\omega e^{-\tau C} g(\tau, e^{\tau C} x, 0) d\tau,$$

действующего в E , где $Q: R^n \rightarrow R(e^{-\omega C} - I)^\perp$ – ортогональный проектор, $B: R(e^{-\omega C} - I)^\perp \rightarrow E$ – линейный обратимый оператор;

- г) отлично от нуля вращение $\gamma(G, S_\varepsilon^1(x_0))$ векторного поля G на сфере

$$S_\delta^1(x_0) = \{x \in E : |x - x_0| = \delta\}$$

положительного радиуса $\delta < r$.

Справедлива следующая теорема о разрешимости периодической задачи (3).

Теорема 2. Если выполнены условия 3) – 5), то периодическая задача (3) разрешима при всех $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$, где μ_0 – фиксированное положительное число.

3. Доказательство теоремы 1

Сначала проверим справедливость леммы 1. Пусть $\mu \neq 0$ и x – решение уравнения (1). Вектор x представим в виде суммы $x = u + v$, где $u \in N(A)$ и $v \in R(A^*)$, и к обеим частям уравнения (1) поочередно применим проекторы Q и $I - Q$. Тогда получим два равенства:

$$\mu Qf(u + v, \mu) = 0, \quad \tilde{A}v = \mu(I - Q)f(u + v, \mu).$$

Если в первом равенстве применить оператор B и сократить на μ , а во втором равенстве обратить оператор \tilde{A} , то в результате получаем систему уравнений (4). Обратно, если пара (u, v) – решение системы уравнений (4), то первое уравнение системы (4) перемножим на μ и применим оператор B^{-1} , а во втором равенстве применим оператор \tilde{A} . Из полученных равенств следует, что $x = u + v$ есть решение уравнения (1). Лемма 1 доказана.

Перейдем к доказательству теоремы 1. Пусть $N(A) \neq \{0\}$ и выполнены условия 1), 2). Разрешимость системы уравнений (4) равносильна существованию нуля векторного поля

$$\Psi_1(u, v, \mu) \equiv \begin{pmatrix} BQf(u + v, \mu) \\ v - \mu \tilde{A}^{-1}(I - Q)f(u + v, \mu) \end{pmatrix}$$

в пространстве $N(A) \times R(A^*)$. Покажем, что существует $\mu_0 > 0$ такое, что при любом $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$ векторное поле $\Psi_1(u, v, \mu)$ на сфере

$$S_\varepsilon(u_0, 0) = \{(u, v) \in N(A) \times R(A^*) : |u - u_0|^2 + |v|^2 = \varepsilon^2\}$$

гомотопно векторному полю

$$\Psi_0(u, v) \equiv \begin{pmatrix} BQf(u, 0) \\ v \end{pmatrix}.$$

Для этого рассмотрим семейство векторных полей

$$\Psi_\lambda(u, v, \mu) \equiv \begin{pmatrix} BQf(u + \lambda v, \lambda \mu) \\ v - \lambda \mu \tilde{A}^{-1}(I - Q)f(u + v, \mu) \end{pmatrix}, \quad \lambda \in [0, 1],$$

и проверим, что $\Psi_\lambda(u, v, \mu) \neq 0$ при всех $(u, v) \in S_\varepsilon(u_0, 0)$, $\lambda \in [0, 1]$, $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$, где μ_0 – некоторое положительное число. Действительно, в противном случае существуют последовательности $(u_m, v_m) \in S_\varepsilon(u_0, 0)$, $\lambda_m \in [0, 1]$, μ_m , $m = 1, 2, \dots$ такие, что $\mu_m \rightarrow 0$ при $m \rightarrow \infty$ и

$$\begin{aligned} BQf(u_m + \lambda_m v_m, \lambda_m \mu_m) = 0, \\ v_m = \lambda_m \mu_m \tilde{A}^{-1}(I - Q)f(u_m + v_m, \mu_m), \end{aligned} \quad m = 1, 2, \dots$$

Из второго равенства следует, что $v_m \rightarrow 0$ при $m \rightarrow \infty$. Отсюда, в первом равенстве переходя к пределу при $m \rightarrow \infty$, получим $BQf(u_0^*, 0) = 0$, где $u_0^* \in N(A)$ и $|u_0^* - u_0| = \varepsilon$. А это противоречит условию 1).

Из гомотопности векторных полей $\Psi_1(\cdot, \cdot, \mu)$ и $\Psi_0(\cdot, \cdot)$ на сфере $S_\varepsilon(u_0, 0)$ вытекает, что их вращения на этой сфере определены и равны [4, с. 16]:

$$\gamma(\Psi_1(\cdot, \cdot, \mu), S_\varepsilon(u_0, 0)) = \gamma(\Psi_0(\cdot, \cdot), S_\varepsilon(u_0, 0))$$

при $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$.

Вращение $\gamma(\Psi_0(\cdot, \cdot), S_\varepsilon(u_0, 0))$, согласно теореме 22.4, приведенной в книге [4, с. 160], равно вращению $\gamma(BQf(\cdot, 0), S_\varepsilon(u_0, 0))$ векторного поля $BQf(\cdot, 0)$ на сфере $S_\varepsilon(u_0, 0) = \{u \in N(A) : |u - u_0| = \varepsilon\}$. Следовательно, учитывая условие 2), имеем $\gamma(\Psi_1(\cdot, \cdot, \mu), S_\varepsilon(u_0, 0)) \neq 0$ при $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$. Отсюда, применяя принцип ненулевого вращения [4, с. 138], получаем, что при $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$ внутри сферы $S_\varepsilon(u_0, 0)$ существует хотя бы один ноль векторного поля $\Psi_1(\cdot, \cdot, \mu)$, т.е. система уравнений (4) разрешима. Теорема 1 доказана.

4. Доказательство теоремы 2

Рассмотрим уравнение

$$(e^{-\omega C} - I)x = \mu \int_0^\omega e^{-\tau C} g(\tau, p(\tau, x, \mu), \mu) d\tau, \quad x \in U_r(x_0). \quad (5)$$

Верна следующая лемма.

Лемма 2. Если x – решение уравнения (5), то вектор-функция $y(t) = p(t, x, \mu)$ является решением периодической задачи (3).

Доказательство. Вектор-функция $y(t) = p(t, x, \mu)$ является единственным решением системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений

$$y' = Cy + \mu g(t, p(t, x, \mu), \mu),$$

удовлетворяющее начальному условию $y(0) = x$. Отсюда находим $y(t)$:

$$y(t) = e^{tC} \left(x + \mu \int_0^\omega e^{-\tau C} g(\tau, p(\tau, x, \mu), \mu) d\tau \right).$$

Проверим ω -периодичность $y(t)$, воспользуясь тем, что x – решение уравнения (5):

$$y(\omega) = e^{\omega C} \left(x + \mu \int_0^\omega e^{-\tau C} g(\tau, p(\tau, x, \mu), \mu) d\tau \right) =$$

$$= x + e^{\omega C} \left(-(e^{-\omega C} - I)x + \mu \int_0^\omega e^{-\tau C} g(\tau, p(\tau, x, \mu), \mu) d\tau \right) = y(0).$$

Лемма 2 доказана.

Таким образом, согласно лемме 2, разрешимость периодической задачи (3) сводится к разрешимости уравнения (5). Покажем разрешимость уравнения (5), применяя теорему 1.

Положим

$$A = e^{-\omega C} - I, \quad f(x, \mu) = \int_0^\omega e^{-\tau C} g(\tau, p(\tau, x, \mu), \mu) d\tau$$

Из условия 3) следует, что $N(A) = E \setminus \{0\}$. А из условий 5в) и 5г) следует, что вектор $x_0 \in N(A)$ удовлетворяет условиям 1) и 2). Отсюда, в силу теоремы 1, вытекает, что уравнение (5) разрешимо. Теорема 2 доказана.

В качестве примера рассмотрим следующую систему трех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} z' = i \frac{2\pi}{\omega} z + \mu (e^{i6\pi t/\omega} \bar{z}^2 + \varphi(t, z, y_3)), \\ y_3' = ay_3 + \psi(t, z, y_3), \end{cases}$$

где i – мнимая единица, $z = y_1 + iy_2$, $\bar{z} = y_1 - iy_2$, $a \neq 0$, $\varphi(t, z, 0) \equiv 0$, $\psi(t, 0, 0) \neq 0$. Функции $\varphi(t, z, y_3)$ и $\psi(t, z, y_3)$ предполагаем заданными и непрерывными по совокупности переменных, ω -периодичными по t и удовлетворяющими условию Липшица по переменным z, y_3 в некоторой окрестности точки $x_0 = (0, 0, 0)$. Проверим выполнимость условий теоремы 2.

Непосредственно можно проверить, что

$$E = \{(x_1, x_2, 0)^\top : x_1, x_2 \in (-\infty, +\infty)\},$$

$$R(e^{-\omega C} - I) = \{(0, 0, x_3)^\top : x_3 \in (-\infty, +\infty)\},$$

$$R(e^{-\omega C} - I)^\perp = E, \quad B = I, \quad Qx = (x_1, x_2, 0)^\top.$$

Обозначим $w = x_1 + ix_2$. Тогда имеем:

$$e^{tC} (x_1, x_2, x_3)^\top = (e^{-i2\pi t/\omega} w, e^{at} x_3)$$

$$G(w) = \int_0^\omega e^{i2\pi\tau/\omega} \left[e^{i6\pi\tau/\omega} \overline{(e^{-i2\pi\tau/\omega} w)}^2 \right] d\tau = \omega \bar{w}^2, \quad w \in E,$$

$$\gamma(G, S_\varepsilon^1(0)) = -2 \text{ [5, с. 95].}$$

Все условия теоремы 2 выполнены. Согласно теореме 2, при малых значениях параметра μ существует ω -периодическое решение системы уравнений (6).

Литература

1. Треногин, В. А. Функциональный анализ: учебник / В. А. Треногин. – 3-е изд., испр. – Москва: Физматлит, 2002. – 488 с.
2. Понтрягин, Л. С. О динамических системах, близких к гамильтоновым / Л. С. Понтрягин // ЖЭТФ. – 1934. – Т. 4, № 8. – С. 234–238.
3. Баутин, Н. Н. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости / Н. Н. Баутин, Е. А. Леонтович. – 2-е изд., доп. – Москва: Наука, 1990. – 486 с.
4. Красносельский, М. А. Геометрические методы нелинейного анализа / М. А. Красносельский, П. П. Забрейко. – Москва: Наука, 1975. – 511 с.
5. Векторные поля на плоскости / М. А. Красносельский, А. И. Перов, А. И. Поволоцкий, П. П. Забрейко. – Москва: Наука, 1963. – 248 с.

E. Mukhamadiev, A.B. Nazimov, A.N. Naimov
Vologda State University

**ON SOLVABILITY OF NONLINEAR EQUATIONS CLASS
WITH A SMALL PARAMETER**

The solvability of one class of nonlinear equations with a small parameter in Euclidean space of finite-dimensional real vectors is analyzed. The research of this class of equations is complicated by the fact that the main linear part of the equation is not invertible, so the known theorems are not applicable. In the present work a new method, where the Pontryagin's method from the theory of Autonomous systems on plane and methods for calculating the rotation of vector fields are combined, is applied to study the solvability of the considered class of equations. The theorem about the solvability of a class of nonlinear equations under study is formed and proved. As an application A new theorem on the solvability of the periodic problem for systems of nonlinear ordinary differential equations is additionally proved.

Nonlinear equation with a small parameter, Pontryagin's method, rotation of a vector field, periodic problem, mathematical analysis, information processing.



МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Применение в системах управления автоматизированными электроприводами средств вычислительной техники в виде промышленных контроллеров приводит к тому, что стандартные методы и методики численного моделирования таких систем не дают достаточно достоверных результатов. Особенность таких систем заключается в различном математическом описании цифровой системы управления и аналоговой силовой части электропривода. В статье предлагается методика моделирования, учитывающая специфику построения современных электроприводов.

Электропривод, цифро-аналоговые системы, такт квантования, переходные процессы, численное моделирование.

Применение в системах управления автоматизированными электроприводами средств вычислительной техники, в том числе и промышленных контроллеров, позволяет реализовать практически любой алгоритм управления, если он энергетически обеспечивается силовой частью электропривода. Это, в частности, относится к системам оптимального управления по тому или иному критерию. Сложность алгоритмов управления предполагает в качестве первого шага исследование проектируемой системы методом математического моделирования. Во-первых, указанный подход позволяет сэкономить финансовые ресурсы перед серийным производством электроприводов промышленностью, а во-вторых, не все координаты проектируемой системы управления электроприводом могут быть технически измерены (наблюдаемы) даже при изготовлении опытного образца. Последнее, в том числе, может быть связано с отсутствием на сегодня датчиков измеряемой величины, либо с отсутствием регистрирующей аппаратуры с необходимым быстродействием у разработчика. Кроме того, в натуральных экспериментах нельзя не учитывать зашумленность измеряемой координаты и, возможно, отсутствие четкого алгоритма фильтрации этих шумов, особенно если неизвестен характер их происхождения. Следовательно, метод математического моделирования на первых этапах синтеза является наиболее целесообразным.

При синтезе цифровых систем управления электроприводами разработчику приходится сталкиваться с выбором величины интервала квантования для этой электромеханической системы. Вопросу выбора такта квантования посвящено достаточно большое количество публикаций, например [3–5]. Однако это не является предметом данной статьи, но следует заметить, что динамика электромеханических систем определяется наибольшими постоянными времени объектов управления и наиболее значимыми нелинейностями и упруго-вязкими связями.

Разумеется, что введение тех или иных корректирующих устройств в системы управления электроприводами ведет к компенсации влияния этих больших постоянных времени, но, как известно, физический смысл компенсации (то есть применения корректирующих устройств) заключается в изменении степени форсировки разрабатываемой системы, поэтому получение желаемых (заданных) динамических характеристик систем приводов приходится рассматривать для линейных систем, то есть при работе «в малом». Для электромеханических систем, основную часть времени работающих «в большом», приходится учитывать реальные ограничения (механические, энергетические и др.), накладываемые на систему. В полной мере это касается и систем, оптимальных по быстродействию [2].

Сказанное выше означает, что, во-первых, обычные линейные корректирующие устройства, известные из теории автоматического управления, уже не могут обеспечить заложенный в них алгоритм управления. Во-вторых, даже в линейной системе компенсируют наибольшие постоянные времени, так как именно они определяют поведение системы. Малые постоянные времени либо невозможно точно определить, либо, если это постоянные времени преобразования датчиков обратных связей, их просто невозможно компенсировать (датчик все равно быстрее измерять не будет).

Приведенные рассуждения позволяют сделать вывод, что такт квантования для электромеханических систем целесообразно выбирать не исходя из наименьшей постоянной времени в синтезируемой системе, а из технологических или энергетических ограничений. Более того, выбор интервала квантования меньшего, чем частота коммутации полупроводниковых ключей управляемого преобразователя энергии, вообще не имеет смысла. Это не противоречит известной теореме Шеннона-Котельникова, так как она посвящена вопросам восстановления ин-

формации по дискретным выборкам сигнала и не рассматривает частотные характеристики канала передачи информации, а электромеханические системы, в том числе и системы электропривода, как раз и исполняют роль этого канала передачи. Отсюда следует, что величина такта квантования в любой реальной системе электропривода будет больше, а, возможно, и значительно больше по сравнению с самой малой постоянной времени системы.

Однако при численном моделировании для обеспечения необходимой точности и устойчивости машинного решения шаг интегрирования приходится выбирать как можно меньше, и уж, разумеется, меньше, чем самая малая постоянная времени в моделируемой системе.

Таким образом, объект управления в виде электромеханической системы (системы электропривода в частности) представляет собой аналоговую часть системы, а система управления – дискретную, причем со своим интервалом дискретизации. Отсюда аналоговая часть будет описываться системой дифференциальных уравнений, численное интегрирование которых будет производиться с достаточно малым шагом интегрирования, а цифровая система управления – системой разностных уравнений со своим интервалом расчета (тактом квантования).

Чтобы максимально достоверно провести численное моделирование такой цифро-аналоговой системы, желательно в модели реализовать эту указанную особенность.

Поэтому система управления должна описываться разностными уравнениями с требуемым тактом квантования, т.е. фактически полностью копировать управляющую ЭВМ. Далее предлагается следующий алгоритм.

Синтезируется программное обеспечение для решения дифференциальных уравнений, описывающих поведение аналоговой части (то есть объекта управления) с реализацией того или иного метода численного интегрирования, выбирается величина шага интегрирования из условий достижения точности результатов и устойчивости машинного решения. Однако величина шага интегрирования должна быть кратна целому числу от величины интервала квантования.

Общая методика моделирования цифровых систем управления электроприводами предполагает вначале вычисление управляющего воздействия с выбранным тактом квантования путем решения разностного уравнения, а затем передачу этого вычисленного сигнала управления в аналоговую часть и расчет переходных процессов в аналоговой подсистеме с выбранным шагом интегрирования, при этом сигнал на входе объекта управления в течение текущего такта квантования считается неизменным. По сути, после выдачи сигнала управления в текущем такте квантования и до следующего такта система будет находиться в разомкнутом состоянии (или в состоянии без управления), но реально так и происходит в системах числового программного управления (ЧПУ).

Более подробно обобщенный алгоритм выглядит следующим образом (рис.).

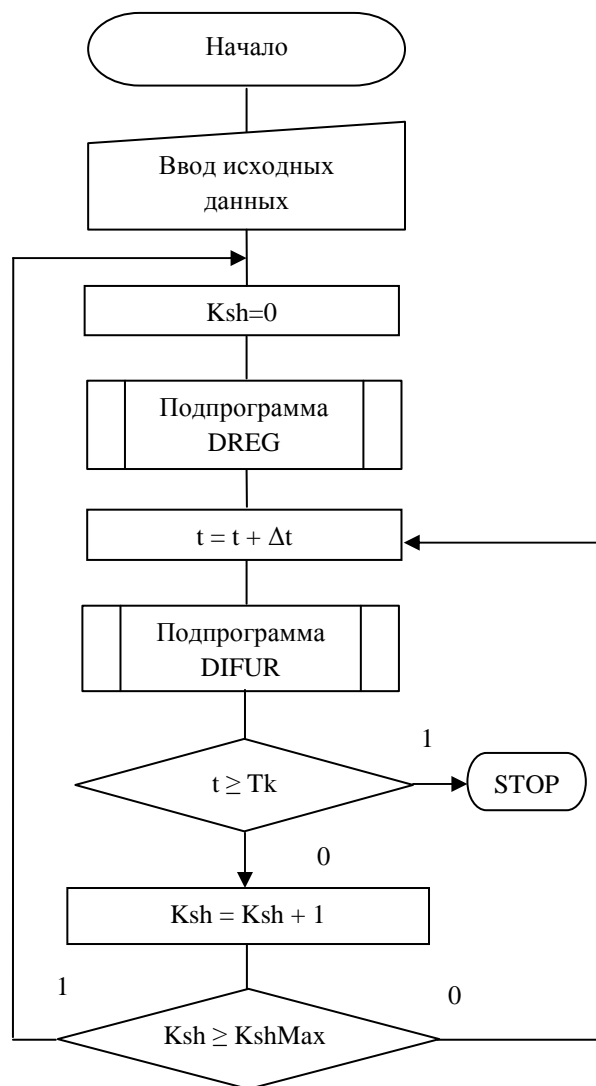


Рис. Алгоритм моделирования цифровой системы управления

После ввода исходных данных, таких как параметры двигателя, параметры управляемого преобразователя энергии датчиков обратных связей, цифро-аналогового преобразователя, а также величин шага интегрирования Δt , такта квантования, конечного времени расчета T_k и, возможно, некоторых других, в следующем блоке алгоритма величина количества шагов интегрирования на интервале квантования цифровой системы управления K_{sh} приравнивается к нулю. Как было сказано выше, величина K_{shMax} должна быть кратна целому числу Δt . Далее управление передается в подпрограмму расчета разностного уравнения, описывающего цифровую систему управления DREG. Естественно, в зависимости от требований технологического процесса разностные уравнения будут различны, поэтому здесь конкретного разностного уравнения не приводится, но это не изменяет методику моделирования цифро-аналоговой системы электропривода.

