

*Журнал Научное обозрение.
Технические науки
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440
ISSN 2500-0799*

*Учредитель, издательство и редакция:
НИЦ «Академия Естествознания»,
почтовый адрес:
105037, г. Москва, а/я 47*

**Founder, publisher and edition:
SPC Academy of Natural History,
post address:
105037, Moscow, p.o. box 47**

*Подписано в печать 25.12.2018
Дата выхода номера 25.01.2019
Формат 60×90 1/8*

*Типография
НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 25.12.2018
Release date 25.01.2019
Format 60×90 8.1**

**Typography
SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov,
5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Байгузова Л.М.
Корректор Галенкина ЕС.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2018/6
© НИЦ «Академия Естествознания»*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)

А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)

Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)

М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)

Н.Е. Старчикова (**N.E. Starchikova**)

Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2018 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ	
<i>Алексеев А.Е., Петухов С.В., Кришьянис М.В.</i>	5
ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДИФРАГИРОВАННОГО СВЕТА ОТ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ В ОТВЕРСТИИ ПЛОСКОГО ЭКРАНА	
<i>Глуценко А.Г., Глуценко Е.П., Фирсова А.А.</i>	11
ОПТИМИЗАЦИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СОСТАВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕВЕРНЫХ ПОСЕЛКОВ	
<i>Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В.</i>	16
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ	
<i>Долгих П.П., Иброгимов Р.И.</i>	22
ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ	
<i>Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.</i>	32
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВТОРСТВА ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ ПОДХОДА N-ГРАММ	
<i>Леонова А.В., Леонова И.В.</i>	37
ОБЗОР МЕТОДОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	
<i>Мутигуллин А.С., Прасолова Е.А.</i>	41
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
<i>Назарова О.Б., Саганенко А.А., Стебелев П.Н.</i>	46
ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ МОДУЛЯ «СТРУКТУРА ВУЗА»	
<i>Никишов Н.Д.</i>	51
БЕРЕГУОКРЕПИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА РЕКЕ ПСОУ	
<i>Сафронова Т.И., Приходько И.А.</i>	56
ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДАМИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ	
<i>Столяров А.В., Червяков С.В., Киселев Д.Н.</i>	61
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ	
<i>Щербаков И.Д., Алексанян Г.К., Кучер А.И., Сулыз А.В., Моряхин Е.А.</i>	66

CONTENTS
Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

CALCULATION AND THEORETICAL STUDIES OF THE CHARACTERISTICS OF A CYLINDRICAL LINEAR INDUCTION MOTOR WITH REGARD TO ELECTROMAGNETIC PROCESSES <i>Alekseev A.E., Petukhov S.V., Krishyanis M.V.</i>	5
THE DEPENDENCE OF THE DISTRIBUTED LIGHT INTENSITY DISTRIBUTION ON THE STRUCTURE OF THE FIELD IN THE HOLE OF THE FLAT SCREEN <i>Glushchenko A.G., Glushchenko E.P., Firsova A.A.</i>	11
THE PV POWER STATIONS INSTALLED CAPACITY OPTIMIZATION IN THE COMPOSITION OF THE NORTHERN VILLAGES DIESEL ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS <i>Dmitrienko V.N., Lukutin B.V.</i>	16
DEVELOPMENT OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF DECENTRALIZED CONSUMERS OF SMALL POWER BASED ON THERMOELECTRIC GENERATORS <i>Dolgikh P.P., Ibrogimov R.I.</i>	22
WAYS OF IMPROVEMENT OF THE ELECTRIC PART OF SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF TURBINE UNITS <i>Ilichev V.Yu., Yurik E.A.</i>	32
DETERMINATION OF THE N-GRAM-BASED TEXT AUTHORSHIP <i>Leonova A.V., Leonova I.V.</i>	37
REVIEW OF METHODOLOGIES OF DEVELOPMENT OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS <i>Mutigullin A.S., Prasolova E.A.</i>	41
SIMULATION OF THE EVOLUTIONARY PROCESS OF AUTOMATION OF RAILWAY TRANSPORT OF INDUSTRIAL ENTERPRISE <i>Nazarova O.B., Saganenko A.A., Stebelev P.N.</i>	46
REQUIREMENTS FOR INFORMATION SECURITY OF THE MODULE «UNIVERSITY STRUCTURE» <i>Nikishov N.D.</i>	51
SHORE PROTECTION ON THE PSOU RIVER <i>Safronova T.I., Prihodko I.A.</i>	56
STUDYING THE RELIABILITY OF MATHEMATICAL MODELING BY METHODS OF INSTRUMENTAL CONTROL <i>Stolyarov A.V., Chervyakov S.V., Kiselev D.N.</i>	61
DEVELOPMENT OF SOFTWARE MODULE OF THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION IN THE COMPOSITION OF THE INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEM OF ELECTROIMPEDANCE TOMOGRAPHY <i>Shcherbakov I.D., Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Sulyz A.V., Moryakhin E.A.</i>	66

УДК 674.053:621.934/936

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Алексеев А.Е., Петухов С.В., Кришьянис М.В.