Следующим действием в алгоритмическом обеспечении является расчет переходного процесса в силовой (то есть аналоговой) части электропривода

путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений (подпрограмма DIFUR), описывающих поведение аналоговой части. Здесь также не приводится конкретного математического описания, так как оно определяется типом объекта управления (электропривода и механизма). После проверки условия на предмет достижения заданного времени моделирования ($t \geq T_k$) осуществляется либо остановка программы, либо увеличение количества шагов интегрирования K_{sh} на единицу, проверка на достижение максимального значения K_{shMax} и, если условие не выполняется, то управляющее воздействие остается без изменений, либо вычисляется новое значение выходного сигнала цифровой системы управления.

Предлагаемая методика прошла успешную апробацию автором настоящей статьи в системах, описанных в главах 5–16, 5–17 и 6–9 (нумерация согласно изданию) [1], хотя сама методика в указанном издании практически не описана. Там не дается никаких рекомендаций по соотношению величины интервала квантования и шага интегрирования, а также, что цифровая система управления и аналоговый объект моделируются в одной программе по-разному. Однако применение этой методики, на взгляд автора, позволит максимально точно смоделировать поведение электроприводов с управлением от системы ЧПУ, получить детальную информацию о поведении внутренних координат системы и, возможно, обеспечит ускорение проектно-конструкторских и пуско-наладочных работ.

Литература

1. Башарин, А. В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, Ю. В. Постников. – 3-е изд. – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 512 с.
2. Федотовский, С. Б. Синтез оптимальной цифровой системы управления нелинейными электромеханическими объектами / С. Б. Федотовский, О. А. Шахов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XII междунар. науч.-техн. конф. – Вологда, 2017. – С. 236–240.
3. Федотовский, С. Б. Методика расчета величины такта квантования для систем управления электромеханическими объектами / С. Б. Федотовский // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства: сборник докладов национальной науч.-практ. конф. Ч. 4: Технические науки. – Пенза, 2018. – С. 164–169.
4. Федотовский, С. Б. К выбору такта квантования при синтезе цифровых систем управления электроприводами / С. Б. Федотовский // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XIII междунар. науч.-техн. конф. – Вологда, 2018. – С. 254–258.
5. Basharin, A. V. Principles of developing digital systems to control electric drivers, based in microprocessors / A. V. Basharin, L.P. Kozlova, S. B. Fedotovskij // Электротехника. – 1994. – № 2. – С. 54–58.

S.B. Fedotovskij
Vologda State University

TECHNIQUE OF SIMULATION OF ELECTRIC DRIVES DIGITAL SYSTEMS

The application of the computer aids in the form of industrial controllers in management systems of the automated electric drives leads to the fact that standard methods and techniques of computational modeling of such systems do not give reliable results. The feature of such systems is in different mathematical description of a numerical control system and an analog power part of the electric drive. The modeling technique considering specifics of creation of modern electric drives is presented in the article.

Electric drive, digital-to-analog systems, quantization clock period, transition processes, computational modeling.



СРЕДОВОЙ ДИЗАЙН КАК СТРАТЕГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ ИСТОРИЧЕСКОГО ГОРОДА

Статья описывает стратегию повышения конкурентной идентичности исторического города посредством средового дизайна. Определена разница в стратегии средового дизайна для отдельных городских территорий, выявлены направления поиска элементов аутентичного дизайна, определена связь между понятием «имидж города» и его конкурентной идентичностью.

Аутентичные признаки дизайна, качественная городская среда, имидж города, конкурентоспособность, стилистика малых форм.

Сегодня в исторических городах с ценными архитектурными памятниками и богатым историко-культурным наследием качество городской среды и уровень средового дизайна нельзя признать удовлетворительными. Качество благоустройства не способствует становлению и укреплению имиджа и привлекательности для туристов. Принятая правительством РФ Программа формирования комфортной городской среды определяет актуальность исследований в этой области.

Основной целью исследования является поиск методологии средового дизайна, обладающего аутентичными признаками исторического города и способствующего созданию запоминающегося и привлекательного образа города с высокой степенью конкурентоспособности в структуре расселения страны.

Под средовым дизайном города сегодня понимается пространственно-временная система, представленная в единстве такими взаимосвязанными элементами, как: пространства, сформированные застройкой разного масштаба и времени; транспортные и пешеходные коммуникации; ландшафтные комплексы, включающие рельеф, растительность, воду, климат и объекты средового наполнения – уличную мебель, ограды, фонари, малые формы, элементы уличной культуры. Понятие среды формируют также и горожане в виде взаимодействия общественных институтов, властных и управленческих структур, инициативных групп горожан [1].

Гармоничная совокупность представленных элементов, окрашенная традициями и современными концептуальными интерпретациями, смыслами, символами и знаками, способствует становлению и развитию комфортной, выразительной городской среды и, соответственно, формированию яркого и привлекательного имиджа города.

В понятие «имидж города» вкладывается не только архитектурно-художественный и архитектурно-пространственный аспекты, идентичные понятию образа города, но и прагматическая составляющая сте-

пени конкурентной способности города. Именно высокая степень конкурентной способности и идентичности своему месту, особенностям развития и есть неоспоримые преимущества города с позиций его социокультурной привлекательности, экономического и экологического благополучия городской среды. Трактовка проблемы городской среды в увязке с имиджем города делает определяющим и значимым содержание и подходы к формированию среды исторического города.

До настоящего времени были распространены три подхода к реконструкции городской среды:

1. Буквальное воссоздание исторической среды с ориентацией на какой-то из периодов развития, при этом полное игнорирование связи здания с участком с учетом истории и его места в городе. Идет буквальный повтор стилистики декора. Это касается малых форм, внешнего вида зданий и их фасадов, идентичного декорирования уже новых построек.

2. Использование уже наработанных, порой архаичных малых форм и отдаленно напоминающих здания из прошлого.

3. Включение в структуру исторической застройки объектов, не соответствующих масштабу, ритму, материалу существующих зданий, с примитивным обустройством среды дворов, улиц.

На наш взгляд, никакой из подходов не правомерен в условиях развития современных представлений о формировании городской среды. Каждый фрагмент пространства города должен приобрести новые знаки и смыслы современной жизни или воссоздать атмосферу места, символы, память, «дух мест».

Для выявления особых признаков своеобразия городской среды и узнаваемости места необходимы исследования признаков аутентичности, которым уделяется значительное место в подготовке архитекторов. На кафедре архитектуры и градостроительства ВоГУ в процессе изучения программных дисциплин выполняются региональные социокультурные и историко-культурные исследования, направленные на форми-

рование сознания будущего архитектора, способного интерпретировать исторические традиции формирования городской среды на современном уровне [2]. Изучение исторической среды Вологды дает материал и основание для превращения города в уникальное место на Северо-Западе. Интерпретация творческого социокультурного потенциала города, складывающегося веками, запечатленного в поэтической литературе, фотодокументах, исторических постройках и деревянных мостовых, позволяет выделить несколько стратегий развития городских пространств с позиций формирования имиджа города Вологды (рис. 1).

1. В границах «Исторического поселения г. Вологды» (зона заповедной территории, сохранившей наибольшее количество объектов культурного наследия) – стратегия, направленная на реставрацию и восстановление утрат. Поддержание и воссоздание небольших фрагментов подлинной исторической застройки Вологды, восстановления традиционных элементов среднего оборудования, характерного для прошедшей эпохи. К сожалению, властные структуры города не рассматривают городской дизайн как важнейший инструмент развития имиджа города. Архитектурные памятники часто находятся в окружении безликого, порой

деградированного городского ландшафта. Это проявляется в грубом исполнении вертикальной планировки и благоустройства с использованием устаревших строительных технологий и дизайна подпорных стенок и ограждений, в наличии неухоженных с открытым грунтом участков газонов и пр. Необходимо опираться на традиционные материалы и местные природные ресурсы, но и внедряя современные инженерные технологии, поддерживая при этом традиционную эстетику места. Деревянные тротуары и площадки с посадками характерных для региона пород деревьев на зеленом газоне; скамейки для отдыха и деревянные заборы, выверенные по эргономике и художественно-конструктивному решению; фонари, соответствующие стилистике и месту; оборудованные традиционные колодцы, знаки и символы, раскрывающие быт, мифы или события прошлого – все это отражает атмосферу места, возбуждает интерес горожан и туристов.

2. В границах центрального планировочного района, где сосредоточены пешеходные зоны и основные инфраструктурные объекты для туристов, необходимо внедрять современные технологии и материалы, полностью менять подходы в благоустройстве дворовых и общественных пространств города в целом (рис. 2).



Рис. 1. Примеры современных жилых домов г. Вологды, не нарушающие морфотип исторической застройки

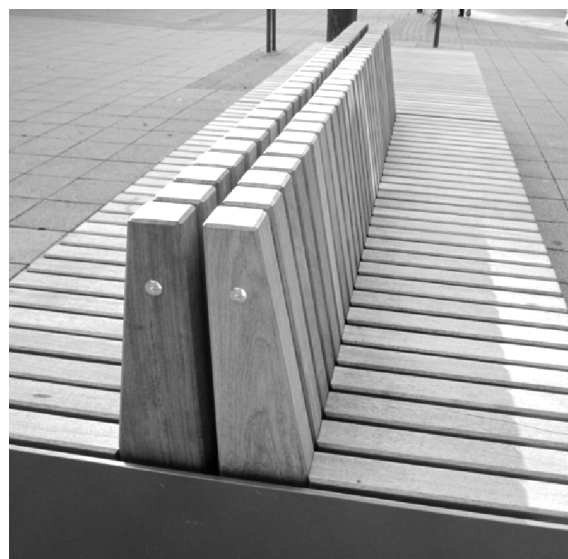


Рис. 2. Унифицированные объекты дизайна из аутентичных материалов

А



Б



*Рис. 3. Здания-символы, формирующие имидж городов Роттердам и Лион:
А – дома-кубы архитектора Пита Блома в Роттердаме, Б – жилые кварталы Тони Гарнье в Лионе*

В городе, в котором ощущаешь экологический и эмоциональный дискомфорт из-за низкого уровня благоустройства, отсутствия дизайнерской и ландшафтной культуры, никакими выдающимися памятниками архитектуры и истории не создашь устойчивую конкурентную идентичность среды ни для жителей, ни для гостей и туристов. Такая городская среда не обеспечивает принцип возвратности туристов, т.е. постоянного желания исследовать и познавать эти места снова и снова. Обращая внимание на деятельность и участие людей, входящих в инициативные группы и сообщества, необходимо контролировать спонтанную самодеятельность, которую мы нередко наблюдаем в попытках инициативного благоустройства дворов (вырезание лебедей из автошин, создание ограждений из подручных материалов и т.п.). Все это говорит о большом трудолюбии и изобретательности населения города и, вместе с тем, о недостаточном уровне общей культуры. Необходима профессиональная разработка как уникальных, так и унифицированных объектов дизайна и малых форм, имеющих современную эстетику для городского благоустройства и обустройства жизни в целом (рис. 3).

Примером такого решения являются дома-кубы в Роттердаме, музей современного искусства архитектора Френка Гери в Бильбао или жилой квартал для строителей электростанции в Лионе архитектора Тони Гарнье.

Аутентичным материалом для региона является дерево и все современные производные на его основе: террасная доска, выполненная из композитных материалов на основе древесины, брус с соответствующей

антисептической пропиткой и др. конструктивные элементы и детали.

3. В границах всего города Вологды, имеющего традиции деревянного домостроения, необходимо продемонстрировать приверженность к использованию новых технологий в деревянном домостроении, т.е. развивать имидж столицы деревянного зодчества не только сохраняя и поддерживая деревянные жилые постройки как архитектурные памятники, но и демонстрировать современные, в том числе уникальные, комплексы жилых зданий, офисов из дерева, воздвигнутых на основе новых строительных технологий и современных стандартов эксплуатации. Сегодня уже разработаны и широко используются технологии конструирования и строительства зданий средней и повышенной этажности из дерева в Швеции, Финляндии и др. странах. Вот еще одна уникальная возможность закрепить и развить имидж Вологды. Такого рода уникальные комплексы уже сегодня демонстрируют традиции и инновации в использовании различных материалов (дерево, металл, монолитный ж/бетон) в архитектуре, являясь фокусами притяжения для туристов и гостей города.

Фактически речь идет об интегральном дизайне, увязывающем в композиционно-художественном единстве все составляющие городского пространства: жилую и общественную застройку, соответствующие им дворовые и общественные пространства, среда улиц, парков и скверов, где реализуются сценарии транзитного движения и другие активности, связанные с рекреативной деятельностью человека. При этом все стра-

тегии объединяются общими принципиальными требованиями создания доброжелательной среды – обеспечением безопасности, доступности и комфортности для всех категорий населения, включая людей пожилых, инвалидов, детей, мам с колясками и т.п.

Литература

1. Методические основы регенерации исторической городской среды: учеб. пособие / Л. В. Анисимо-

ва, Л. Ю. Анисимов, Е. Н. Титоренко, В. Ю. Анисимов: под ред. Л. В. Анисимовой. – Вологда: ВоГУ, 2017. – 97 с.

2. Анисимова, Л. В. Ревитализация исторической среды города: сохранение атмосферы места / Л. В. Анисимова // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии: сборник материалов междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2016. – С. 25–30.

Y.V. Anisimov

Vologda State University

ENVIRONMENT DESIGN AS A STRATEGY TO INCREASE THE COMPETITIVE IDENTITY OF A HISTORICAL CITY

The article describes the strategy of increasing the competitive identity of the historical city with the help of design. The difference in the strategy of environment design for individual urban areas is determined, the directions for the search of the elements of authentic design are presented, the connection between the concept of "city image" and its competitive identity is defined.

Authentic signs of design, high-quality urban environment, image of the city, competitiveness, stylistics of small forms.



Л.В. Анисимова
Вологодский государственный университет

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ ОТКРЫТЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ГОРОДА

Статья посвящена анализу приемов и средств формирования архитектурной среды открытых общественных пространств города. Исследование построено на поиске взаимосвязи между процессами, протекающими в открытых общественных пространствах, и выборе приемов ландшафтного дизайна и благоустройства. Определены признаки качественной архитектурной среды открытых общественных пространств.

Качество архитектурной среды, средовое проектирование, открытые общественные пространства, антропогенный ландшафтный комплекс, смысловое наполнение ландшафта.

В российских городах активно происходит смена вектора пространственного развития в сторону освоения резервов застроенных территорий и превращение их в открытые общественные пространства (ООП). Наряду с безусловными позитивными переменами и более эффективным использованием земли определяются и экологические проблемы, которые проявляются в прогрессирующей деградации антропогенного ландшафта. На уровне правительства страны поднимается вопрос о качестве городской среды, так как именно по состоянию среды и балансу искусственных и природных компонентов можно судить о степени гуманности и экологической устойчивости среды [3].

ООП выступают в этом контексте в роли форварда, где могут быть апробированы наиболее передовые разработки. Понятия архитектурного пространства и архитектурной среды соотносятся в данном контексте как конкретные формы жизненных процессов и человеческого поведения, восприятия, ощущений и переживаний объясняемым словом среда в конкретном пространственном окружении [2].

Современные исследования городской среды в большинстве своем посвящены анализу процессов, происходящих в общественных пространствах (Я. Гейл, А.Э. Гутнов, В.Л. Глазычев, А.В. Крашенинников и др.). Значительная доля исследований посвящена архитектурной и градостроительной типологии общественных пространств (Н.Н. Шестернева, О.Ю. Лептюхова, Л.Я. Герцберг, Е.А. Вагнер). Исследований, посвященных взаимосвязям экологических и процессных факторов в общественных городских пространствах, на которых базируется жизнедеятельность среды, крайне мало (В.А. Нефедов, Ж. Клеман). Эффективность антропогенного ландшафтного комплекса и его влияние на качество жизни горожанина, а также более высокий уровень методологии исследования открытых общественных пространств (ООП) остаются за пределами профессиональных интересов архитектора.

Цель исследования заключается в определении наиболее эффективных приемов проектирования от-

крытых общественных пространств на основе системного подхода. Инновационным является выявление взаимосвязи между процессами, протекающими в открытых общественных пространствах, и выбором приемов ландшафтного дизайна и благоустройства.

Компонентами ландшафтной системы являются рельеф, климат, почвы, растительность и животный мир, включающий человека. Экологическое благополучие системы достигается путем эффективной работы всех ландшафтных компонентов. Для достижения максимального эффекта может быть использован прием создания «третьей природы» [4] – прием, который широко используется в благоустройстве крупных городов европейских стран, где антропогенные нагрузки чрезмерно велики, чтобы сохранять природное окружение. Суть данного приема заключается в смещении акцентов в организации ландшафта ООП на максимальное использование принципов природной саморегуляции и самовосстановления ландшафта: подбор растительного ассортимента деревьев и трав, устойчивых к переуплотнению почвы и недостатку полезных микроэлементов; следование логике природных биотопов, образованных на основе создания естественных сообществ растений, не требующих последующего вмешательства человека, а также без необходимости в дополнительных затратах энергии для своего поддержания; создание территорий регулируемого водосбора дождевой воды в местах интенсивных пешеходных перемещений за счет отказа от сброса осадков в ливневую канализацию и подведения их к корневой системе растений. Это общие принципы создания устойчивых антропогенных ландшафтных комплексов.

Однако выбор наиболее эффективного приема организации ландшафтных зон ООП зависит от процессов, происходящих в данном пространстве. «Среда» как понятие, вбирающее в себя человека, его образ жизни, особенности психологии поведения и восприятия, определяет подходы к такому виду проектной деятельности, как «средовое проектирование». Сочетание таких экологических факторов, как чистый воз-

дух, оптимальная влажность, нормальная инсоляция без перегрева, являются условиями здорового микроклимата в ООП, которые человек воспринимает как показатели комфорта среды. Кроме того потребитель предъявляет высокие требования к средовому наполнению и оборудованию ООП, которые определяют такие качественные характеристики, как узнаваемость, посещаемость и любовь к месту [1].

Подходы к проектированию среды ООП в первую очередь зависят от процессов, которые необходимо организовать в данном месте. Предназначения ООП весьма разнообразны, однако их всех объединяет один процесс, ради которого они сооружаются, – процесс социального общения и контакта с элементами природного ландшафта. Дифференциация и специализация ООП зависит от его местоположения в структуре города, наличия контакта с крупными автомагистралями и развязками, размеров и формы территории, окружающей застройки и функционального предназначения. Следует выделить четыре блока ООП, сгруппированных по следующим принципам: доминирование одного или нескольких процессов, характер собственности, общие требования к благоустройству.