*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: a.alekseev@narfu.ru, s.petukhov@narfu.ru, m.krishjyanis@narfu.ru*

Деревообрабатывающие станки преимущественно оснащаются рабочими органами с поступательным либо с возвратно-поступательным движением, осуществляемым гидравлическим приводом. Но у подобного типа привода присутствует целый ряд минусов. Исследования показывают, что с целью позиционирования рабочих органов деревообрабатывающих станков лучше использовать замкнутые поршневые электрогидравлические следящие исполнительные механизмы, имеющие на выходном звене достаточные мощность и усилие. Кроме того, это конструктивно надежнее и несколько проще. Подобные устройства имеют назначение быстро и точно позиционировать исполнительный механизм либо предмет обработки в шаговом либо свободном режимах, предоставляя возможность торможения приспособления либо обрабатываемого материала без инерции. Значительный интерес на практике представляет исследование возможности использования линейного электропривода с целью перемещения в обрезных станках пильного суппорта. В данной работе приводятся результаты проведенных исследований динамических режимов цилиндрического линейного асинхронного двигателя, которые были получены на основе Matlab Simulink с применением системы дифференциальных уравнений Парка – Горева. Итоги моделирования цилиндрического линейного асинхронного двигателя под нагрузкой даны в графическом отображении: изменения потокоцеплений при его запуске, график зависимости тягового усилия от времени и скорости от времени, изменения перемещения вторичного элемента. Линейный асинхронный двигатель дает возможность решить насущные вопросы торможения вторичного элемента и его точного расположения, следствием чего будет повышение надежности в работе станка и увеличение показателей качества обработки пиломатериалов.

Ключевые слова: цилиндрический линейный асинхронный двигатель, динамические характеристики

CALCULATION AND THEORETICAL STUDIES OF THE CHARACTERISTICS OF A CYLINDRICAL LINEAR INDUCTION MOTOR WITH REGARD TO ELECTROMAGNETIC PROCESSES

Alekseev A.E., Petukhov S.V., Krishyanis M.V.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northern (Arctic)
Federal University named after M.V. Lomonosov», Arkhangelsk,
e-mail: a.alekseev@narfu.ru, s.petukhov@narfu.ru, m.krishjyanis@narfu.ru*

Most woodworking machines have working bodies with forward or reciprocating motion, which is carried out by means of a hydraulic drive. However, the hydraulic drive has a number of drawbacks. Studies have shown that for the positioning of the working bodies of woodworking machines it is advisable to use closed piston electrohydraulic servo mechanisms that have sufficient force and power at the output link, and are also simpler in design and reliable. Most of these devices must provide accurate and fast positioning of the object of processing or actuator in step or free mode, the possibility of inertial braking of the processed material or device, and others. Of significant practical interest is the study of the possibility of using a linear electric drive to move the saw carriage in edging machines. The paper presents the results of studies of dynamic modes of a cylindrical linear induction motor, obtained on the basis of Matlab Simulink using the Park-Gorev differential equation system. The results of modeling a cylindrical linear asynchronous motor under load are presented in the form of graphs: changes in flux linkages during the process of its start, dependencies of tractive effort on time and speed on time, changes in the movement of the secondary element. Linear asynchronous motor provides solutions to the problems of braking the secondary element and its precise increase in the reliability of the machine and the quality of the processing of sawn timber.

Keywords: cylindrical linear induction motor, dynamic characteristics

В технологическом процессе изготовления пиломатериалов, имеющих стандартные размеры, присутствует достаточно большое количество отдельных операций по местному перемещению исполнительных механизмов либо предметов обработки. Данные операции необходимы в целях функционального обеспечения согласованности работы всего оборудования, а также для оптимальной его загрузки в пределах номинальной пропускной способности. Они обеспечивают сла-

женность и ритмичность функционирования оборудования, задействованного в производственном процессе. Подобные устройства преимущественно призваны обеспечивать быстрое и максимально точное позиционирование исполнительного механизма либо предмета обработки в шаговом или свободном режиме. Кроме того, они должны позволять возможность затормаживать приспособления на оборудовании либо же сам обрабатываемый материал без инерции.

Общеизвестно [1], что деревообрабатывающие станки в большинстве имеют рабочие органы с поступательным либо возвратно-поступательным движением, осуществляемым гидравлическим приводом. Но у такого типа привода имеется целый ряд минусов, отрицательно влияющих на технологический процесс [2]. В результате исследований [3] было выявлено, что для позиционирования рабочих органов деревообрабатывающих станков оптимально использовать поршневые замкнутые электрогидравлические следящие исполнительные механизмы (ЭГСМ), имеющие на выходном звене достаточные мощность и усилие, которые, кроме того, конструктивно проще и имеют более высокую степень надежности.

Исследование возможности использования линейного электропривода с целью перемещения в обрезных станках пильного суппорта [3] сегодня, когда активно развивается деревообрабатывающее и лесопильное оборудование, представляет значительный практический интерес.

Цель исследования: проанализировать реальные возможности применения линейного асинхронного электродвигателя для привода перемещения пильного суппорта обрезного станка Ц2Д-5А с математическим моделированием режимов работы данного двигателя.

Увеличение степени надежности механизма, который осуществляет перемещение пильного суппорта, путем использования линейного привода возможно за счет того, что между механизмами подачи и главного движения исключаются дополнительные промежуточные звенья. Использование линейного электропривода в значительной степени упрощает конструкцию станка, при этом намного увеличивая эффективность обрезки пиломатериалов.

Материалы и методы исследования

Проводя оценку согласованности электромеханических показателей линейного двигателя привода перемещения и характеристик исполнительного механизма в процессе обрезки пиломатериалов, необходимо принимать во внимание и силовые, и технологические параметры передвижения механизма перемещения узла резания. Чтобы выбрать линейный асинхронный двигатель привода перемещения пильного суппорта обрезного станка, мы руководствовались такими факторами: масса суппорта, время его перемещения на необходимую ширину обрезаемой доски, а также локальные условия монтажа. Проанализировав данные факторы, мы предварительно произвели

требуемые инженерные расчеты согласно представленным в [3, 4] методикам.

В электроприводе пильного суппорта линейный двигатель функционирует в таких режимах: разгон с ускорением, заданным оператором, установившееся движение, торможение с определенным ускорением, установившееся движение, торможение с ускорением, заданным оператором, позиционирование со значением усилия, заданным оператором. Когда станок функционирует в циклическом режиме, в этом случае в обязательном порядке имеются участки разгона, где наличествует повышенное скольжение и во вторичном элементе есть потери. По этой причине повышение эксплуатационных показателей линейного электропривода на основе ЦЛАД – это весьма актуальная на сегодня задача. В процессе применения линейных асинхронных двигателей основным препятствием выступает обеспечение допустимых (оптимальных) показателей при запитывании станка от стандартной электросети с промышленной частотой 50 Гц. При правильном применении ЦЛАД максимальная скорость движения не должна быть более 0,2–0,5 м/с, при этом тяговое усилие должно составлять 180–200 Н. При таких условиях толщина зубцов и катушек должна составлять до 3–5 мм. В линейном двигателе синхронная скорость имеет непосредственную зависимость от двух величин: f – частоты тока и τ – величины полюсного деления. Последнее же имеет зависимость от числа пазов на полюс и фазу и ширины зубцового деления. Если изготовить индуктор, имеющий число пазов на полюс и фазу $q = 2$ и выше, на частоте 50 Гц у скорости бегущего магнитного поля ЦЛАД, будет присутствовать достаточно большое значение. В этом случае двигатель по причине ограниченной длины хода функционировать будет с довольно большими значениями скольжения, то есть у него будет весьма низкий КПД, а кроме того, тяжелый тепловой режим. Чтобы при скольжениях $s < 0,3$ обеспечить оптимальный рабочий режим, нужно выполнять ЦЛАД, имеющий полюсное деление $\tau < 20$ мм. Однако помимо технологических издержек уменьшение полюсного деления может значительно ухудшить коэффициент мощности двигателя по причине возрастающего намагничивающего тока. Подобные ЦЛАД для обеспечения оптимальных показателей должны иметь воздушный зазор в пределах 0,15–0,2 мм. Если же данную величину зазора увеличить до приемлемых с технологической точки зрения значений 0,4–0,6 мм, то рост намагничивающего тока может стать при-

чиной довольно сильного снижения тягового усилия, а равно и коэффициента мощности и КПД.

В процессе исследований динамических режимов работы ЛАД используют модели разного типа [4–6], имеющие различия в уровне допущений, а значит, и отличающиеся сложностью вычислений.

При исследовании динамических режимов ЛАД в этой работе применялся метод, который основан на использовании системы дифференциальных уравнений Парка – Горева [7, 8]. Для записи уравнений была взята система координат ОХУ, которая перемещается в пространстве со скоростью бегущего магнитного поля. При проведении расчетов в рамках данного метода используются параметры схемы замещения, которые предварительно были определены в расчетах по инженерным методикам. Данный способ, помимо этого, дает возможность проследить, как взаимосвязаны между собой электромагнитные и электромеханические процессы и параметры двигателя.