1. ООП, используемые как центральные площади городов, основным трендом которых является многофункциональность использования. Собственность муниципалитетов, предполагает высокие антропогенные нагрузки.

2. ООП, являющиеся транзитными пешеходными пространствами, в которых сочетаются две основные функции: транзитное перемещение и социальные контакты населения. К ним могут относиться привокзальные площади, площади при ТПУ, пешеходные улицы, бульвары, скверы, набережные, торговые улицы. Собственность муниципалитетов, предполагает высокие антропогенные нагрузки.

3. ООП, являющиеся уникальными памятниками природы, археологии, культурного наследия города. Смешанная собственность, предполагает ограничения

по антропогенным нагрузкам особым режимом эксплуатации.

4. ООП, относящиеся к специализированным архитектурным комплексам, ориентированным на определенную функцию. К ним относятся пространства университетов, торговых комплексов, госпиталей, гостиниц, деловых центров. Собственность или долгосрочная аренда, ограничивающая доступ на территорию. Невысокие антропогенные нагрузки.

В условиях высоких антропогенных нагрузок в городах подходы к благоустройству и озеленению различных групп ООП должны отличаться. Благополучие почвенного слоя для озеленения достигается достаточностью воздухо- и водообмена, дающего растениям питание для жизни. В условиях высоких антропогенных нагрузок, особенно в границах общественных открытых территорий, основные деградиционные процессы происходят в почвах. Плодородный грунт в идеальном варианте должен иметь показатели плотности $0,95\text{--}1,2\text{ г/см}^3$ [5, с. 251]. Уплотнение почвы свыше $1,8\text{ г/см}^3$ ведет к отмиранию верхнего растительного слоя, воздух и вода в достаточном количестве не поступают к корневой системе растений. Растительность деградирует, это, в свою очередь, влияет на понижение влажности воздуха, насыщенность его кислородом и повышение температурного режима. Открытый грунт при высыхании начинает пылить. Асфальтирование же исключает возможность жизнедеятельности почв. Самым эффективным является мощение, инертная засыпка и покрытие террасной доской. Они не требуют постоянных эксплуатационных затрат на содержание. Покрывая почву в местах пешеходной активности, они сохраняют нормальный воздухообмен. Сравнение эксплуатационных и производственных затрат на создание защиты почвенного покрытия в пешеходных зонах общественных городских пространств произведено среди покрытий, позволяющих сохранять свойства проницаемости почв (табл.).

Таблица

Сравнительный анализ эффективности различных покрытий

№	Наименование технологии по устройству покрытия грунта	Стоимость устройства 1 м^2	Затраты на уход и поддержание	Примечание
1	Мощение дорожек искусственным камнем на готовое основание	350–440 руб.	Не требуется	Без стоимости плитки
2	Тротуарное покрытие инертными материалами на готовое основание	От 400 руб.	Не требуется	Без стоимости засыпки
3	Покрытие террасной доской по готовому основанию	От 500 руб.	Не требуется	Без стоимости материала
4	Газон посевной Газон рулонный	150–280 руб. 270–500 руб.	Стрижка, подкормка, полив, ремонт газона	Без учета стоимости материала Без учета стоимости материала с подготовкой основания
5	Цветник из однолетников Цветник из многолетников	2500 руб. 3000 руб.	Ежегодные затраты на создание и уборку.	С учетом стоимости материалов С учетом стоимости материалов
6	Кустарник в живой изгороди	2900–3990 руб.	Стрижка, подкормка, полив	Без учета стоимости материалов

Характерным признаком ООП первой группы является многофункциональность использования, характерная для динамичной жизни центра города. Быстрая смена сценариев использования пространства предполагает осуществление некоторого прогноза развития тех необходимых свойств и качеств архитектурной среды, которые будут востребованы не только сегодня, но и в ближайшее время. Исследование структуры и уровня потребностей человека в создании качественной искусственной среды обитания, направленно применяющей интегрированные технологии для уменьшения материальных затрат на ее перестройку и приспособление для изменяющихся условий жизни, является тенденцией гуманизации. Использование в благоустройстве легкозаменяемых элементов, монтаж и демонтаж которых может осуществляться вручную, позволит трансформировать ООП в зависимости от требований времени.

Смена функциональных процессов может быть связана с сезонным характером использования общественного пространства. Также это актуально в случае интенсивного использования пространства разными целевыми группами людей. В условиях динамичной городской жизни территории двойного назначения находятся в тренде. Смена процессов может происходить в течение суток, недель или по сезонам. Утром – прогулочная зона с фонтаном, вечером – место активации флэш-моба. Летом – место ярмарочной торговли, зимой – каток.

Второй блок объединяет транзитные пешеходные и пешеходно-транспортные зоны. Степень антропогенной нагрузки здесь весьма велика. Наибольшее внимание уделяется защите почвенного слоя от переуплотнения. Для удовлетворения требований пешеходной мятниковой активности поверхность почвы покрывается гигроскопичным твердым покрытием, его характер зависит от способа эксплуатации. Производиться водоотведение поверхностной воды в ливневую канализацию, свободный грунт засыпается инертным материалом по геоткани, чтобы не было пыления.

Для создания качественной и комфортной среды для пребывания людей необходимы такие ландшафтные компоненты, как растительность, вода, уличная мебель и освещение. В условиях высокой концентрации выхлопных газов и механической уборки территории основным требованием к подбору биоценозов является их живучесть. А расположение растений в пространстве не должно препятствовать свободному перемещению людей и техники. Организация стационарного газона или цветника, а также посадка деревьев в грунт в таких пространствах не эффективна, поскольку активность функциональных процессов требует открытости и универсальности пространства. Для поддержания микроклимата растительные сообщества высаживаются в переносные кашпо, которые обязательно имеют дренажную систему, предотвращающую загнивание корней. В осенне-зимний период, когда листопадные растения сбрасывают листву и теряют свои декоративные качества, а необходимость в теневой защите отпадает, кашпо убираются с пешеходных зон, что облегчает уборку снега. В зонах городов с интенсивным освоением, где существует необходимость в поддержании нормального температурно-влажностного режима летом, а зимой эта по-

требность в увлажнении сведена к нулю, устраивают тротуарные фонтаны в уровне земли. Есть возможность более эластично и интенсивно использовать пешеходные пространства центров. В жару необходим фонтан, где будут возникать места для социальных контактов, в пасмурную погоду или зимой это пространство более эффективно будет работать как пешеходная зона.

Самовосстанавливающийся антропогенный ландшафтный комплекс, расположенный в местах интенсивного перемещения людей и транспорта, характеризуется высокой степенью избирательности в подборе озеленения. Основными характеристиками такого природного ландшафтного комплекса являются: плотно утрамбованная почва на основных пешеходных направлениях; отсутствие влажности, создающее условия для формирования многолетних растительных сообществ семейства злаковых, которые сами восстанавливаются без дополнительного ухода за ними. Ландшафтные архитекторы в последнее время очень внимательно относятся к селекции сорных многолетних злаковых трав. Именно они являются подходящим растительным материалом для использования в озеленении пешеходных зон. Они не требовательны к влаге, не требуют стрижки, не вытаптываются. Одними из наиболее устойчивых, не требовательных к условиям произрастания, являются корневищные многолетники, относящиеся к семейству мятликовых, многолетние сорные злаковые культуры.

Третий блок объединяет ООП, включающие уникальные объекты культурного наследия, которые также могут быть использованы в ландшафтных комплексах. Для исторических городов аутентичными элементами городского ландшафта являются мемориальные места, памятники археологии. Законсервированные фундаменты объектов культурного наследия, включенные в границы скверов, мемориальных парков, становятся объектами туристического паломничества, одновременно сохраняющими традиции и обогащающими городскую среду открытых общественных пространств. Это зоны охраняемых ландшафтов, где могут быть организованы прогулочные парки с регулированием числа посетителей. Фрагменты благоустройства могут сохранять открытые грунты, аутентичную растительность с организованными маршрутными дорожками и смотровыми площадками. Технологии благоустройства в этих ООП совпадают с приемами благоустройства парковых территорий. Здесь могут быть организованы посадки уникальных аутентичных растений, разбиты цветники и газоны.

Четвертый блок ООП предполагает узкую функциональную специализацию. Контроль и уход за территорией, а также поддержание ландшафтных комплексов в целесообразном состоянии осуществляется собственником или коллективом собственников. Особые требования к уровню благоустройства определяются и выполняются субъектом, содержащим это пространство. Здесь могут быть реализованы любые технологические приемы благоустройства, начиная от сплошных газонных покрытий с системой дождевания до декоративных цветочных клумб и лабиринтов из зелени, фонтанов и искусственных водоемов. Основное требование – это соблюдение прав горожанина на здоровую, качественную и комфортную среду.

Таким образом, взаимозависимость между условиями эксплуатации ООП и выбором приемов формирования антропогенного ландшафтного комплекса является залогом успеха экологии жизнедеятельности системы. Выбор методов и приемов благоустройства определяется на стадии предпроектного анализа при формулировке концепции архитектурного решения. Проект благоустройства открытого общественного пространства базируется на понимании экологического благополучия системы, которое достигается путем эффективной работы всех компонентов ландшафта. Изменчивость и динамика жизни города предопределяет учёт фактора времени и осуществление некоторого проектного прогноза.

Литература

1. Анисимова, Л. В. Определение критериев качества среды городского ландшафта / Л. В. Анисимова,

Ю. В. Анисимов // Менеджмент экологии: тезисы докладов регион. науч.-практ. конф. – Вологда, 1999. – С. 181–183.

2. Иконников, А. В. Искусство, среда, время (Эстетика организации городской среды) / А. В. Иконников. – Москва: Советский художник, 1984. – 336 с.

3. Нефедов, В. А. Качество городской среды как интегрирующий фактор архитектуры, градостроительства и дизайна [Электронный ресурс] / В. А. Нефедов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 165–169. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1007094>.

4. Clément, G. Manifeste du Tiers paysage / G. Clément. – Paris: Édition Sujet-Objet, 2007. – 28 p.

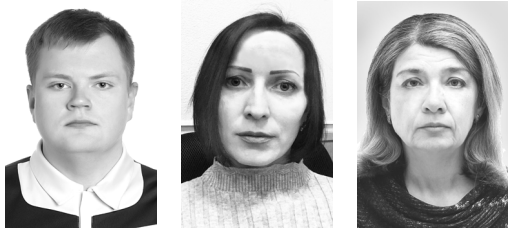
5. Почвоведение: учебник для ун-тов: в 2 ч. Ч. 1: Почва и почвообразование / Г. Д. Белицина, В. Д. Васильевская, Л. А. Гришина и др.; под ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. – Москва: Высшая школа, 1988. – 400 с.

L.V. Anisimova
Vologda State University

SOCIAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF FORMING OF THE CITY OPEN PUBLIC SPACES ENVIRONMENT

The article is devoted to the analysis of techniques and means of formation of environmental open public spaces of the city. The study is based on searching of the relationship between processes, taking place in open public spaces, and a choice of techniques of landscape design and improvement. Identified signs of quality architectural environment of open public spaces.

Quality of environment, open public space, anthropogenic landscape complex, semantic landscape filling.



Д.В. Кузнецов, О.А. Поварова, О.А. Залипаева
Череповецкий государственный университет

ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье проведен анализ строительного сектора деревянного домостроения на территории Вологодской области, показана его роль в общей доле ввода в эксплуатацию жилых площадей региона. Проведён обзор стоимости 1 квадратного метра при использовании различных технологий. Рассмотрены и обобщены результаты реализации программ по развитию и поддержке деревянного домостроения и деревообработки Вологодской области.

Вологодская область, деревянное домостроение, технологии деревянного домостроения, лесная промышленность.

Введение. На сегодняшний день в строительной отрасли наблюдается тенденция на использование в качестве строительных материалов продукции, отличающейся высокой степенью подготовленности к монтажу в условиях строительной площадки, одновременно с этим отвечающей всем техническим и эксплуатационным характеристикам, предъявляемым к конструкциям. В связи с этим на передний план выступает традиционный для России строительный материал – древесина. Причём в современных реалиях возникает необходимость применения технологии заводского изготовления конструкций деревянных домов. Далее рассмотрим существующие технологии, динамику и перспективы деревянного домостроения на территории Вологодской области.

Технологии деревянного домостроения. Деревянные дома в соответствии с особенностями конструкции можно разделить на несколько основных типов: каркасные дома; дома из обыкновенного бруса; бревенчатые дома ручной рубки; дома из оцилиндрованного бревна и профилированного бруса [8]. Однако если провести систематизацию по технологии возведения, то можно выделить только 3 группы:

- 1) дома из деревянного массива;
- 2) каркасные дома;
- 3) панельные (каркасно-панельные, модульные)

дома.

Деление на группы также основывается по степени индустриализации при возведении жилого дома. Далее рассмотрим кратко особенности каждой из групп.

К домам из деревянного массива относят строения из брёвен ручной рубки, оцилиндрованного бруса, клееного и цельного бруса и другие. Наиболее традиционным строительным материалом является бревно ручной рубки. К его плюсам можно отнести то, что при ручной обработке дерева берется во внимание неравномерная толщина разных древесных

слоёв, и не страдает защитный слой древесины. Положительным свойством оцилиндрованных бревен является более качественная обработка древесины, что относительно упрощает монтаж, а также способствует сокращению времени строительства.

Особенностью каркасных домов является наличие каркаса, который воспринимает нагрузки. Каркас изготавливается из прочной древесины (чаще всего клееной) и пропитывается противопожарным составом и антисептиками. Ограждающие и другие конструкции отделяются ориентированно-стружечной плитой OSB или водостойкой фанерой, внутреннее пространство перекрытий и стен заполняется теплоизоляционным материалом.

Панельные дома считаются упрощенной технологией быстровозводимого типа. Рамочная конструкция, обшивка для стен и прослойка – основные элементы такого дома. Для придания жесткости конструкциям, внутренние перекрытия изготавливаются с собственным внутренним каркасом. Комплектация осуществляется в заводских условиях, а сборка проходит на строительной площадке. Панельное домостроение – разновидность каркасной технологии, однако она отличается значительно более высокой заводской готовностью произведенных конструкций.

Из основных этапов при строительстве панельных домов необходимо выделить:

- а) строительство с применением SIP-панелей;
- б) строительство с применением панелей произвольной конфигурации;
- в) модульное строительство.

SIP (конструкционно-изоляционная панель, КТП) – трехслойная конструкция-моноклит, которая состоит из двух плит OSB под давлением, между которыми клеится слой твердого пенополистирола. Модульные строения имеют полную готовность блок-модуля [1].

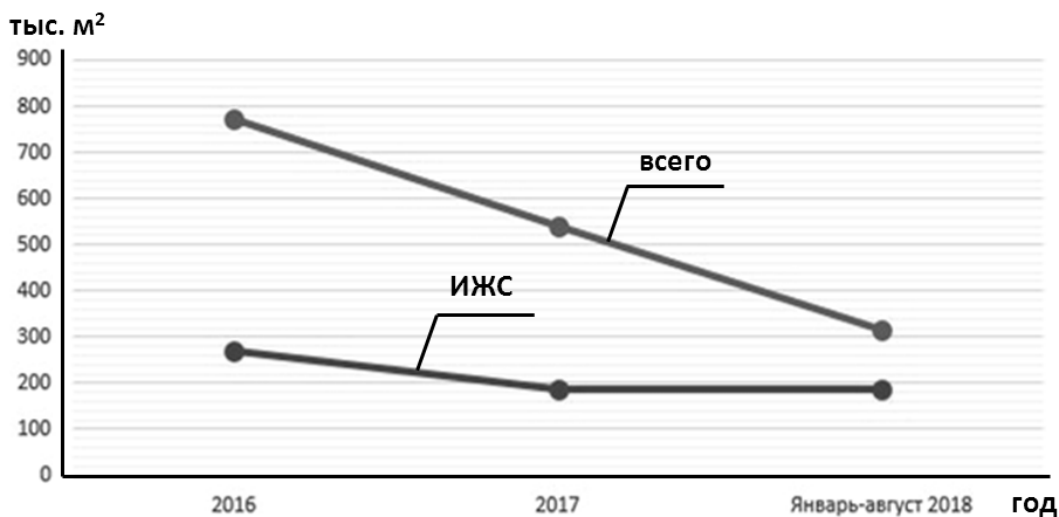


Рис. 1. Динамика ввода жилья на территории Вологодской области

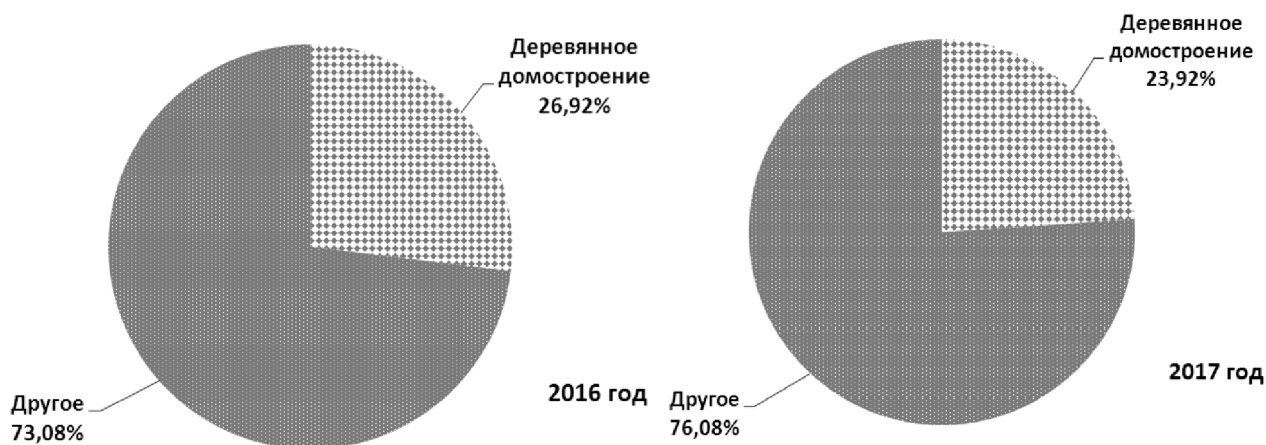


Рис. 2. Доля деревянного домостроения в 2016 и 2017 годах

Динамика домостроения на территории Вологодской области. В течение последних нескольких лет в строительной отрасли Вологодской области наиболее быстрыми темпами развивалось жилищное строительство. Так, за 2017 год в области было введено в эксплуатацию 542,7 тыс. кв. метров жилья, что ниже на 29,9% уровня 2016 года (это обусловлено, в основном, снижением индивидуального жилищного строительства, а также отложенным спросом населения на жилье, так как денежные расходы населения на покупку жилья снизились с 2,9% в январе 2015 года до 1,1% в январе 2016 года и до 0,6% в 2017 году, т.е. в 4,8 раз). Также еще одна причина снижения темпов и объемов ввода жилья происходит в связи со снижением ввода по процедуре «дачной амнистии». При этом 2015 год стал рекордным за предыдущие 70 лет, а в 2016 году ввод жилья был максимальным за последние 25 лет.

Данные за 2018 год ещё не подведены, однако ввод индивидуального жилья за январь–август 2018 года увеличился по сравнению с аналогичным периодом прошлого года в 2,1 раза. За январь–август 2018 года введено 187 тыс. кв. метров жилья. Доля индивидуального жилищного строительства в

общем объеме введенных площадей составила 59,7% (рис. 1) [4].

Если оценить процент ввода деревянных жилых домов, то можно отметить сохранение высокой доли деревянного домостроения. Так, за 2017 год было введено в эксплуатацию 130 тыс. кв. метров жилья, что составляет 23,92% от общего объема введенного жилья, а за 2016 год данный показатель был 208,5 тыс. кв. метров и соответствовал доле в 26,92% от общего ввода (рис. 2) [5].

Отмечается, что Вологодская область находится в числе областей, для которых древесина находится в числе традиционных и широко применяемых стеновых материалов, где во внутренней региональной структуре по стеновым материалам на древесину приходится до 90–95% в ИЖС [7].

Можно сделать вывод, что доля деревянного домостроения в Вологодской области составляет существенный процент в общих объемах жилого строительства.

Перспективы деревянного домостроения. Для оценки перспектив развития деревянного домостроения также необходимо сделать анализ стоимости строительства жилых объектов из различных

материалов. Оценка производилась на основании рекламных предложений на рынке жилищного домостроения в г. Череповце. Причем, возведение деревянных домов в наибольшей степени характерно для индивидуального жилищного строительства, поэтому рассматривался только этот сектор жилого домостроения.

Каменные дома начинаются в ценовом промежутке от 18,85 тыс. руб. за 1 кв. м. Стоит отметить, что у кирпичных домов одни из самых продолжительных сроков строительства. Также стоит отметить, что в последнее время набирает популярность строительство домов из пено- и газоблоков, что изменяет стоимость строительства в позитивную для потребителя сторону.

Дома из цельного массива из оцилиндрованного бревна имеют стоимость от 4,04 тыс. руб. за 1 кв. м; из клееного бруса – от 15,02 тыс. руб. за 1 кв. м; бревна ручной рубки – от 10,14 тыс. руб. за 1 кв. м.

Каркасные дома – от 6,27 тыс. руб. за 1 кв. м. Характеризуются высокой готовностью и быстротой сборки. Являются одним из самых распространенных предложений деревянного домостроения на территории Вологодской области.

Панельные дома – от 4,2 тыс. руб. за 1 кв. м. Высокая заводская готовность, панели поставляются уже готовые к монтажу, одни из самых быстровозводимых домов.

Сравнение цен позволяет сделать вывод о социальной значимости деревянного домостроения, так как дома находятся в экономическом классе и доступны для большинства при соответствии домов всем техническим и эксплуатационным показателям. Это, в свою очередь, говорит о том, что деревянное домостроение будет востребованным в течение ближайшего времени.

На территории Вологодской области реализуется программа «Стратегия социально-экономического развития Вологодской области на период до 2030 года». В программе отмечается, что лесные ресурсы являются важнейшим природным богатством области. Леса занимают более 81% территории области – 11,7 млн. га. Общий запас древесины – 1,6 млрд. куб. м, или 16,5% от запаса древесины по СЗФО (что сопоставимо с запасом древесины в Финляндии, который составляет 1,9 млрд. куб. м), из них 51% – хвойные леса. Объем древесины, который может быть заготовлен без ущерба для запасов (расчетная лесосека), составляет 28,9 млн. куб. м. Сохраняется достаточно высокий уровень обеспеченности жильем и сохраняющийся устойчивый рост спроса на жилье, в том числе эконом-класса, индивидуальное жилищное строительство [3].

Для поддержки развития деревянного домостроения в регионе реализуются крупные инвестиционные проекты. Так, на ОАО «Сокольский ДОК» в 2017 г. запущено производство нового высококачественного клееного стенового бруса и несущих балок длиной до 13,5 м. На ООО «Новаторский ЛПК» реализуется проект по производству сборных деревянных домов из клееного профилированного бруса. Деревянные конструкции для малоэтажного домостроения изго-

тавливаются на ООО «Вохтожский ДОК», ООО «Фабрика Дерусса», ООО «НТКК».

На территории области создано объединение в лесоперерабатывающем комплексе – Промышленный кластер деревянного домостроения и деревообработки Вологодской области. В 2015 году Программа уже прошла экспертизу в Минпромторге России. Разработан и в 2015 году зарегистрирован бренд «Вологодский дом». Главная цель деятельности территориального кластера деревянного домостроения и деревообработки Вологодской области – формирование в области единого промышленного комплекса деревообработки и деревянного домостроения.

Реализация кластерного подхода к развитию деревянного домостроения уже позволила достичь положительной динамики объемов производства деревянных домов в Вологодской области [2].

На территории всей Российской Федерации осуществляется также проект «Стратегия лесного комплекса до 2030 г.» с целью расширить использование древесины в строительстве, что, в свою очередь, создаст мультипликативный экономический эффект. В задачи входит: стимулирование спроса на деревянные дома заводского изготовления и элементы деревянного домостроения; введение ограничений на госзакупки импортной продукции ЛПК; разработка программы продвижения продукции лесопромышленного комплекса; внесение изменений в Правила формирования, предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации [6].

Наряду с этим наблюдаются также работа над актуализацией действующих СНиПов в сфере деревянного домостроения и конструкций с привлечением зарубежного опыта. Так, введен в действие СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции.

Заключение. Создание и реализация региональных программ поддержки лесопромышленного комплекса в целом и деревянного домостроения в частности позволили нарастить долю индивидуального жилищного строительства в секторе деревянного домостроения. В свою очередь такое положение обеспечило конкурентоспособность участников рынка этого сектора строительства, а также способствовало развитию социально-экономического благополучия Вологодской области.

Литература

1. Журавлева, Л. Е. Экономическая эффективность и энергосбережение при реализации инвестиционно-строительных программ в регионах Сибири и Дальнего Востока / Л. Е. Журавлева // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2014. – № 5 (10). – С. 14–24.
2. Игнатьевский, В. А. Экономические проблемы регионов и отраслевых комплексов / В. А. Игнатьевский // Проблемы современной экономики. – 2017. – № 1 (61). – С. 130–131.
3. О Стратегии социально-экономического развития Вологодской области на период до 2030 года [Электронный ресурс]: постановление правительства Вологодской области от 17 октября 2016 года № 920. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/444743929>.

4. Статистика. Развитие жилищного строительства [Электронный ресурс] // Департамент строительства Вологодской области: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://depstroy.gov35.ru/vedomstvennaya-informatsiya/statistika/>.

5. Жилищное строительство [Электронный ресурс] // Департамент строительства Вологодской области: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://depstroy.gov35.ru/vedomstvennaya-informatsiya/statistika/zhilishchnoe-stroitelstvo/>.

6. Лесопромышленный комплекс России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://programlesprom.ru/derevyannye-konstrukcii-v-stroitelstve/>.

7. Развитие деревянного домостроения в России // ЛесПромИнформ. – 2015. – № 2 (108). – С. 136–140.

8. Строительство дома из оцилиндрованного бревна: материалы, технологии: справочник. – Москва: Оникс, 2007. – 32 с.

D.V. Kuznetsov, O. A. Povarova, O.A. Zalipaeva
Cherepovets State University

DYNAMICS AND PROSPECTS OF WOODEN HOUSE-BUILDING IN VOLOGDA REGION

The article analyzes the construction sector of wooden house-building in Vologda region, shows its role in the total share of commissioning of residential areas in the region. Using different technologies, the review of the cost of 1 square meter is given. The results of the implementation of programs for the development and support of wooden house-building and woodworking in Vologda region are considered and summarized.

Vologda region, wooden house-building, technology of wooden house-building, forest industry.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ АРМАТУРЫ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассмотрена проблема оценки прочности арматуры в железобетонных конструкциях. Приведены методы определения прочности арматуры при обследовании зданий.

Обследование, железобетонные конструкции, арматура, метод царапания.

В процессе обследования железобетонных конструкций контролируемыми параметрами арматуры являются вид арматуры, диаметры, количество и расположение арматуры, прочность арматуры, нарушение сцепления арматуры с бетоном, степень коррозии арматуры, наличие разрывов арматуры, состояние стыков или узлов сборных конструкций.

Такие параметры, как расположение арматуры, ее диаметр, толщина защитного слоя бетона, можно определить следующими методами: магнитным методом по ГОСТ 22904; радиационным методом по ГОСТ 17625, а также другими неразрушающими методами, приведенными в статье [8]; контрольным вскрытием бетона с обнажением арматуры, замером диаметра и количества стержней, оценкой класса арматуры по рисунку профиля и определением остаточного сечения стержней, подвергшихся коррозии.

Нарушение сцепления арматуры с бетоном за счет коррозии можно установить простукиванием поверхности бетона (при этом прослушиваются пустоты), что достаточно просто выполнить по месту расположения конструкции.

Прочность арматуры в процессе обследования при отсутствии необходимой документации можно ориентировочно визуально определить по ее профилю, но только для арматуры класса А240 (гладкая), А300 (винт) и А400 (елочка), удалив часть защитного слоя в тех местах, где он отсутствует. Для арматуры повышенной прочности класса А600–А1000 такая методика не подходит, так как она имеет такой же профиль, что и арматура класса А400, а расхождение прочности доходит до 40%. В последние годы для армирования железобетонных конструкций стали применять арматуру прочностью 500 Мпа с эффективным профилем А500СП по ТУ 14-1-5526-2006 «Прокат арматурный класса А500СП с эффективным периодическим профилем». Особенность профиля арматуры А500СП – вершины серповидных ребер располагаются не в одной осевой плоскости, а в двух взаимно перпендикулярных, что обеспечивает плотную компоновку зерен крупного заполнителя вокруг сердечника стержня и способствует более равномерному распределению усилий распора по сравнению с серповидным профилем европейского типа. Такой

профиль называют четырехсторонним серповидным (рис. 1).

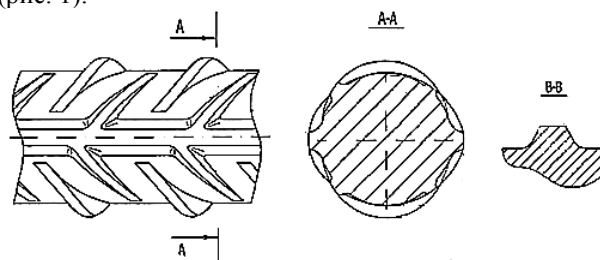


Рис. 1. Внешний вид профилей арматуры А500СП

Кроме этих профилей арматуры выпускается профиль, нормируемый требованиями ГОСТ Р 52544-2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия». Это профиль холоднодеформированной арматуры класса В500С, имеющий трехсторонние или четырехсторонние сегментные серповидные ребра (рис. 2).

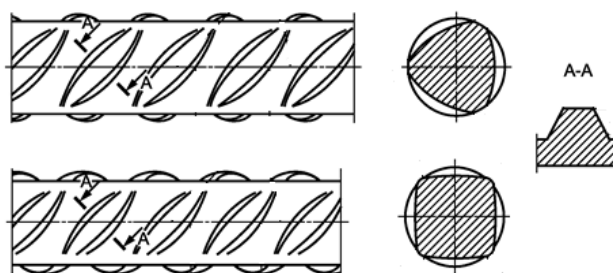


Рис. 2. Внешний вид профилей арматуры В500С

После введения в 1993 году в действие СТО АСЧМ 7-93 «Прокат арматурный периодического профиля. Технические условия» и в 1996 году ГОСТ 10884-94 «Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия» арматурные стержни (классы А400С÷А600С и Ат-400÷Ат-1200) стали выпускать с новым улучшенным профилем, ребра насечки которого имеют серповидную форму и шаг больший, чем у аналогичных горячекатаных стержней по ГОСТ 5781-82

«Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия» (рис. 3).

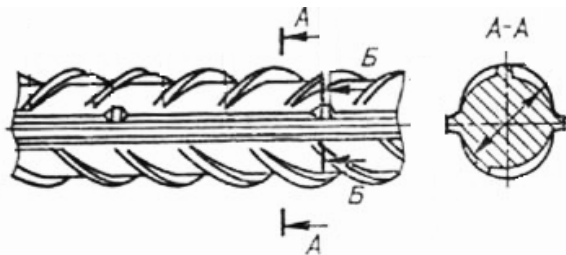


Рис. 3. Внешний вид профиля арматуры А_т-400.....А_т-1200

В настоящее время использование новых профилей в изготовлении железобетонных конструкций применяется редко, а при обследовании конструкций ранее построенных зданий практически не встречается. При ориентировочном определении прочности арматуры по рисунку профиля стержней количество участков, в которых определяется профиль стержней одного и того же диаметра в однотипных конструкциях, должно быть не менее пяти. Число конструкций, в которых определяются диаметр, количество и расположение арматуры принимается не менее трех.

Стержни вырезаются из тех сечений конструкции, где несущая способность обеспечивается и без вырезанных стержней [7]. Испытания должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12004 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение». Для определения прочности арматуры обязателен отбор пробы определенной длины, что сопровождается нарушением целостности защитного слоя и арматуры и требует усиления обследуемой конструкции, что достаточно дорогостоящее и трудоемкое мероприятие.

Арматурные стали одной марки или класса имеют в действовавших в разные годы нормативных документах разные величины нормативных и расчетных сопротивлений; при обследовании необходимо определять годы проектирования и постройки здания или сооружения, а значения нормативных и расчетных характеристик механических свойств следует принимать с учетом действующих норм в период постройки норм (Н и ТУ 123-55, СНиП II-21-75, СНиП II -13.1-62, СНиП II-21-75 до 1986 года; СНиП 2.03.01-01 с 1986 года по 2005 год, а с 2006 по 2012 год в соответствии с СП 52-101-2003, в настоящее время по СП 63.13330.2012), а так же с учетом периода обследования.

Нормативными требованиями [7] при отборе проб должна быть обеспечена несущая способность конструктивного элемента, это достаточно не сложно выполнить длягибаемых элементов, в которых просто определить зоны минимальногогибающего момента и поперечной силы. Однако при обследовании колонн, стоек, несущих стен, стенок резервуаров и т.д. найти такие зоны сложно или практически невозможно. В этом случае отбор проб не только повышает трудоемкость и, следовательно, стоимость обследования, но и усиливает степень повреждения конструкции и может привести к обрушению без дополнительных мероприятий по обеспечению надежности.

По требованиям, приведенным в [1], длина отбираемых образцов l должна быть не менее:

$$l = 8d + 200 \text{ мм}, \quad (1)$$

где d – диаметр стержня.

По требованиям ГОСТ 12004 длина образцов для стержней диаметром менее 20 мм должна определяться, как

$$l = 2a + 200 \text{ мм}, \quad (2)$$

где a – длина стержня, необходимая для захвата разрывной машиной.

Для стержней диаметром более 20 мм длина должна составлять

$$l = 10d + 2a. \quad (3)$$

Для стержней большего диаметра можно минимизировать длину отбираемой пробы за счет изготовления на токарном станке из более короткого стержня цилиндрического образца, соответствующего требованиям для испытания по ГОСТ 1497-84* «Металлы. Методы испытания на растяжение». Несмотря на это, во всех случаях длина отбираемой пробы существенна с точки зрения трудоемкости отбора и повреждения конструктивного элемента.

При обследовании железобетонных конструкций склада ферросплавов в г. Череповце Вологодской области, построенного в 1976 году, были использованы для определения прочности арматуры метод отбора проб, визуальный метод, инструментальный метод.

По конструктивной схеме обследуемое здание – с полным железобетонным каркасом, в плане прямоугольной формы, двухпролетное, одноэтажное, бескрановое, неотапливаемое. В ходе сплошного обследования были осмотрены железобетонные балки покрытия пролетом 9,0 м в количестве 88 штук. Часть балок в количестве 40 штук была изготовлена в условиях строительной площадки, другая – в заводских условиях [2]. Таким образом, потребовалось взятие проб по три из каждого вида изготовления балок. Обмерочный чертеж одной из балок, изготовленных в построечных условиях, показан на рис. 4 (размеры балки приведены с разбросом по всем монолитным балкам).

Рабочие арматурные стержни располагались в два ряда, диаметр нижних составлял 18 мм, при этом смещение положения арматуры от проектного доходило до 80 мм по чертежам соответствующей серии типовых конструкций. Длина образцов составила в соответствии с формулой (2) $l=300$ мм (по формуле (1) требуемая длина составила бы 344 мм). Отбор проб был затруднен тем обстоятельством, что работы выполнялись на отметке низа балки (4,2 м).

По действующим нормам визуально рабочая арматура относится к классу А400 с расчетным сопротивлением растяжению $R_s = 350$ МПа, по [7] может соответствовать двум классам – упрочненной вытяжкой арматурной стали класса АШВ с $R_s = 390$ МПа и арматурной стали класса АШ с $R_s = 335$ МПа, а по СНиП II-21-75 – классу АШ с $R_s = 340$ МПа. Расхождение прочности армирования составило 14% для обычной и упрочненной вытяжкой арматуры по [7], а также около (3÷11)% – по действующим нормам. По результатам испытания образцов на разрывной машине с учетом обработки данных расчетное сопротивление составило $R_s = 356,5$ МПа.

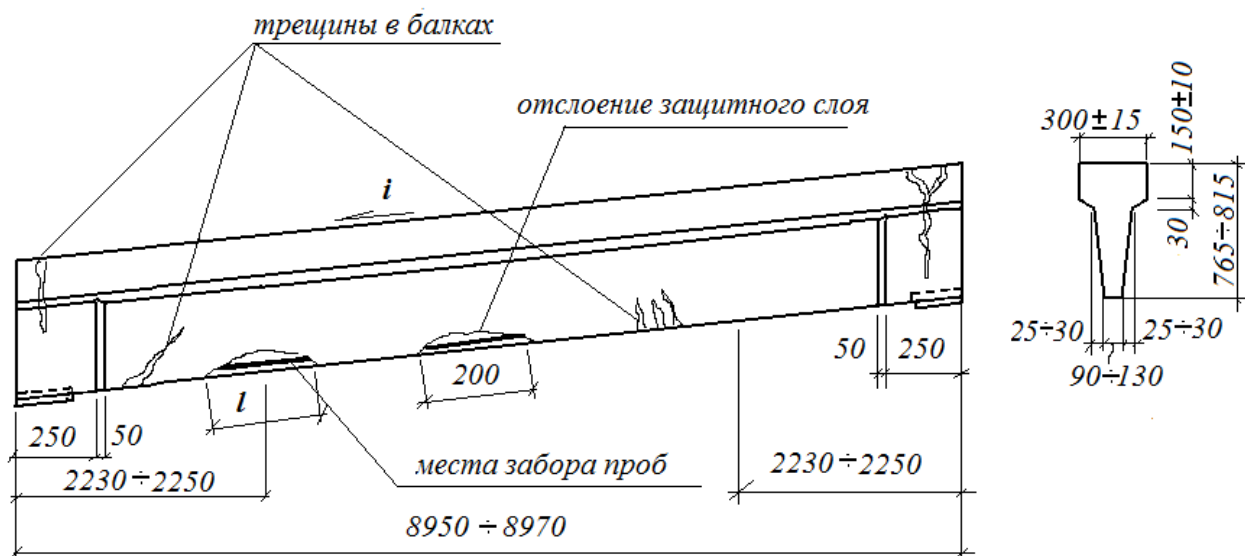


Рис. 4. Монолитная балка

При отборе проб заготовки стараются вырезать из мест с наименьшими или нулевыми напряжениями по условию безопасности. Однако материал при эксплуатации конструкций подвергается наибольшим изменениям в самых напряженных участках конструкции, поэтому результат испытаний будет заведомо неверным и, как правило, в сторону завышения прочности материала. Вырезка заготовок для образцов в наиболее напряженных участках опасна и сложна из-за необходимости усиления конструктивного элемента, а иногда вообще невозможна.