Уравнения Парка – Горева, записанные в системе координат ОХУ, имеют следующий вид:

$$\frac{d\Psi_{x1}}{dt} = U_{x1} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R_1 X_r}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R_1 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \Psi_{y1}, \quad (1)$$

$$\frac{d\Psi_{y1}}{dt} = U_{y1} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R_1 X_r}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R_1 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \Psi_{x1}, \quad (2)$$

$$\frac{d\Psi_{x2}}{dt} = -\frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R'_2 X_s}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R'_2 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{y2}, \quad (3)$$

$$\frac{d\Psi_{y2}}{dt} = -\frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R'_2 X_s}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R'_2 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y1} + \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{x2}, \quad (4)$$

$$F = \frac{3 \pi \omega_0}{2 \tau} \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} (\Psi_{x2} \Psi_{y1} - \Psi_{x1} \Psi_{y2}), \quad (5)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F - F_c}{m}, \quad (6)$$

$$\frac{dx}{dt} = v, \quad (7)$$

где U_{x1}, U_{x2} – напряжение индуктора по осям ОХ и ОУ,

τ – полное деление обмотки ЛАД,

$X_s = X_1 + X_m; X_r = X_2 + X_m$ – сопротивления, вводимые в модель,

R_1 – активное сопротивление обмотки индуктора, Ом,

R'_2 – активное приведенное сопротивление вторичного элемента, Ом,

X_1 – индуктивное сопротивление индуктора, Ом,

X_2 – приведенное индуктивное сопротивление вторичного элемента, Ом,

X_m – реактивное сопротивление намагничивания, которое определяется главным магнитным полем, Ом,

v_0 – скорость бегущего электромагнитного поля (синхронная скорость ЛАД);

$\Psi_{x1}, \Psi_{y1}, \Psi_{x2}, \Psi_{y2}$ – потокосцепления по осям ОХ и ОУ, соответственно индуктора и вторичного элемента.

ω_0 – угловая частота питающей сети.

Составляющие токов по осям ОХ и ОУ определяются из потокосцеплений на основании следующих выражений [7, 8]:

$$i_{x1} = \frac{X_r}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x1} - \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x2}, \quad (8)$$

$$i_{y1} = \frac{X_r}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y1} - \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y2}, \quad (9)$$

$$i_{x2} = \frac{X_s}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x2} - \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x1}, \quad (10)$$

$$i_{y1} = \frac{X_s}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y2} - \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{y1}. \quad (11)$$

В дальнейшем выражения, которые были получены для токов, будут братья при проведении оценки характеристик ЛАД с учетом тепловых процессов.

С целью решения системы дифференциальных уравнений мы применяли в работе программный продукт Matlab Simulink. В структурной схеме математической модели использовались такие обозначения:

$$A = \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R_1 X_r}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x1};$$

$$B = \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R_1 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x2};$$

$$C = \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R'_2 X_s}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x2};$$

$$D = \frac{\pi}{\tau} v_0 \frac{R'_2 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \Psi_{x1};$$

$$E = \frac{3 \pi \omega_0}{2 \tau} \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2}.$$

Блоки «Goto» и «From» в представленной модели означают соответственно «вход» и «выход» одного и того же сигнала. Настроечные окна показывают числовые

значения и параметры блоков. После того как будут введены все данные, запускается моделирование, при этом указываются начальное и конечное время, шаг и остальные параметры.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты моделирования ЦЛАД под нагрузкой представлены в виде графиков (рис. 1–4).

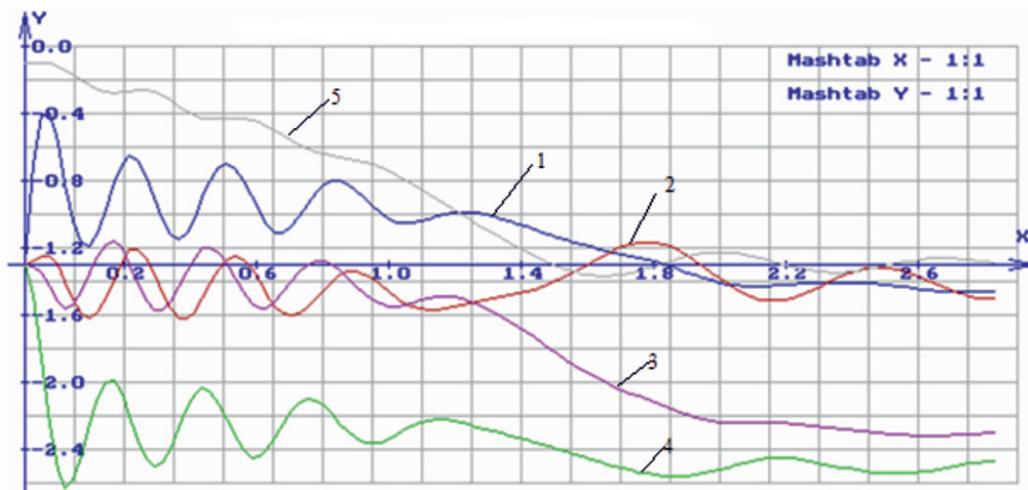


График 1 – $\Psi_{x1} = f(t)$; график 2 – $\Psi_{x2} = f(t)$; график 3 – $\Psi_{y1} = f(t)$; график 4 – $\Psi_{y2} = f(t)$; график 5 – $s = f(t)$