В связи с этим нами предлагается для оценки прочности арматурной стали определять ее твердость методом царапания.

Испытания на твердость отличаются от других механических испытаний тем, что не требуют изготовления образцов специальной формы и связаны с возникновением на поверхности стальных деталей (или образцов) локальных контактных напряжений и деформаций при статическом или ударном внедрении в металл малодеформирующегося индентора (наконечника). Этот наконечник может иметь форму шарика, конуса, пирамиды и др.

Специфика испытания на твердость заключается в местном воздействии на небольшую часть поверхности тела, в малом объеме испытуемого материала, в небольшой доле растягивающих напряжений и удлинений.

Малый объем деформируемого металла и возможность определения твердости непосредственно на поверхности стальных деталей и элементов конструкций делают такие испытания незаменимыми для массового и обычного контроля прочностных и пластических свойств стали. При испытаниях твердости определяются механические свойства металла в пластической области деформирования без разрушения, при этом может быть достаточно точно оценено временное сопротивление стали, и, следовательно, предел текучести.

Методика проведения неразрушающих испытаний методом царапания (когда инденторы осуществляют

царапающее движение) с использованием в качестве индентора алмазной пирамиды достаточно подробно описана в работах [3, 4].

Приборы и устройства для проведения испытаний, в которых в качестве индентора была использована четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине 136° , описаны в [5, 6]. При этом твердость металла царапанием H_u можно определить по формуле:

$$H_u = c \cdot \frac{F}{b^2}, \quad (4)$$

где c – коэффициент, зависящий от вида испытуемого металла (для стали любых классов $c = 3,708$);

F – давление от индентора в виде алмазной пирамиды на металл исследуемого образца, изделия, элемента конструкции (для стали любых классов $F = 80$ Н, значение усилия определяется по специальному тарифовочному графику ($F - \Delta$) или по тарифовочной таблице показаний индикатора часового типа);

\bar{b} – среднее значение ширины царапины ($\bar{b} = \sum_{i=1}^n b_i / n$, n – число измеренных значений b_i).

Предел прочности для стали вычисляется по формуле:

$$\sigma_B = 0,26 H_u - 71, \text{ в МПа.} \quad (5)$$

Сравнение результатов испытаний образцов арматурной стали на разрывной машине и методом царапания приведены в таблице и показывают хорошее совпадение результатов. Перед началом испытаний на заранее подготовленной поверхности арматурного стержня устройством для нанесения царапин наносились царапины на малых скоростях движения алмазной пирамиды (до 1 м/мин) и при отсутствии смазки. При этом по чистоте поверхности образцы были не ниже класса $\nabla 9$. Нагрузка на острие – 80 Н – обеспечивала получение царапин шириной в несколько десятых долей миллиметра с тем, чтобы оценивать сопротивление царапанию не поверхностного слоя, а металла в большем объеме.

**Результаты измерения ширины царапин (индентор – четырехгранная пирамида
с углом при вершине 136°, сила прижатия $F = 80H$)**

№ обр.	Ширина царапины b, мм								Hц МПа	σ _В , МПа	σ _{В, экс} МПа
	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b ср			
1	0,44	0,44	0,44	0,42	0,46	0,44	0,41	0,42	1681,7	366,2	370
2	0,437	0,43	0,42	0,44	0,427	0,44	0,427	0,431	1596,9	344,1	340
3	0,41	0,42	0,43	0,41	0,42	0,42	0,41	0,43	1604,4	346,1	349
4	0,42	0,416	0,42	0,416	0,41	0,42	0,41	0,42	1681,7	366,2	370
5	0,39	0,388	0,4	0,39	0,393	0,4	0,43	0,425	1642,3	355,9	350
6	0,44	0,43	0,44	0,39	0,4	0,44	0,43	0,42	1681,7	366,2	370
7	0,43	0,42	0,42	0,43	0,4	0,42	0,44	0,43	1604,4	346,1	350
8	0,42	0,41	0,4	0,4	0,42	0,44	0,41	0,42	1681,7	366,2	367
9	0,407	0,4	0,394	0,404	0,41	0,41	0,4	0,43	1604,4	346,1	350
10	0,38	0,39	0,39	0,41	0,43	0,41	0,42	0,43	1604,4	346,1	360

Примечание: σ_B – значение временного сопротивления разрыву, полученное по формуле $\sigma_B = 0,26H_{ц} - 71$, МПа; $\sigma_{B, экс}$ – значение временного сопротивления разрыву, полученное по результатам испытаний на разрывной машине.

Приведенный метод определения значения σ_B для сталей, малые размеры и вес испытательных устройств позволяют проводить неразрушающие испытания стальных элементов непосредственно в конструкциях в самых стесненных местах. В любом случае при применении этого метода для определения прочности арматуры размеры образцов могут быть в разы меньше, чем для разрушающих методов, и целостность конструкции будет нарушаться минимально.

Литература

1. Обследование и испытание здания и сооружений: учеб. пособие для вузов / В. Г. Козачек, Н. В. Нечаев, С. Н. Нотенко и др.; под ред. Римшина. – Москва: Высшая школа, 2004. – 447 с.
2. Михалевич, Н. В. К вопросу об эксплуатации железобетонных балок / Ш. Э. Булгаков, Н. В. Михалевич, Л. И. Булгакова // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей VI междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2006. – С. 12–15.
3. Плотникова, О. С. Неразрушающий метод определения механических характеристик материалов с помощью царапания // Сборник статей Международ-

ной научно-технической конференции. – Пенза, 2006. – С. 193–195.

4. Плотникова, О. С. Определение механических характеристик материалов в конструкциях неразрушающим методом (царапанием) / В. С. Уткин, О. С. Плотникова // Конструкции из композиционных материалов. – 2007. – № 4. – С. 45–47.

5. Пат. 2308018, МПК G 01 N 3/46. Устройство для определения твердости материалов методом царапания / В. С. Уткин, О. С. Плотникова, В. В. Русанов; заявитель и патентообладатель Волог. гос. техн. ун-т. – № 2006102641/28; заявл. 30.01.2006; опубл. 10.10.2007. – Бюл. № 28.

6. Пат. 2373515, МПК G 01 N 3/46. Устройство для определения твердости материалов методом царапания / В. С. Уткин, В. Ф. Меньшиков; заявитель и патентообладатель Волог. гос. техн. ун-т. – № 2006102641/28; заявл. 16.06.2008; опубл. 20.11.2009. – Бюл. № 32.

7. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений / Госстрой России. – Введ. 21.08.2003. – Санкт-Петербург: ДЕАН, 2004. – 60 с.

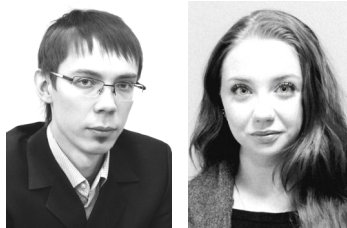
8. Улыбин, А. В. Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций / А. В. Улыбин // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 1. – С. 4–13.

N.V. Mikhalevich, O. S. Plotnikova
Vologda State University

DETERMINATION OF STRENGTH OF THE REINFORCEMENT WHEN INSPECTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

The article deals with the problem of assessing the strength of reinforcement in reinforced concrete structures. The methods of determining the strength of reinforcement during the inspection of buildings.

Inspection, reinforced concrete structures, reinforcement, scratch method.



ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КУЛЬТИВАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Выбор системы отопления здания в первую очередь основан на рациональном использовании топливно-энергетических ресурсов. Оптимальным вариантом обогрева помещения является случай, при котором требуемый тепловой (или тепловлажностный) режим достигается при наименьших энергетических затратах. В статье на основе проведенных исследований рассмотрены преимущества системы лучистого отопления, предназначенной для обогрева сельскохозяйственного здания на примере зимней теплицы. Установлено, что по ряду характерных особенностей, как, например, получение естественной (солнечной) теплоты в виде инфракрасного излучения, направленного непосредственно к поверхности почвы и растений, возможность использования углекислого газа (CO_2), образованного при сгорании газообразного топлива для подкормки растений и др., лучистое отопление культивационных сооружений может конкурировать с традиционными (конвективными) системами обогрева.

Энергосбережение, энергетическая эффективность, лучистое отопление, теплица.

В настоящее время, несмотря на конструктивные разновидности систем отопления, устройство и принцип их работы, особенности теплообмена с окружающей средой и т.п., основной задачей в области теплоснабжения зданий и сооружений остается сокращение энергетических затрат на их эксплуатацию [2, с. 11]. Это касается не только объектов жилищно-гражданского строительства, но и культивационных сооружений с защищенным грунтом, к которым в первую очередь относятся теплицы. Данная задача, прежде всего в помещениях промышленных предприятий и сельскохозяйственных зданий, может быть успешно решена путем использования в них систем лучистого отопления, работающих от электричества или на газообразном топливе [9, с. 22].

Отдельно следует отметить, что при лучистом отоплении [10, с. 2]:

1. Создается возможность без ухудшения условий теплового комфорта снизить температуру воздуха по сравнению с нормируемой для традиционных систем отопления (водяных, паровых, воздушных и др.), что позволяет существенно уменьшить расход теплоты на обогрев помещения.

2. Обеспечивается равномерность распределения температуры воздуха в объеме обслуживаемого помещения.

3. Сокращается перенос пыли и вредных выделений в помещении за счет более низкой подвижности воздуха.

К примеру, при лучистом отоплении производственного помещения с размерами 40×60 м и высотой 16 м тепловые потери при расчетных условиях составили 137 кВт (для сравнения, при водяном отоплении – 150 кВт) [11, с. 57]. Сравнение инфракрасной системы обогрева теплицы с традиционными системами отопления установило, что перепады температуры воздуха оказались в обоих случаях в пределах допус-

тимого диапазона значений. Однако при этом потребление теплоты при лучистом отоплении примерно на 12% ниже, чем при обогреве теплицы воздушными тепловыми трубами, и на 6% – по сравнению с системой водяного отопления в сочетании с воздушными трубами [15]. Преимущества лучистого отопления также подтверждены в теплице для производства овощных саженцев, нагреваемых газовыми инфракрасными излучателями (ГИИ). Собранные в течение 62-дневного периода данные по распределению температуры в теплице в зимний период года показали, что рассаду можно поддерживать в оптимальных тепловых условиях при температуре внутреннего воздуха ниже на $2 \div 3^\circ\text{C}$, чем при обычном отоплении, что свидетельствует о значительном сокращении потребностей в тепловой энергии [13]. В эксперименте, проведенном в специально построенной оранжерее (центральная часть Греции), сопоставлены два вида систем отопления: лучистое (инфракрасное) и воздушное. Натурные измерения и результаты численного решения подтвердили, что при инфракрасном обогреве теплицы в ночное время суток температура воздуха внутри помещения на несколько градусов ниже, чем при воздушном отоплении. Разработанная авторами математическая модель, состоящая из алгебраических уравнений, дала возможность оценить экономию энергии в размере от 45 до 50% при лучистом отоплении с использованием инфракрасных излучателей в сравнении с традиционным обогревом теплицы предварительно нагретым воздухом [14].

В целом же лучистое отопление позволяет уменьшить до 40% общий расход тепловой энергии, затрачиваемой на обогрев помещения [1, с. 178].

Дополнительный экономический эффект от лучистого отопления может быть достигнут за счет локального обогрева помещения, при котором инфракрасные излучатели используются только там, где они

действительно необходимы для человека или технологических условий производства [3, с. 636; 7, с. 48–49]. Срок окупаемости мероприятия по переводу централизованного отопления производственного здания с размерами 51,25×32,69 м и высотой 5,49 м в Ивановской области на зональный лучистый обогрев с газовыми инфракрасными излучателями (ГИИ) оказался меньше трех месяцев (укрупненный расчет), что свидетельствуют о целесообразности его реализации [5, с. 273].

К преимуществам лучистого отопления также можно отнести следующее [4, с. 41; 8, с. 55]: бесшумность работы и экологичность отопительной системы (почва и растения получают круглосуточно естественную (солнечную) теплоту в виде инфракрасного излучения, при этом прямые и косвенные выбросы вредных веществ в окружающую среду минимальны); незамерзаемость и отсутствие утечек теплоносителя через неплотности трубопроводных соединений, а также снижение издержек на его подготовку и перекачивание по трубопроводам; отсутствие необходимости в котельной и техническом обслуживании тепловых сетей; малая инерционность; возможность полной автоматизации и гибкость управления; сокращение сроков монтажных работ и др.

Важным достоинством газового лучистого отопления, ориентированного на тепличное хозяйство, является то, что тепловая энергия продуктов сгорания газообразного топлива может быть использована для нагрева воздуха в помещении. Тепловая «подушка», образованная под кровлей теплицы, позволит уменьшить снеговую нагрузку на строительную конструкцию в зимнее время года, создав при этом подобие теплоизоляционного слоя [6, с. 73].

Экспериментальные результаты показали, что можно нагревать растения инфракрасными волнами без видимых повреждений. При лучистом отоплении листья растений всегда будут иметь более высокую температуру, чем внутренний воздух. Следовательно, можно ожидать, что риск возникновения заболеваний, вызванных влажностью (например, кладоспориоз томатов или склеротиния), будет заметно снижен [12]. Выращенные многообразные многолетние растения, цветы (тропические гибискусы) в подвесных корзинах, кустарники и травы в натуральных условиях на одном акре земли (территория площадью более 4000 м²) в поселке Махве штата Нью-Джерси (США) при работе системы лучистого отопления также подтверждают целесообразность данного способа обогрева [16].

Представим итоговые результаты технико-экономического расчета различных видов систем отопления, которые могут быть использованы для обогрева культивационных сооружений на примере промышленных теплиц: традиционное (конвективное) и лучистое отопление с применением газовых (ГИИ) и электрических (ЭИИ) инфракрасных излучателей.

Годовые удельные денежные затраты на обогрев теплицы и полив почвы могут быть рассчитаны для всех случаев по уравнению:

$$Z = \Delta q_{\text{год}} T + \Delta g_{\text{год}} T_{\text{в}}, \text{ руб./м}^2,$$

где $\Delta q_{\text{год}}$ и $\Delta g_{\text{год}}$ – годовые удельные затраты теплоты на обогрев теплицы, кВт·ч/м², и воды на полив поч-

вы, кг/м², которые определяются на основании решения системы взаимосвязанных уравнений теплового и материального балансов теплицы, ее ограждения и поверхности почвы; T – тариф на используемый вид энергии (или энергоноситель); $T_{\text{в}}$ – тариф на холодную воду, руб./кг.

В таблице приведены результаты технико-экономического расчета по формуле различных видов систем отопления для климатических условий города Вологды (методика расчета будет подробно рассмотрена в следующих научных публикациях).

Таблица

Годовые удельные денежные затраты

Удельный показатель	Вид системы отопления		
	ЭИИ	ГИИ	традиционная
З, руб./м ²	5402	875	3899

Согласно таблице, годовые удельные денежные затраты на энергообеспечение промышленной теплицы при использовании газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) оказались более чем в четыре раза меньше, чем при традиционном (конвективном) отоплении. Электрическое инфракрасное отопление теплицы (ЭИИ) является самым дорогостоящим вариантом обогрева (дороже газового (ГИИ) более чем в шесть раз).

Таким образом, при лучистом отоплении культивационных сооружений почва и растения круглосуточно получают направленный поток инфракрасного излучения, который по своей природе абсолютно идентичен солнечной радиации, а в случае применения газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) – и углекислому газу (СО₂), жизненно необходимому растениям для реакции фотосинтеза (процесса образования углеводов). При этом режим работы излучателей является регулируемым, система отопления практически не занимает полезной площади помещения и не нуждается в источнике теплоснабжения (например, в котельной или ТЭЦ), тепловые потери минимальны, так как температура воздуха в теплице ниже, чем при традиционном (конвективном) отоплении. Результаты технико-экономического расчета (табл.) также подтверждают целесообразность применения лучистого отопления в культивационных сооружениях на примере промышленных теплиц.

Литература

1. Бодров, В. И. Теплофизические требования к конструкциям телового контура зданий при лучистом отоплении / В. И. Бодров, А. А. Смыков // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2014. – № 17. – С. 177–180.
2. Дыскин, Л. М. Локальный обогрев лучистым отоплением / Л. М. Дыскин, В. В. Шиванов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 5–6. – С. 11–14.
3. Максимов, В. И. Влияние размещения газовых инфракрасных излучателей на энергоэффективность их применения в системах отопления / В. И. Максимов, Т. А. Нагорнова // Перспективы развития фунда-

ментальных наук: сборник науч. трудов XI междунар. конф. студентов и молодых ученых. – Томск, 2014. – С. 636–638.

4. Павлов, М. В. Исследование тепловлажностного режима почвы при лучистом отоплении модульной теплицы / М. В. Павлов, С. В. Лукин, А. А. Кочкин // Приволжский научный журнал. – 2017. – № 1 (41). – С. 41–45.

5. Плетникова, Ю. С. Оценка экономической эффективности замены централизованного отопления системой лучистого отопления / Ю. С. Плетникова, В. В. Бухмиров // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения): материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 175-летию со дня рождения Н. Н. Бенардоса. Т. 2. – Иваново, 2017. – С. 271–274.

6. Повышение коэффициента полезного действия лучистой системы отопления с применением в качестве отопительных приборов «светлых» газовых инфракрасных излучателей / Н. И. Куриленко, М. Н. Чекардовский, Л. Ю. Михайлова, А. Н. Ермолаев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4 (38), Т. 38. – С. 73.

7. Пуринг, С. М. Особенности применения газовых инфракрасных излучателей / С. М. Пуринг, Н. П. Тюрин, Д. Н. Ватузов // Градостроительство и архитектура. – 2017. – № 1 (26), Т. 7. – С. 47–51.

8. Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2016. – № 5. – С. 54–57.

9. СП 60.13330.2016. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: актуализированная ред. СНиП 41-01-2003: утв. Министерст-

вом строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16.12.2016 № 968/пр. – Введ. 17.06.2017. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 104 с.

10. СТО НП АВОК 4.1.5-2006. Стандарт организации. Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями: утв. приказом Президента НП «АВОК». – Введ. 30.11.2006. – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 12 с.

11. Шумилов, Р. Н. Системы лучистого газового отопления / Р. Н. Шумилов, Ю. И. Толстова, А. А. Поммер // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – № 11 (107). – С. 54–57.

12. Development of a microwave system for greenhouse heating / M. Teitel, A. Shklyar, Y. Elad [etc.] // International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd Millennium. – 2000. – № 43, Vol. 1. – P. 189–195.

13. Kavga, A. Assessment of infrared heating benefits in a production greenhouse / A. Kavga, I. Konstas, T. Panidis // Applied Engineering in Agriculture. – 2015. – Vol. 31 (1). – P. 143–151.

14. Kavga, A. Infrared heating of greenhouses revisited: an experimental and modeling study / A. Kavga, T. Panidis, V. Bontozoglou, S. Pantelakis // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2009. – Vol. 52 (6). – P. 2055–2065.

15. Knies, P. Infrared heating in greenhouses / P. Knies, N. J. van de Braak, J. J. G. Breuer // Acta Horticulturae. – 1984. – № 148. – P. 73–80.

16. NJ greenhouses bloom with radiant heating // Engineered Systems. – Laguna Hills (CA), USA: Business news publishing company, 1999. – Vol. 16, № 1. – P. 32–33.

M. V. Pavlov, K. A. Duginova
Vologda State University

ADVANTAGES OF RADIANT HEATING SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF CULTIVATION FACILITIES

The choice of the heating system, first of all, is based on the rational use of fuel and energy resources. The best heating option is the one which allows to get the required thermal (or hygrothermal) mode at the lowest energy costs. The article considers the advantages of radiant heating system designed for heating an agricultural building using the example of a winter greenhouse based on the research conducted. It is established that in a number of characteristic features, such as obtaining natural (solar) heat in the form of infrared radiation directed to the surface of soil and plants, the possibility of using carbon dioxide (CO₂) formed during the combustion of gaseous fuel for plant nutrition, etc., radiant heating of cultivation facilities can compete with traditional (convective) heating systems.

Energy saving, energy efficiency, radiant heating; greenhouse.



В.И. Римшин, И.В. Компанец, О.И. Гришак
*Национальный исследовательский Московский
 государственный строительный университет*

ДЕГРАДАЦИОННЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ФАСАДА КИРПИЧНОГО МНОГOKВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Обоснованы и рассмотрены технические процессы, полученные при обследовании пятиэтажного четырех-подъездного жилого дома в городе Москве. Представлены основные дефекты, полученные от силовых и средовых нагрузок. Предложены рекомендации по проведению ремонта несущих и ограждающих конструкций жилого дома.

Мониторинг, исправное состояние, работоспособное состояние, обследование строительных конструкций многоквартирного жилого дома, дефекты.

Реализация государственных программ, направленных на обновление жилищного фонда страны, предусматривает проведение плановых восстановительных ремонтных работ и работ по капитальному ремонту зданий и сооружений. Целью работ по ремонту жилого дома является сохранение существующих объемно-планировочных решений и архитектурного облика здания. Данная проблематика с определенных научных, проектных и конструкторских позиций изучалась, например, в следующих опубликованных источниках в нашей стране и за рубежом [1–18]. Вместе с тем изучение и аналитическая оценка силовых и средовых деградационных повреждений конструктивных элементов зданий и сооружений является важной и актуальной научной задачей. При этом следует иметь в виду, что обследование здания является обязательной процедурой при проведении его капитального ремонта.

Отметим, что настоящее обследование выполнено с целью определения технического состояния, износа стен и элементов фасада здания, определения состояния внутренних инженерных сетей здания, расположенного по адресу: г. Москва, ул. Большая Академи-

ческая, д. 18а. Это 5-ти этажное, 4-х подъездное здание с чердачным пространством и подвалом под всем зданием. Оно построено и введено в эксплуатацию в 1961 году (рис.) по индивидуальному проекту.

В данном жилом многоквартирном доме 80 квартир, один жилой блок общежития.

За время эксплуатации здания капитальный ремонт не проводился. Согласно ФЗ № 384 от 01.07.2010 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», обследование здания относится к зданиям и сооружениям нормального уровня ответственности.

В ходе обследования конструкций фасада жилого дома были получены следующие результаты: наружные стены выполнены из белого силикатного кирпича М100, частично облицованы керамическим камнем со стороны лицевого и торцевых фасадов. Штукатурный слой на стенах фасада отсутствует. Цоколь оштукатурен цементно-песчаным раствором и окрашен масляной краской. Пряжки отсутствуют. Толщина наружных стен 510 мм. Внутренние стены выполнены из полнотелого кирпича М100, толщина внутренних несущих стен 380 мм.



Рис. Фасад многоквартирного жилого дома

Продольные наружные и внутренние стены здания являются несущими.

Отмостка асфальтобетонная по всему периметру здания шириной 1 м. Водоприемные лотки отсутствуют.

В здании выполнены железобетонные балконы со 2-го по 5-й этажи, размер балконов с габаритными размерами: 3000×800×150 мм. Общее количество балконов – 64 шт., сборная железобетонная плита, консольно-защемлена в наружной стене здания. Покрытие балконов плит – керамическая плитка по цементно-песчаной стяжке. Гидроизоляция – рубероид на битумной мастике.

В здании имеются 4 входные группы в жилые помещения со стороны дворового фасада. Напольное покрытие входных групп выполнено из керамической плитки, имеет прямое примыкание с отмосткой через 5–6 ступеней. Лестницы 2-х маршевые из сборных железобетонных маршей и площадок. Надподъездные козырьки расположены на продольных стенах здания. Железобетонная плита козырька консольно закреплена в наружной стене здания. Покрытие козырьков выполнено из рулонных гидроизоляционных материалов.

Входные двери в подъезды – металлические, оснащены домофонами и доводчиками.

Система организованного водостока на фасаде представлена вертикальными водосточными трубами и водоприемными воронками. Водосточные трубы закреплены на стене здания посредством металлических ухватов.

Пожарная лестница выполнена на торцевой части фасада здания.

Оконное заполнение в местах общего пользования выполнено из деревянной обвязки с двойным остеклением на штапиках. Отливы выполнены из оцинкованной стали.

В цоколе здания организованы продухи.

Молниевывод имеет прямое сопряжение с пожарной лестницей.

Домовые знаки – 2 штуки. Расположены в габаритах 1-го этажа на продольном фасаде здания (со стороны входов в подъезды), а также на торцевом фасаде здания, имеют подсветку в ночное время.

Двери входов в подвал решетчатые, металлические.

Обследование выполнено в соответствии с требованиями следующих нормативных документов: ГОСТ Р 31937-2011 «Здания и сооружения»; техническое состояние наружных и внутренних стен здания – в соответствии с ГОСТ Р 31937-2011 «Правила обследования и мониторинга технического состояния», СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», ВСН 57-88(Р) «Положение по техническому обследованию жилых зданий». Для оценки пространственного положения конструкций здания и оценки соответствия существующих конструкций требованиям норм учитывались требования СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».

При обследовании здания выявлены следующие дефекты: на фасаде здания имеются многочисленные следы замачивания и плесени в местах навески водосточных труб, локальные промерзания. На цоколе имеется шелушение окрасочного слоя. Также на фа-

саде наблюдаются выветривания и выщелачивания. Наблюдаются места выпадения кирпичной кладки. Имеются трещины на поверхности кирпичной кладки наружных стен здания с раскрытием до 2 мм. Деформации здания не выявлено.

Состояние окон в местах общего пользования неудовлетворительное. Оконные отливы имеют поверхностную коррозию. Также имеется шелушение окрасочного слоя и сколы штукатурки оконных откосов.

В отмостке имеются трещины и неплотное сопряжение с вертикальными стенами, следы сырости. Входные двери в подъезд находятся в удовлетворительном состоянии. Согласно таблице № 58 ВСН 53-86 (р) физический износ металлических дверных заполнений составляет 26%.

Металлические двери в подвальные помещения находятся в неудовлетворительном состоянии. Физический износ металлических дверных заполнений составляет более 70%.

На пожарной лестнице выявлены многочисленные следы коррозии.

Контроль технического состояния стен обеспечивается не в полном объеме. Ремонты проводятся несвоевременно.

Научный и аналитический результат. На основании технического обследования и согласно ГОСТ 31937-2011 можно сделать вывод, что техническое состояние наружных стен здания оценивается как работоспособное техническое состояние. Физический износ стен здания в соответствии с ВСН 53-86(р) составляет не более 35%. Сцепление кирпича с раствором и заполнение швов кирпичной кладки удовлетворительное. Рекомендуется проведение ремонтных работ с устранением дефектов, выявленных при обследовании.

Практические рекомендации. При проведении ремонта фасада необходимо выполнить следующие виды работ: обработать стены фасада антисептиком в местах намокания; заделать трещины в кирпичной кладке наружных стен самонапрягаемым раствором; покрасить силикатную часть фасада по подготовленной поверхности в соответствии с согласованным колористическим паспортом; оштукатурить и окрасить с предварительной подготовкой оконные откосы, фасад из силикатного кирпича; отремонтировать штукатурку и окрасить цоколь; отремонтировать пожарную лестницу; заменить асфальтобетонную отмостку с установкой водоотводящих лотков; отремонтировать водосточную систему с заменой водосточных труб; выполнить ремонт входов в подъезды с заменой опорного основания и покрытия из рулонных гидроизоляционных материалов.

Литература

1. Бондаренко, В. М. Диссипативная теория силового сопротивления железобетона / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин. – Москва: Студент, 2015. – 110, [1] с.
2. Бондаренко, В. М. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин. – 4-е изд, испр. – Москва: Студент, 2014. – 539 с.

3. Валевич, Д. К вопросу применения композитных волокон для усиления кирпичных кладок зданий и сооружений / Д. Валевич, В. Римшин, С. Меркулов // *Русский инженер*. – 2018. – № 1 (58). – С. 28–32.
4. Заруба, В. М. Инженерные методы обследования жилого кирпичного дома в городе Москве / В. М. Заруба, В. Л. Курбатов, В. И. Римшин // *Экология и ресурсо- и энергосберегающие технологии на промышленных предприятиях, в строительстве, на транспорте и в сельском хозяйстве: сборник статей XVI междунар. науч.-практ. конф.* – Пенза, 2017. – С. 72–77.
5. Обследование и испытание зданий и сооружений: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Промышленное и гражданское строительство» направления подготовки «Строительство» / В. Г. Казачек, В. И. Римшин и др.; под ред. В. И. Римшина. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва: Студент, 2012. – 668 с.
6. Проектирование звукоизоляции слоистых элементов конечных размеров / А. А. Кочкин, И. Л. Шубин, Л. Э. Шашкова, Н. А. Кочкин // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2016. – № 4 (364). – С. 161–167.
7. О регулировании звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов / А. А. Кочкин, И. Л. Шубин, Н. А. Кочкин, А. В. Киряткова // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2016. – № 4 (364). – С. 181–187.
8. Мосаков, Б. С. Основы технологической механики тяжелых бетонов / Б. С. Мосаков, В. Л. Курбатов, В. И. Римшин; под ред. В. И. Римшина. – *Минеральные Воды: Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, Северо-Кавказский фил.*, 2017. – 209 с.
9. Неверов, А. Н. Обследование и аналитическая оценка повреждений жилого кирпичного дома в городе Москве / А. Н. Неверов, В. И. Римшин, В. М. Заруба // *Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей XVII междунар. науч.-техн. конф.* – Пенза, 2017. – С. 58–63.
10. Римшин, В. И. Инженерные методы обследования жилого кирпичного дома в городе Москве / В. И. Римшин, В. М. Заруба, И. В. Компанец // *Университетская наука*. – 2017. – № 1 (3). – С. 10–12.
11. Римшин, В. И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом / В. И. Римшин, С. И. Меркулов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2018. – № 5 (20). – С. 92–100.
12. Римшин, В. И. Принципы инструментального обследования стен многоквартирного дома при организации капитального ремонта / В. И. Римшин, Е. С. Кузина, А. Н. Неверов // *Недвижимость: экономика, управление*. – 2017. – № 2. – С. 37–40.
13. Cherkas, A. Application of composite reinforcement for modernization of buildings and structures / A. Cherkas, V. Rimshin // *MATEC Web of Conferences* / Editors: S. Jemioło, A. Zbiciak, M. Mitew-Czajewska, M. Krzemiński and M. Gajewski. – 2017. – P. 00027.
14. Kuzina, E. Technical Aspects of using composite materials for strengthening constructions / E. Kuzina, A. Cherkas, V. Rimshin // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction – The Formation of Living Environment*. – 2018. – P. 032053.
15. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings / V. L. Rimshin, B. V. Labudin, V. I. Melekhov, A. Orlov, V. L. Kurbatov // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2018. – № 11 (13). – P. 3851–3856.
16. Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone / V. Telichenko, V. Rimshin, V. Eremeev, V. Kurbatov // *MATEC Web of Conferences 27*. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018" – 2018. – P. 02025.
17. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors / V. I. Telichenko, V. I. Rimshin, A. V. Karelskii, B. V. Labudin, V. L. Kurbatov // *Journal of Industrial Pollution Control*. – 2017. – № 1 (33). – P. 1034–1041.
18. Varlamov, A. A. Planning and management of urban environment using the models of degradation theory / A. A. Varlamov, V. I. Rimshin, S. Y. Tverskoi // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 3*. "International Conference on Sustainable Cities" – 2018. – P. 012040.

V.I. Rimshin, I.V. Kompanets, O.I. Grishak

National Research Moscow State University of Civil Engineering

DEGRADATION AND OPERATIONAL DAMAGE OF THE BRICK APARTMENT HOUSE FACADE

The technical processes obtained during the survey of the five-story four-porch apartment building in the city of Moscow are justified and considered. The main defects obtained from the force and environmental loads are presented.

Recommendations on carrying out repair of load-bearing and enclosing structures of an apartment house are offered.

Monitoring, working condition, inspection of building structures of an apartment house, defects.



С.И. Рощина, М.В. Лукин, М.С. Лисятников
Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

РИСКИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ БЕЗ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНО-СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВХОДНОЙ ГРУППЫ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ Г. ВЛАДИМИРА

В статье на примере входной группы административного здания г. Владимира описана насущная проблема широкой практики возведения сооружений без выполнения проектно-сметной документации, что является нарушением законодательства РФ. Оценены риски строительства подобных сооружений для заказчика. Приведены результаты обследования входной группы с систематизацией выявленных дефектов, приводящих к аварийному техническому состоянию. Сделан вывод о нецелесообразности проведения работ по усилению входной группы с выявленными дефектами.

Железобетонные конструкции, обследование, дефекты, деформации, прочность, техническое состояние, усиление, демонтаж.

С целью повышения качества выполнения строительно-монтажных работ исполнительными органами власти РФ разрабатывается ряд обязательных этапов по возведению всех без исключения объектов капитального строительства, начиная с разработки проектно-сметной документации и заканчивая вводом объекта в эксплуатацию. Только четкое следование этим этапам может гарантировать заказчику безопасную эксплуатацию возводимого сооружения в будущем. Однако, к сожалению, на практике с целью снижения затрат на строительство заказчик порой занимается экономией финансовых издержек на различных этапах строительства, в том числе на разработке проектно-сметной документации, которая в конечном итоге является отправной точкой к повышению качества возводимых объектов.

Аспекты затронутого вопроса разберем на примере входной группы административного здания г. Владимира. Объектом обследования являлась монолитная железобетонная входная группа нежилого здания с размерами в осях 11,5×9,4 м и высотой 5,87 м. На момент обследования входная группа использовалась по своему функциональному назначению. Целью обследования являлось определение фактического технического состояния и резервов прочности несущих конструкций в связи с имеющимися дефектами, обнаруженными визуальными сотрудниками, отвечающими за эксплуатацию зданий [1, 2, 4].

Входная группа нежилого здания ориентировочно была построена в 2013–2014 годах. Проектная и иная техническая документация отсутствуют. Общий вид входной группы представлены на рис. 1.

Конструктивная схема входной группы каркасная рамного типа. Принятая конструктивная схема за счет жестких узлов стыка балок и колонн, балок и плиты в продольном и поперечном направлениях должна обеспечивать пространственную жесткость входной группы. При обследовании было выявлено, что не все конструктивные элементы здания устойчивы, в част-

ности балки и плита покрытия имеют недопустимые деформации.



Рис. 1. Общий вид входной группы

Вскрытие шурфов для установления конструкций фундаментов и гидрогеологических условий площадки, на которой размещена входная группа, в рамках данного обследования не проводилось ввиду отсутствия дефектов в конструкциях выше уровня земли, указывающих на отсутствие работоспособного состояния фундаментов и грунтов основания. Фундаменты под колонны входной группы выполнены монолитными железобетонными столбчатого типа. Подколонник выполнен по типу «без стакана» с выпусками из арматурной стали для связи с каркасом колонн. Дефектов, указывающих на повреждение оснований и фундаментов, не обнаружено. Техническое состояние элементов фундаментов оценивается как работоспособное.

Монолитные железобетонные колонны расположены по углам входной группы. Сечение колонн 400×400 мм. Армирование выявлено при помощи зондажа колонны и представляет собой 4 Ø22 АШ, поперечное армирование выполнено стержнями из Ø10 АШ, установленными с шагом 400 мм. По инструментальным замерам прочность колонн составила 15,9...17,6 МПа. Среднее значение прочности по [4] с учетом коэффициента

условий работы, равного 0,85, составило 14,2 МПа, что соответствует классу бетона В15 (11 МПа). При обследовании были выявлены трещины в оголовке колонны (рис. 2) и следы ремонта узлов стыка всех колонн с балками покрытия входной группы.



Рис. 2. Общий вид оголовка колонны. Трещины шириной раскрытия до 7 мм

В соответствии с проведенными поверочными расчетами несущая способность колонн не обеспечена: перегруз 279% – по 1-ой группе предельных состояний; 79% – по 2-ой группе предельных состояний. Колонны входной группы находятся в аварийном состоянии. Требуется их усиление или демонтаж.

Главные балки перекрытия однопролетные на двух опорах с консолью длиной 1,72 м в сторону здания. Сечение балок 730(h)×200 мм. Высота главных железобетонных балок должна составлять 1/10–1/12 пролета. При пролете 9 м высота должна быть 750...900 мм. Сечение балки по конструктивным соображениям недостаточно. Армирование выявлено при помощи зондажа балки и представляет собой пространственный каркас, состоящий из 4 Ø22 АШ, установленных в верхней и средней зонах сечения по 2 шт., и 4 Ø22 АШ, установленных в нижней зоне балки, поперечное армирование выполнено стержнями из Ø10 АШ, установленными с шагом 200 мм. По инструментальным замерам прочность балок составила 15,5...17,1 МПа. Среднее значение прочности по СП 63.13330.2012 с учетом коэффициента условий работы, равного 0,85, составило 13,86 МПа, что соответствует классу бетона В15 (11 МПа). При обследовании были выявлены следующие дефекты и повреждения: характерные трещины по всей длине балок, указывающие на недостаточную прочность нормальных и наклонных сечений; прогиб балок в середине пролета; места разрушения защитного слоя бетона; оголение и коррозия арматуры (рис. 3).