Рис. 1. Изменения потокосцеплений во время процесса пуска ЦЛАД

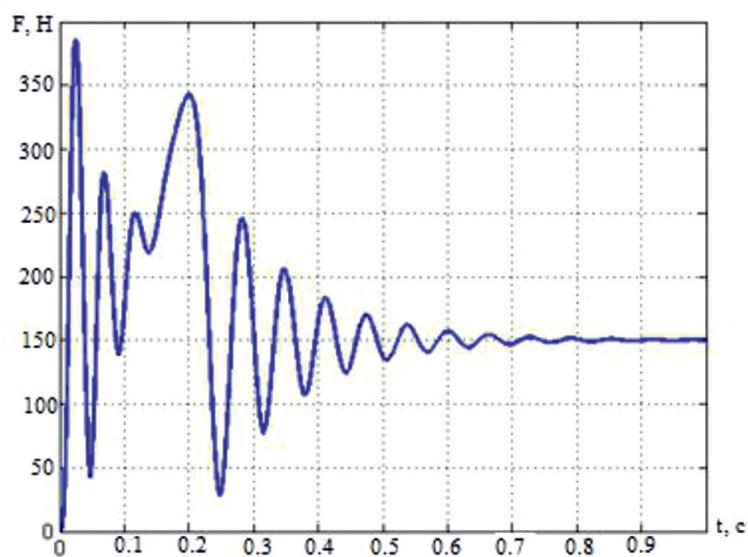


Рис. 2. Зависимость тягового усилия от времени при пуске ЛАД под нагрузкой

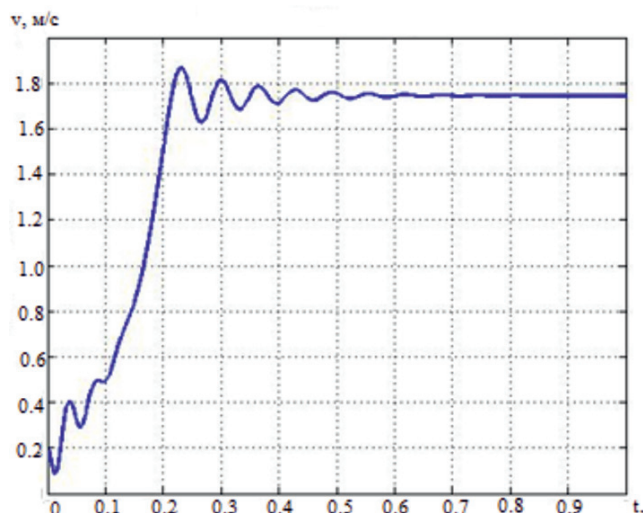


Рис. 3. Зависимость скорости от времени при пуске ЛАД под нагрузкой

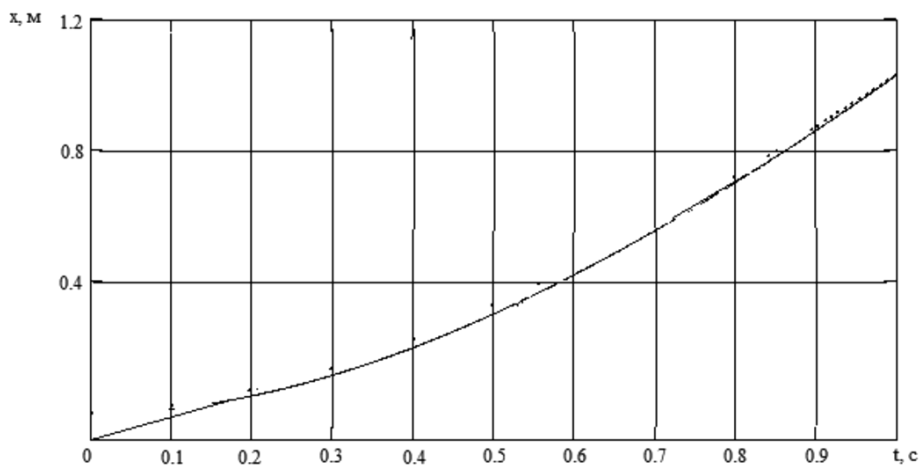


Рис. 4. Изменение перемещения вторичного элемента

Выше уже было оговорено, что исследуемый линейный двигатель будет функционировать с повышенными значениями скольжения, то есть иметь тяжелый тепловой режим. Самой подверженной тепловым нагрузкам частью будет изоляция обмоток индуктора. Высокие температурные показатели являются причиной теплового старения изоляции обмоток, это ведет к уменьшению механической и электрической прочности. В процессе работы линейного асинхронного двигателя нагревается как индуктор, так и вторичный элемент. Серьезный нагрев вторичного элемента может стать причиной снижения тягового усиления и впоследствии может вызвать де-