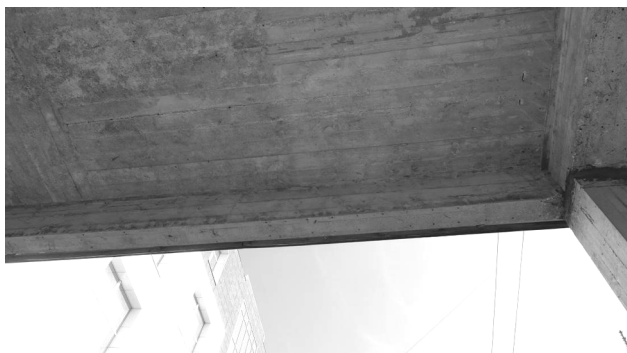


Рис. 3. Фрагменты общего вида главных балок Б-1

Несущая способность главных балок не обеспечена: перегруз 53% – по 1-ой группе предельных состояний; 75 % – по 2-ой группе предельных состояний. Главные балки входной группы находятся в аварийном состоянии. Требуется их усиление или демонтаж.

Второстепенные балки входной группы расположены вдоль буквенных осей. Балка однопролетная на двух опорах. Сечение балок 580(h)×400 мм. Высота второстепенных железобетонных балок должна составлять 1/12–1/15 пролета. При пролете 11,075 м высота балки Б-2 должна быть 740...925 мм. Сечение балки по конструктивным соображениям недостаточно. Армирование выявлено при помощи зондажа балки со стороны плиты покрытия и представляет собой пространственный каркас, состоящий из 4 Ø22 АШ, установленных в верхней и средней зонах сечения по 2 шт., и 4 Ø22 АШ, установленных в нижней зоне балки, поперечное армирование выполнено стержнями из Ø10 АШ, установленными с шагом 200 мм. По инструментальным замерам прочность балок составила 16,0...16,7 МПа. Среднее значение прочности по [4] с учетом коэффициента условий работы, равного 0,85, составило 13,9 МПа, что соответствует классу бетона В15 (11 МПа). При обследовании были выявлены следующие дефекты и повреждения: характерные трещины по всей длине балок, указывающие на недостаточную прочность нормальных и наклонных сечений; прогиб балок в середине пролета (рис. 4).



Рис. 4. Фрагменты общего вида второстепенных балок Б-2

Несущая способность второстепенных балок не обеспечена: перегруз 120% – по 1-ой группе предельных состояний; 77% – по 2-ой группе предельных состояний. Второстепенные балки входной группы находятся в аварийном состоянии. Требуется их усиление или демонтаж.

Плита покрытия входной группы представлена опертой по контуру на балки и консольной в уровне примыкания к стене нежилого здания, с которой не имеет жестких связей. Верхняя грань плиты находится в одном уровне с верхней гранью второстепенной балки и на 150 мм ниже верхней грани главной балки. Толщина плиты составляет 200 мм. Толщина железобетонных плит должна составлять 1/30 пролета. При пролете 11,475 м толщина плиты должна быть 385 мм. Толщина плиты по конструктивным соображениям недостаточна. Армирование выявлено при помощи зондажа и представляет собой сетки в верхней и нижней зоне плиты, выполненные из стержней Ø10 АШ, установленных с шагом 150 мм в продольном и попе-

речном направлении. По инструментальным замерам прочность плиты составила 15,1...16,3 МПа. Среднее значение прочности по СП 63.13330.2012 с учетом коэффициента условий работы, равного 0,85, составило 13,35 МПа, что соответствует классу бетона В15 (11 МПа). На плите покрытия устроена цементно-песчаная стяжка толщиной 30...150 мм по уклону к зданию. При обследовании были выявлены следующие дефекты и повреждения: характерные трещины в углах плиты, указывающие на конвертную схему разрушения; прогиб плиты в середине пролета; трещины и местное разрушение цементно-песчаной стяжки (рис. 5); отсутствие гидроизоляционного ковра; наличие поверхностной воды в виде луж в середине пролета – в зоне максимального прогиба; глубокое замочение плиты, обнаруженное в зондаже.

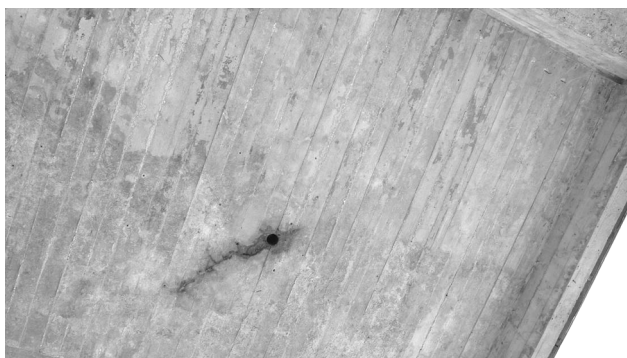


Рис. 5. Фрагменты общего вида плиты покрытия входной группы

Несущая способность плиты не обеспечена: перегруз 118% – по 1-ой группе предельных состояний; 110% – по 2-ой группе предельных состояний. Плита покрытия входной группы находится в аварийном состоянии. Требуется ее усиление или демонтаж.

Хотелось бы отметить, что по совокупности выявленных дефектов техническое состояние входной груп-

пы оценивается как аварийное и непригодное к безопасной дальнейшей эксплуатации. Усиление, с практической точки зрения, экономически не целесообразно, рекомендуется демонтаж данного сооружения.

К такому печальному результату в первую очередь привело полное отсутствие проектно-сметной документации при строительстве данной входной группы, а также выполнение работ строителями, имеющими низкую квалификацию. Стоимость проекта обычно колеблется в пределах 3–5% от общей стоимости возведения объекта, так что незначительная экономия заказчика на этапе планирования строительства, к сожалению, зачастую приводит к вышеописанным последствиям, связанным с дефектами конструкций, приводящим к аварийному техническому состоянию объекта в целом. Практика демонтажа подобных сооружений показывает, что стоимость его сопоставима со стоимостью возведения нового сооружения, так что вопрос экономии средств на проектирование весьма спорен.

Литература

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс]: введ. в действие федер. законом РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ // Техэксперт: инф.-справ. система / Консорциум «Кодекс».
2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Введ. 01.01.2014. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 55 с.
3. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – Введ. 21.08.2003. – Москва: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. – 27 с.
4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: актуализир. ред. СНиП 52-01-2003 (с Изменениями № 1, 2). – Москва: Минрегион России, 2012.

S.I. Roshchina, M.V. Lukin, M.S. Lisyatnikov

Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletovs

RISKS OF CONCRETE CONSTRUCTION WITHOUT PREPARING DESIGN AND ESTIMATE DOCUMENTATION USING THE EXAMPLE OF ENTRANCE SPACE OF THE ADMINISTRATIVE BUILDING IN VLADIMIR

Using the example of the entrance space of the administrative building in Vladimir, the article deals with the acute problem of wide-spread practice of construction without preparing design and estimate documents which is the violation of the Russian legislation. The risks of such constructions for the customers are assessed. The results of the inspection of the entrance space with the systematization of the defects revealed, which lead to the emergency condition, are presented. The conclusion on inexpediency of works on reinforcement of the entrance space with the defects revealed is made.

Concrete construction, inspection, defects, deformation, durability, technical condition, reinforcement, dismantlement.



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В данной работе проведен анализ уже существующих методов по снижению расходов электроэнергии в производственных помещениях и предложены перспективы модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодов и систем автоматического контроля, а также сделан расчет затраты на электроэнергию и окупаемости светодиодных источников света с экономической эффективностью.

Электроэнергия, светодиод, эффективное освещение, фотоэлемент, автоматическое управление.

Любая сфера жизнедеятельности не может нормально функционировать без организации освещения помещений, зданий и прочих сооружений. На первый взгляд может показаться, что электроэнергия, затрачиваемая на освещение, относительно других видов потребителей не является столь существенной, но в абсолютных значениях представляет собой весьма ощутимую величину. Более того, мировые тенденции таковы, что по мере развития производительных сил доля энергии, затрачиваемой на освещение, возрастает [1].

Известно, что естественное освещение в помещениях является наиболее благоприятным для человека как в физиологическом, так и в психологическом плане. Однако производственная деятельность человека не укладывается в рамки светового дня, а используемые источники света не настолько эффективны, чтобы заменить дневное освещение как по спектральному составу, так и по временной изменчивости. Кроме того, постоянный рост тарифов на электроэнергию заставляет искать пути снижения потребляемой энергии. Экономное электропотребление, удовлетворяющее интересы потребителей, может быть осуществлено применением энергосберегающих технологий и современных методов электропотребления. По-видимому, наиболее эффективным будет использование целого комплекса мер по оптимизации и повышению эффективности освещения, а именно – использование систем управления освещенностью, которые подразумевают:

- внедрение современного, более эффективного оборудования, обладающего улучшенными техническими характеристиками;
- разработку режимов работы электрооборудования, которые позволят снизить электропотребление и продлить срок службы осветительных приборов без вреда для потребителя;
- применение компактных программируемых устройств, использующих эффективные временные алгоритмы управления как в ручном, так и в автоматическом режимах работы;

- использование новейших устройств учета электропотребления и контроля технического состояния электрооборудования [1].

На основании всего вышеизложенного можно судить об актуальности исследования в данном направлении [2].

Основной целью данной статьи является анализ уже существующих методов по снижению энергозатрат, выявление их недостатков с намерением дальнейшего усовершенствования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить особенности источников света;
- проанализировать систему управления фотоэлемента;
- рассмотреть схему автоматического управления на производстве.

На наш взгляд наиболее подходящими и нуждающимися объектами в плане модернизации систем освещения на сегодняшний день являются промышленные предприятия, где рабочий процесс может проходить круглосуточно, а доля затрат на промышленное освещение может составлять до 10% от всей потребляемой электроэнергии [2].

Схема основных видов производственного освещения представлена на рис. 1.

Все виды освещения, указанные на рис. 1, активно применяют в производственных зданиях. В помещениях с нехваткой естественного освещения используется освещение совмещенное. В помещениях, где по всей площади проводятся работы одного типа (сварочные, литейные и т.д.), применяют общее освещение. При выполнении зрительных работ высокой точности (фрезерных и т.д.) в местах, где оборудование располагается вертикально, образует резкие тени, в комбинации с общим используется местное освещение. Использование одного лишь местного освещения не допустимо, так как из-за образования резких теней возникает риск получения травмы [2].

На рис. 2 показана схема действия системы плавного регулирования освещения.

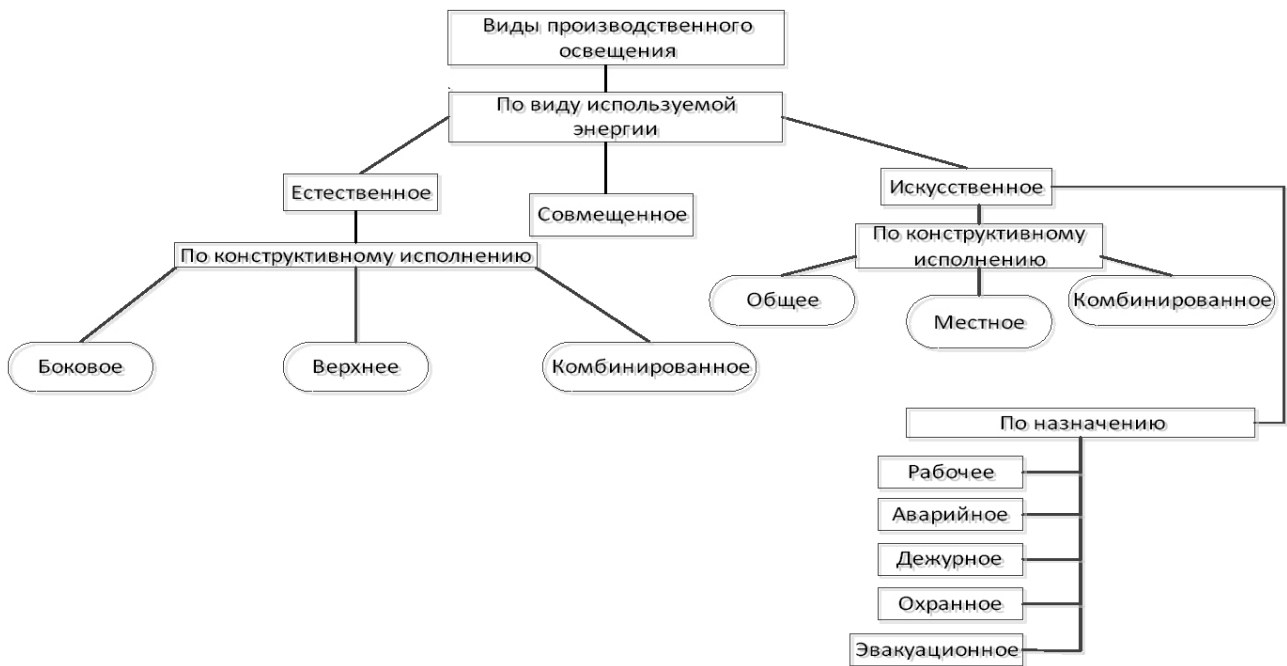


Рис. 1. Схема основных видов производственного освещения

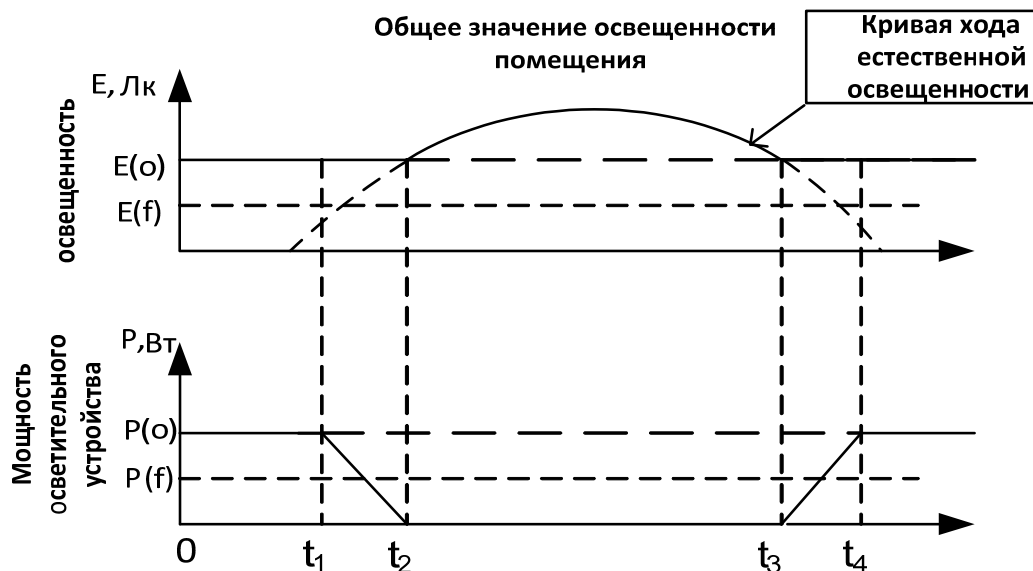


Рис. 2. Схема системы плавного регулирования освещения

Данная схема описывает режим работы системы освещения под управлением фотоэлемента:

$0-t_1$ – недостаток естественного света, уровень освещенности поддерживается в пределах установленной нормы за счет искусственного освещения;

t_1-t_2 – рост значения естественного света, плавное снижение мощности осветительной установки;

t_2-t_3 – нормы освещенности достигаются за счет одного лишь естественного света;

t_3-t_4 – происходит снижение уровня естественной освещенности при увеличении доли искусственного освещения.

На основании рис. 2 была выявлена возможность повышения экономической эффективности за счет регулировки мощности светодиодных источников освещения (диммирования). Этот метод позволяет отстраивать величину искусственного освещения в

зависимости от показателей естественной освещенности. Таким образом, мы имеем возможность увеличить срок службы ламп, уменьшить энергозатраты и поддерживать нормированный уровень освещенности.

Для поддержания заданного уровня искусственной освещенности в помещении подразумевается использование в системах управления фотоэлемента, располагающегося внутри помещения и контролирующего создаваемую осветительной установкой освещенность. Уже только одна эта функция обеспечивает экономию энергии за счет отсечки так называемого «излишка освещенности» [3].

Для достижения поставленной задачи необходимо применение ряда технических устройств, структурная схема которых показана на рис. 3.

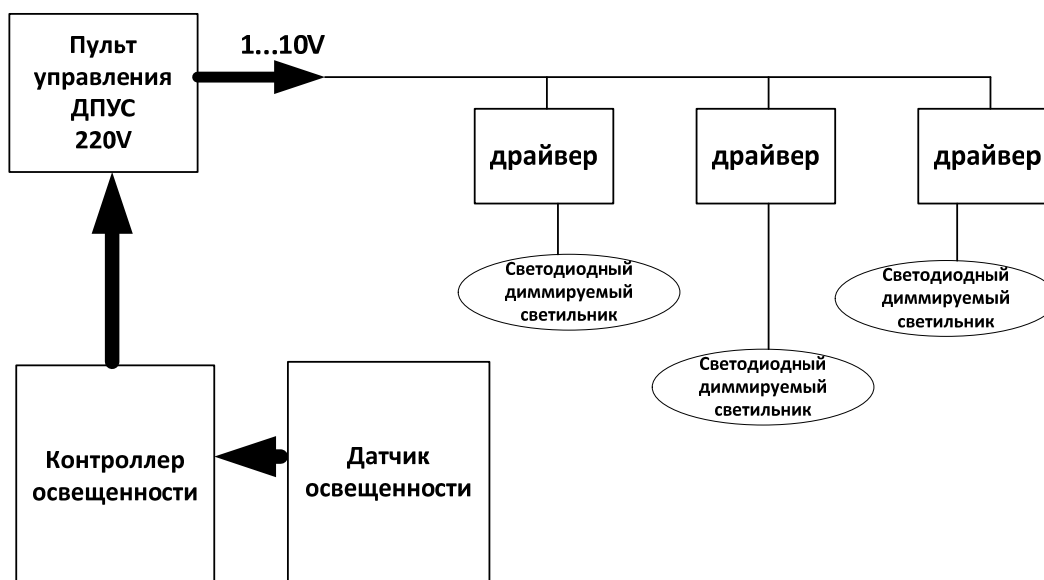


Рис. 3. Структурная схема автоматического управления

Функции схемы автоматического управления следующие:

- плавное изменение освещения в диапазоне от 1 до 100%;
- автоматическое поддержание режима освещённости на весь срок по заданной технологической программе;
- поддержание заданного уровня освещённости независимо от человеческого фактора и запыленности [4].

Выполняемые функции отдельно взятого элемента системы:

1. Драйвер управляемый – необходим для питания, защиты и регулирования светильников. В зависимости от конструкции к одному драйверу могут подключаться один или два светильника. Напряжение питания – 220V, напряжение управления – 1...10V.

2. Пульт управления ДПУС (дистанционный пульт управления светом) – используется для управления освещением в помещении. Позволяет использовать функции ручного и дистанционного управления.

3. Контроллер освещённости – предназначен для автоматического управления освещением в соответствии с технологической программой.

4. Светильник диммируемый – применяется для освещения помещений, имеет возможность изменения яркости [5].

Работа схемы автоматического управления, показанная на рис. 3, осуществляется следующим образом: датчик освещенности получает сведения об уровне освещения в помещении, далее подается сигнал на контроллер, который обрабатывает полученные данные и в зависимости от установленной программы выбирает необходимый режим. Опираясь на характер сигналов, полученных с контроллера, пульт формирует управляющие сигналы, посылаемые на драйвер. На драйвер приходит сразу два значения напряжения: силовой (220V) и управляющий от 1V до 10V. Силовое напряжение изменяется пропорционально значению управляющего напряжения. Световой поток излучаемой лампы прямо пропорционален ее выходному напряжению [5].