формации в результате повышения температуры, по этой причине для него мы тоже рассмотрели тепловое состояние [9, 10].

Выводы

1. По итогам проведенных исследований мы рассмотрели и доказали имеющуюся возможность использования цилиндрических линейных асинхронных двигателей для привода пильного суппорта обрезающего станка, что позволяет увеличить скорость перемещения и улучшить возможность регулировать скорость движения исполнительного механизма.

2. Отсутствие кинематических связей между статором и вторичным элементом,

а равно и промежуточным рабочим органом, в значительной степени минимизируют механические потери.

3. Применение линейного асинхронного двигателя позволяет положительно решать вопросы, связанные с торможением вторичного элемента и его точным повышением надежности работы станка и качества обработки пиломатериалов.

Список литературы

1. Амалицкий В.В., Амалицкий В.В. Деревообрабатывающие станки и инструменты. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 400 с.

2. Бавельский М.Д., Девятов С.И. Гидропневмоавтоматика деревообрабатывающего оборудования. М.: Лесная промышленность, 1978. 320 с.

3. Алексеев А.Е., Емельянов В.П., Маркин Н.И., Петухов С.В. Линейный электропривод производственных механизмов и машин: монография. Архангельск: АГТУ, 2009. 230 с.

4. Кураев Н.М. Исследование и разработка электроприводов с цилиндрическим линейным асинхронным двигате-

лем: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / [Место защиты: Нац. исслед. ун-т МЭИ]. Москва, 2013. 146 с.

5. Сарапулов Ф.Н., Фризен В.Э., Швыдкий Е.Л., Смольянов И.А. Математическое моделирование линейного асинхронного двигателя на основе детализированных схем замещения // Электротехника. 2018. № 4. С. 58–63.

6. Масандилов Л.Б., Кузиков С.В., Кураев Н.М. Расчет параметров схем замещения и характеристик цилиндрических линейных асинхронных и МГД-двигателей // Электропривод и системы управления // Труды МЭИ. Вып. 688. М.: Издательство МЭИ, 2012. С. 4–16.

7. Аипов Р.С. Основы построения и теории линейных асинхронных приводов с упругими накопителями энергии: учебное пособие. Уфа: БГАУ, 2006. 295 с.

8. Аипов Р.С. Линейные электрические машины и приводы на их основе: учебное пособие. Уфа: БГАУ, 2003. 202 с.

9. Alekseev A.E., Krisjanis M.V. Evaluation of the thermal state of a linear induction motor operating as a positioner in the edging machine. 2017, USA, Detroit: Scientific public organization «Professional science», 2017. 336 p. ISBN 978-1-370-29463-3.

10. Alekseev A.E., Krisjanis M.V. Evaluation of the thermal state of a linear induction motor operating as a positioner in the edging machine / International Conference on Recent Advances in Engineering, Technology and Applied Sciences, November 23th Madrid, Spain, 2017. P. 17–25.

УДК 621.37

ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДИФРАГИРОВАННОГО СВЕТА ОТ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ В ОТВЕРСТИИ ПЛОСКОГО ЭКРАНА

Глущенко А.Г., Глущенко Е.П., Фирсова А.А.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, e-mail: gag646@yandex.ru

Рассматривается дифракция электромагнитных волн на одиночной щели в плоском тонком экране. Показано влияние неоднородности распределения интенсивности падающего излучения в плоскости щели на дифракционную картину. Исследованы два типа неоднородности и получены аналитические решения для расчета распределения интенсивности дифрагированного поля для квадратичной функции и гармонической функции. Полученные соотношения в предельном случае однородного поля в плоскости щели соответствуют известным результатам теории дифракции. Показана зависимость дифракционной картины от характера и степени неоднородности излучения в плоскости отверстия в экране. Для случая неоднородности поля, описываемой квадратичной функцией распределения неоднородности поля по плоскости щели неоднородность не влияет на положение дифракционных минимумов и проявляется в изменении уровня дифракционных максимумов. Рассмотрена зависимость дифракционной картины от величины неоднородности. Неоднородность, описываемая гармонической функцией, при малой степени неоднородности проявляется в величине дифракционных максимумов. При высокой степени неоднородности приводит к качественному искажению дифракционной картины, формированию максимумов высокого порядка с интенсивностью максимумов большей, чем у интенсивности максимумов малого порядка. Установлена область применимости модели однородного распределения поля по поперечному сечению падающего на экран излучения.

Ключевые слова: дифракция, электромагнитные волны, неоднородность поля, экран, щель, дифракционные максимумы, смещение дифракционной картины

THE DEPENDENCE OF THE DISTRIBUTED LIGHT INTENSITY DISTRIBUTION ON THE STRUCTURE OF THE FIELD IN THE HOLE OF THE FLAT SCREEN

Glushchenko A.G., Glushchenko E.P., Firsova A.A.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: gag646@yandex.ru

The diffraction of electromagnetic waves on a single slit in a flat thin screen is considered. The effect of the inhomogeneity of the incident radiation intensity distribution in the slit plane on the diffraction pattern is considered. Two types of inhomogeneity are considered and analytical solutions for the calculation of the diffracted field intensity distribution for the quadratic function and the harmonic function are obtained. The obtained relations in the limiting case of a homogeneous field in the slit plane correspond to the known results of the diffraction theory. The dependence of the diffraction pattern on the nature and degree of inhomogeneity of radiation in the plane of the hole in the screen is shown. For the case of the field inhomogeneity described by the quadratic distribution function of the field inhomogeneity in the slit plane, the inhomogeneity does not affect the position of the diffraction minima and is manifested in the change in the level of the diffraction maxima. The dependence of the diffraction pattern on the inhomogeneity is considered. The inhomogeneity described by the harmonic function, with a small degree of inhomogeneity, is manifested in the value of the diffraction maxima. At a high degree of inhomogeneity leads to a qualitative distortion of the diffraction pattern, the formation of high-order maxima with a maximum intensity greater than that of low-order maxima. The area of applicability of the model of uniform field distribution over the cross-section of the radiation incident on the screen is established.

Keywords: diffraction, electromagnetic waves, field heterogeneity, screen, slit, diffraction maxima, the diffraction pattern shift

Явление дифракции волн проявляется в перераспределении энергии излучения в различных точках пространства при взаимодействии волн с экранами, огибании волнами препятствий, проникновении волн в экранированные участки пространства, в область «геометрической тени» и широко используется в различных областях волноводной техники [1–3]. Дифракция волн на различных структурах, достаточно подробно рассмотренная и описанная в литературе [4–6], посвящается преимущественно исследованиям влияния конфигураций экранов на дифракционную картину, мето-

дам расчета, вопросам точности расчета. Одной из ключевых является модель дифракции на щели, для которой рассчитывается интенсивность распределения света в зависимости от угла дифракции ($0 \leq \varphi \leq \pi/2$) и длины волны для плоских волн падающих перпендикулярно или под углом к плоскости щели [3].

Целью настоящей работы являлось теоретическое исследование зависимости поля дифракции от поперечной структуры поля падающего излучения. На основании анализа решений волновых уравнений получены аналитические соотношения для

расчета дифракционной картины и проводится анализ влияния распределения поля падающего излучения в плоскости щели на дифракционную картину. Установлена зависимость интенсивности излучения от степени неоднородности излучения в плоскости щели в экране. Показано, что для неоднородности поля, описываемой квадратичной функцией, неоднородность структуры поля не влияет на положение дифракционных минимумов, а проявляется в изменении уровня дифракционных максимумов. Неоднородность, описываемая гармонической функцией, при высокой неоднородности приводит к сильному искажению дифракционной картины, формированию максимумов высокого порядка с интенсивностью большей, чем у максимумов нулевого порядка.

Рассмотрим дифракцию Фраунгофера на щели в плоском тонком экране (рис. 1). Разобьем открытую часть волновой поверхности ($y = 0$, $0 < x < a$) на параллельные краям щели элементарные зоны излучения ширины dx . Волны, посылаемые вторичными источниками зонами в направлении угла φ , соберутся в точке экрана P (рис. 1). Каждый вторичный источник в области щели dx создаст в точке P колебание dE_φ . Его амплитуда пропорциональна ширине dx элементарной зоны. Используя принцип Гюйгенса, имеем результирующую амплитуду колебаний, создаваемых вторичными волнами по всей ширине щели a в экране, в виде

$$\begin{aligned} E_\varphi &= \int dE_\varphi = \int_0^a E(x) \exp[i(\omega t - \Delta\Phi(x))] dx = \\ &= \int_0^a E(x) \exp[i(\omega t - k\Delta)] dx = \\ &= \int_0^a E(x) \exp\left[i\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \varphi\right) dx\right], \end{aligned}$$

где $\Delta\Phi(x) = k\Delta = kx \sin \varphi$ – отставание по фазе колебаний, создаваемых зоной с координатой x от колебаний, создаваемых зоной с координатой $x = 0$, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны.