В настоящее время для нормирования уровня освещенности производственных помещений пользуются коэффициентом естественной освещенности (КЕО). Его величина зависит от характера выполняемой работы. Чем выше КЕО, тем выше должна быть освещенность. Для более точного расчета необходимого уровня освещенности в помещениях с нестандартными формами и разной высотой потолка целесообразно определить величину светового потока (Φ) для освещения конкретного помещения по следующей формуле:

$$\Phi = E \cdot S \cdot F, \quad [\text{Люмен (Лм)}] \quad (1)$$

где E – стандартно принятая норма освещенности в люксах (лк) согласно СНиП для конкретного помещения, значения которой приведены в таблице 1; S – площадь помещения (м^2); F – коэффициент соответствия, зависящий от высоты потолка помещений (до 2,7 м = 1; от 2,7 до 3 м = 1,2; от 3 до 3,5 = 1,5; от 3,5 до 5,5 = 2).

Таблица 1

Норма освещенности согласно СНиП для различных офисных помещений

№ п/п	Тип помещения офиса	Освещенность в лк
1	Большой площади свободной планировки	400
2	Общего назначения с использованием компьютерной техники	от 200 до 300
3	Для выполнения чертежных и графических работ	от 500 до 600
4	Лаборатории	от 400 до 600
5	Кабинеты	150
6	Конференц-залы, совещательные комнаты	200
7	Коридоры, холлы, фойе	от 50 до 150
8	Лестницы, эскалаторы	от 50 до 100
9	Архив	75
10	Бытовые и складские помещения, курительные	75
11	Раздевалки	75
12	Кладовые	50
13	Туалетные комнаты, душевые	от 75 до 50

Зная необходимую величину светового потока (Φ) можно определить количество необходимых светодиодных источников света. Световой поток каждой лампочки указан в ее технических характеристиках. Например, для освещения кабинета площадью в 20 м² и высотой потолков в 3 м понадобится световой поток (Φ): $150 \cdot 20 \cdot 1.5 = 4500$ Лм. Для данного примера можно выбрать 4 лампочки мощностью в 12 Вт, величина светового потока которых равна 1200 Лм.

Расчёт времени окупаемости новых (светодиодных) и старых (люминесцентных или накаливания) элементов источника света проводится по следующей формуле:

$$t = (C_1 - C_2) / [(P_2 - P_1) \cdot R], \quad (2)$$

где t – время (час) окупаемости (работы); C_1, C_2 – цена (в рублях) новых и старых источников света, соответственно; P_1, P_2 – мощность в эквиваленте (в кВт) новых и старых источников света соответственно, данные приведены в таблице 2; R – тариф за электроэнергию (в рублях за кВт/час).

Как видно из формулы (2), чтобы быстрее самоопустились светодиодные источники света, необходимо следующее:

- высокий тариф электроэнергии;
- бóльшая разница между мощностями старых и новых источников света;
- меньшая разница между ценами старых и новых источников света.

Таблица 2

Таблица эквивалентности мощностей разных световых источников

Лампа накаливания, Вт	Люминесцентная, Вт	Светодиодная, Вт
15	3	1
35	7	3
50	11	5
70	15	7
90	19	9
120	25	12
150	31	15
180	36	18

Теперь проведем расчет затраты на электроэнергию (K , в рублях) источников света по следующей формуле:

$$K = N \cdot t \cdot G \cdot P \cdot T, \quad (3)$$

где N – количество источников света; t – количество работы часов в день; G – количество дней работы;

P – потребляемая мощность одного источника света; T – стоимость электроэнергии за 1 кВт/час.

Используя таблицу 2 и формулу (3), можно рассчитать общие затраты на все виды источников света, в том числе экономию по годам.

1. По отношению к стандартному источнику света – лампе накаливания.

Рассмотрим 100 ламп накаливания по 70 Вт мощности каждая, стоимостью в среднем 10 рублей, всего $100 \cdot 10 = 1000$ рублей. Общая потребляемая мощность электроэнергии всех ламп $100 \cdot 70$ Вт = 7 кВт в час. Допустим, что в среднем они работают по 8 часов в день, значит расход электроэнергии составит 56 кВт в сутки. При стоимости 3,50 рублей за 1 кВт (данные по тарифам на электроэнергию в г. Вологде за 2018 г.), в год затрата на электроэнергию по (3): $K = 71540$ рублей. Менять такие лампы придется 2–3 раза в год (срок службы около 1000 часов при работе 8 часов в сутки).

В качестве светодиодной лампы, способной заменить 70 Вт лампу накаливания (в соответствии с табл. 2), возьмем светодиодную лампу Geniled E27 A60 7W 4200K. Её цена в среднем 130 рублей, гарантия 3 года, срок службы более 40000 часов. Сто таких ламп обойдутся, соответственно, в 13000 рублей. Потребление каждой лампы 7 Вт. Итого при тех же условиях затраты на электроэнергию составят 0,7 кВт в час и 5,6 кВт в сутки. За год это составит (на основе (3): $K = 7154$ рублей. А это практически в 10 раз меньше, чем потребляет стандартная лампа накаливания.

2. По отношению к люминесцентному источнику света.

В качестве люминесцентного источника света, способного заменить 70 Вт лампу накаливания (в соответствии с табл. 2), возьмем энергосберегающую люминесцентную лампу КЭЛР-FS E27 15Вт 4000K. Её цена в среднем 100 рублей, а гарантия 2 года. Сто таких ламп обойдутся, соответственно, в 10000 рублей, и потребление электроэнергии каждой лампы составит 15 Вт. Допустим так же, как и в предыдущих расчетах, что работают они по 8 часов в день, значит расход электроэнергии составит 12 кВт в сутки. За год составит на основе (3): $K = 15330$ рублей. Менять такие лампы при оптимальных условиях придется раз в два года, так как срок службы таких ламп около 6000 часов при работе 8 часов в сутки.

Рассчитанные значения для всех трех источников света приведены в таблице 3.

Таблица 3

Общие затраты по годам на всех трех видах источников света

Период	Лампы накаливания	Люминесцентные лампы	Светодиодные лампы
В первый год	$K + (1+2) \cdot 1000$ (1 раз поставили, 2 раза поменяли) = $71540 + 3000 = 74540$ рублей	$K + 1 \cdot 10000$ (1 раз поставили) = $15330 + 10000 = 25330$ рублей	$K + 1 \cdot 13000$ (1 раз поставили) = $7154 + 13000 = 20154$ рублей
За 2 года	$74540 \cdot 2 = 149080$ рублей	$K + 25330 = 15330 + 25330 = 40660$ рублей	$K + 20154 = 7154 + 20154 = 27308$ рублей
За 3 года	$74540 \cdot 3 = 223620$ рублей	$(3 \cdot K) + (2 \cdot 10000) = 45990 + 20000 = 65990$ рублей	$K + 27308 = 7154 + 27308 = 34462$ рублей
За 5 лет	$74540 \cdot 5 = 372700$ рублей	$(5 \cdot K) + (2 \cdot 10000) = 76650 + 20000 = 96650$ рублей	$2 \cdot K + 34462 = 14308 + 34462 = 48770$ рублей
За 10 лет	$74540 \cdot 10 = 745400$ рублей	$(10 \cdot K) + (5 \cdot 10000) = 153300 + 50000 = 203300$ рублей	$5 \cdot K + 48770 = 35770 + 48770 = 84540$ рублей

Выводы

1. Из таблицы 3 следует, что экономия при использовании светодиодных ламп по сравнению с лампами накаливания растет ежегодно. Например, за 3 года экономия составит 189158 рублей, за 5 лет – 323930 рублей, а за 10 лет – 660860 рублей. А если учесть, что тарифы на электричество растут с каждым годом, очевидно, что экономия будет только расти.

2. При сравнении люминесцентных и светодиодных ламп видно, что за 3 года использования затраты на них практически сравняются, а к 5-ти годам и дальше выгода использования светодиодных ламп с каждым годом также будет расти. Так, к 10 годам использования выгода составит 118760 рублей, т.е. практически в 2 раза.

3. В данной работе расчеты производились без учета замены стартеров, трансформаторов и расходов на специальную утилизацию и хранение сгоревших люминесцентных ламп, а также оплаты работы по их ремонту и замене. Если учитывать эти параметры, то эффективная экономия от использования светодиодных источников света будет колоссальная, так как светодиоды не боятся перепадов напряжения и короткого замыкания, им не нужны дроссели и стартеры.

4. Таким образом, в перспективе модернизация системы освещения в промышленных отраслях с

применением светодиодных источников света и систем автоматического контроля должна улучшить условия труда работников, снизить потребление электроэнергии и, вследствие этого, снизить себестоимость продукции.

Литература

1. Афонасов, А. А. Методы построения средств безопасности в распределенных системах на основе интеллектуальных агентов / А. А. Афонасов // Труды Института проблем управления РАН. – Москва, 2001. – Т. 14. – С. 43–47.

2. Schoolelectrical [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/>.

3. Емельянов, А. Е. Повышение эффективности сетевых систем управления / А. Е. Емельянов // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2010. – № 6. – С. 34–38.

4. Allbest.ru–публикация материала для обучения [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/>.

5. Светодиодные системы освещения ИвелсиСветодиос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivalsy.ru/>.

M.F. Umarov, D.N. Shmakov
Vologda State University

IMPROVING THE EFFICIENCY OF LIGHTING IN INDUSTRIAL PREMISES

This work gives the analysis of existing methods to reduce power consumption in production facilities and the prospects of modernization of lighting systems in industrial sectors with the use of LEDs and automatic control systems, as well as the calculation of energy costs and payback of led light sources with economic efficiency.

Electricity, led, efficient lighting, solar cell, automatic control.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аваев Александр Алексеевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика» Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
iur.osipov2011@yandex.ru

Анисимов Юрий Владиславович

Кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
Anisimov-u@yandex.ru

Анисимова Людмила Владимировна

Кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
anisimovalv@yandex.ru

Бабарушкин Валентин Александрович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
babarushkinva@vogu35.ru

Байзаев Саттор

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Высшая математика и инновационные технологии» Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики (Худжанд, Таджикистан)
baisat54@rambler.ru

Бендерский Борис Яковлевич

Доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые двигатели и установки» Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова (Ижевск, Россия)
bib@istu.ru

Бриш Владилена Николаевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
tms@vogu35.ru

Булавин Вячеслав Федорович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
bulavin35@mail.ru

Гришак Олеся Игоревна

Магистрант кафедры «Городское строительство, коммунальное хозяйство и сервис» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Москва, Россия)
lesya1588@mail.ru

Дугинова Карина Андреевна

Обучающийся по направлению бакалавриата кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kduginova13@gmail.com

Залипаева Ольга Анатольевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство» Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
zalipaeva.2016@mail.ru

Иванова Марина Александровна

Магистрант кафедры «Электрооборудование» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
lady.iwanowa2011@yandex.ru

Коваленко Сергей Николаевич

Доктор технических наук, профессор кафедры «Комплексное использование и охрана природных ресурсов» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kovalenkosn68@gmail.com

Колотов Афанасий Александрович

Магистрант Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова (Ижевск, Россия)
kolotoff.afanasy2015@yandex.ru

Компанец Игорь Викторович

Магистрант кафедры «Городское строительство, коммунальное хозяйство и сервис» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Москва, Россия)
lkkrg@mail.ru

Кузнецов Дмитрий Васильевич

Обучающийся по направлению бакалавриата кафедры «Строительство» Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
kuznetcovdimitri@gmail.com

Кулева Наталья Ивановна

Инженер кафедры «Технология машиностроения» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
natalia_guseva93@rambler.ru

Лисятников Михаил Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)
mlisyatnikov@mail.ru

Лукин Михаил Владимирович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)
lukin_mihail_22@mail.ru

Михалевич Надежда Вениаминовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
nadmix1958@yandex.ru

Мухамадиев Эргашбой

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информатика и информационные технологии» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
emuhamadiev@rambler.ru

Назимов Акбар Багадурович

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математика» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
n.akbar54@mail.ru

Наимов Алижон Набиджанович

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информатика и информационные технологии» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
nan67@rambler.ru

Осипов Юрий Романович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
iur.osipov2011@yandex.ru

Очилова Мухайохон Акбаровна

Старший преподаватель кафедры «Высшая и прикладная математика» Худжандского государственного университета (Худжанд, Таджикистан)
n.akbar54@mail.ru

Павлов Михаил Васильевич

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Плотникова Ольга Серафимовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
olga-plotnikova.vstu@yandex.ru

Поварова Ольга Александровна

Старший преподаватель кафедры «Строительство» Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
boliaa@mail.ru

Попов Игорь Павлович

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Курганского государственного университета (Курган, Россия)
ip.popov@yandex.ru

Римшин Владимир Иванович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Городское строительство, коммунальное хозяйство и сервис» Национально-исследовательского Московского государственного строительного университета (Москва, Россия)
v.rimshin@vniizhbeton.ru

Рощина Светлана Ивановна

Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)
rsi3@mail.ru

Сигов Александр Николаевич

Старший преподаватель кафедры «Менеджмент и системы качества» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Старостин Александр Владимирович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
aspirant1@list.ru

Степанов Александр Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
alex.stepanov@mail.ru

Умаров Максуджон Файзулович

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
umma54@rambler.ru

Федотовский Сергей Борисович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Управляющие и вычислительные системы» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
fsb1960@yandex.ru

Халтурин Михаил Алексеевич

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Пожарная безопасность и технологическое оснащение производств» Кемеровского государственного университета (Кемерово, Россия)
longhair89@mail.ru

Шмаков Дмитрий Николаевич

Магистрант кафедры «Электрооборудование» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
shmakov.mityai@yandex.ru

Яхричев Виктор Васильевич

Ведущий инженер кафедры «Технология машиностроения» Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
yahrichev@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Avaev Alexander Alekseevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
iur.osipov2011@yandex.ru

Anisimov Yuriy Vladislavovich

Candidate of Architecture, Professor of the Department of Architecture and Urban Planning, Vologda State University (Vologda, Russia)
Anisimov-u@yandex.ru

Anisimova Lyudmila Vladimirovna

Candidate of Architecture, Professor of the Department of Architecture and Urban Planning, Vologda State University (Vologda, Russia)
anisimovalv@yandex.ru

Babarushkin Valentin Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)
babarushkinva@vogu35.ru

Bayzaev Sattor

Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Higher Mathematics and Innovative Technologies, Tajik State University of Law, Business and Politics (Khujand, Tajikistan)
baisat54@rambler.ru

Bendersky Boris Yakovlevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Heat Engines and Installations, Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Izhevsk, Russia)
bib@istu.ru

Brish Vladilena Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
tms@vogu35.ru

Bulavin Vyacheslav Fedorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
bulavin35@mail.ru

Grishak Olesya Igorevna

Graduate Student of the Department of Urban Construction, Utilities and Services, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
lesya1588@mail.ru

Duginova Karina Andreevna

Student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Vologda State University (Vologda, Russia)
kduginova13@gmail.com

Zalipaeva Olga Anatolyevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
zalipaeva.2016@mail.ru

Ivanova Marina Aleksandrovna

Master student of the Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)
lady.iwanowa2011@yandex.ru

Kovalenko Sergey Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Integrated Use and Protection of Natural Resources, Vologda State University (Vologda, Russia)
kovalenkosn68@gmail.com

Kolotov Afanasy Alexandrovich

Master student of the Kalashnikov Izhevsk State Technical University. (Izhevsk, Russia)
kolotoff.afanasy2015@yandex.ru

Kompanets Igor Viktorovich

Graduate Student of the Department of Urban Construction, Utilities and Services, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
lkkkr@mail.ru

Kuznetsov Dmitry Vasilyevich

Student of the Department of Construction, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
kuznetcovdimitri@gmail.com

Kuleva Natalia Ivanovna

Engineer of the Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
natalia_guseva93@rambler.ru

Lysyatnikov Mikhail Sergeevich

Candidate of the Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Construction, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir, Russia)
mlisyatnikov@mail.ru

Lukin Mikhail Vladimirovich

Candidate of the Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Constructions, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir, Russia)
lukin_mihail_22@mail.ru

Mikhalevich Nadezhda Veniaminovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Industrial and Civil Construction Department, Vologda State University (Vologda, Russia)
nadmix1958@yandex.ru

Muhamadiev Ergashboy

Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Informatics and Information Technologies, Vologda State University (Vologda, Russia)
emuhamadiev@rambler.ru

Nazimov Akbar Bagadurovich

Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Higher Mathematics, Vologda State University (Vologda, Russia)
n.akbar54@mail.ru

Naimov Alijon Nabidzhanovich

Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Informatics and Information Technologies, Vologda State University (Vologda, Russia)
nan67@rambler.ru

Osipov Yuriy Romanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
iur.osipov2011@yandex.ru

Ochilova Muhayohon Akbarovna

Senior Lecturer of the Department of Higher and Applied Mathematics, Khujand State University (Khujand, Tajikistan)
n.akbar54@mail.ru

Pavlov Mikhail Vasilyevich

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Vologda State University (Vologda, Russia)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Plotnikova Olga Serafimovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Industrial and Civil Construction Department, Vologda State University (Vologda, Russia)
olga-plotnikova.vstu@yandex.ru

Povarova Olga Alexandrovna

Senior Lecturer of the Department of Construction, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
boliaa@mail.ru

Popov Igor Pavlovich

Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering, Metal Cutting Machines and Tools, Kurgan State University (Kurgan, Russia)
ip.popov@yandex.ru

Rimshin Vladimir Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Urban Construction, Utilities and Services, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)
v.rimshin@vniizhbeton.ru

Roshchina Svetlana Ivanovna

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Building Structures, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir, Russia)
rsi3@mail.ru

Sigov Alexander Nikolaevich

Senior Lecturer of the Department Management and Quality Systems, St. Petersburg State Electrotechnical University named after V.I. Ulyanova (Lenina) (St. Petersburg, Russia)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Starostin Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
aspirant1@list.ru

Stepanov Alexander Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
alex.stepanov@mail.ru

Umarov Maksudzhon Fayzuloevich

Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Biomedical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
umma54@rambler.ru

Fedotovskiy Sergey Borisovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Control and Computing Systems, Vologda State University (Vologda, Russia)
fsb1960@yandex.ru

Khalturin Mikhail Alekseevich

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Fire Safety and Technological Equipment for Production, Kemerovo State University (Kemerovo, Russia)
longhair89@mail.ru

Shmakov Dmitry Nikolaevich

Master student of the Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)
shmakov.mityai@yandex.ru

Yakhrichev Viktor Vasilyevich

Leading Engineer of the Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
yahrichev@yandex.ru

Научное издание

ВЕСТНИК ВОЛОГОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия: Технические науки
№ 1 (3) / 2019

Главный редактор А.А. Кочкин

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-75456 от 05.04.2019

Подписано в печать 29.04.2019. Выпуск в свет 17.05.2019. Формат 60 × 84/8
Усл. п. л. 11,75. Тираж 100 экз. Заказ № 126. Бесплатно

160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, ВоГУ
Отпечатано: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Вологодский научный центр Российской академии наук»
(ФГБУН ВолНЦ РАН)

160014, г. Вологда, ул. Горького, 56а
Тел.: 59-78-03, e-mail: common@vscc.ac.ru