При $E(x) = E_0$, вводя параметр $u = (\pi/\lambda) a \sin \varphi$, получаем для напряженно-

сти электрического поля известный результат, соответствующий работе [3]:

$$E_\varphi = E_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right) \cos(\omega t - u).$$

Тогда интенсивность поля равна

$$I_\varphi = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2.$$

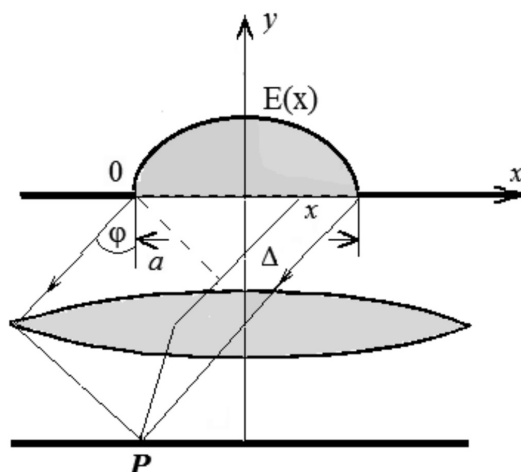


Рис. 1. Дифракция неоднородного по ширине щели поля

Рассмотрим влияние неоднородности по ширине щели поля падающего излучения на дифракционную картину. При этом рассмотрим интересные для практики случаи, когда интенсивность падающих волн максимальна в центре щели и спадает при приближении к краям щели.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Рассмотрим случай, когда распределение напряженности поля описывается функцией

$$E(x) = E_0 (1 - \alpha x^2),$$

где α – параметр неоднородности поля. В этом случае может быть получено аналитическое решение для функции распределения поля дифракции в виде соотношения

$$E_\varphi = \int_0^a E_0 (1 - \alpha x^2) e^{i(\omega t - kx \sin \varphi)} dx = E_0 \left\{ \int_0^a e^{i(\omega t - kx \sin \varphi)} dx - \int_0^a \alpha x^2 e^{i(\omega t - kx \sin \varphi)} dx \right\},$$

$$E_{\varphi} = 2E_0 e^{i\omega t} \left[\frac{\sin(ka \sin \varphi)}{ka \sin \varphi} \left(1 + \alpha a^2 - \frac{2\alpha}{(k \sin \varphi)^2} \right) + \frac{2\alpha}{(k \sin \varphi)^2} \cos(ka \sin \varphi) \right]$$

или, вводя для удобства анализа параметр $u = ka \sin \varphi$, имеем

$$E_{\varphi} = 2E_0 e^{i\omega t} \left[\frac{\sin(u)}{u} \left(1 + \alpha a^2 - \frac{2\alpha a^2}{u^2} \right) + \frac{2\alpha a^2}{u^2} \cos(u) \right].$$

Коэффициент передачи волны через экран с отверстием в виде одиночной щели имеет следующий вид:

$$K_{\varphi} = \left(\frac{E_{\varphi}}{E_0} \right)^2 = 4e^{i2\omega t} \left[\frac{\sin(u)}{u} \left(1 + \alpha a^2 - \frac{2\alpha a^2}{u^2} \right) + \frac{2\alpha a^2}{u^2} \cos(u) \right]^2.$$

На рис. 2 показан график зависимости распределения интенсивности излучения в зависимости от параметра u , определяемого углом дифракции и нормированной на длину волны шириной щели в экране для различных коэффициентов α , характеризующих степень неоднородности поля в области щели. Из графика следует, что неоднородность поля падающей волны в области щели проявляется для данного типа неоднородности преимущественно в изменении максимумов интенсивности. Углы дифракционных минимумов от степени неоднородности поля не зависят.

2. Для другого типа неоднородности поля, описываемой функцией

$$A(x) = A_0 \cos bx$$

(b – параметр, характеризующий степень неоднородности поля), поле дифракции принимает вид

$$\begin{aligned} A_{\varphi} &= \int_0^a A_0 \cos bxe^{i(\omega t - kx \sin \varphi)} dx = A_0 e^{i\omega t} \int_0^a \cos bxe^{-ikx \sin \varphi} dx = \\ &= A_0 e^{i\omega t} \frac{1}{-k^2 \sin^2 \varphi + b^2} \left[-k \sin \varphi \cdot \sin(ka \sin \varphi) \cos ba + b \sin ba \cdot \cos(ka \sin \varphi) \right]. \end{aligned}$$

Или, вводя для удобства анализа обобщенный параметр $d = ab$, где a – ширина щели, имеем соотношение

$$A_{\varphi} = \frac{A_0 e^{i\omega t} a}{-u^2 + d^2} \left[-u \cdot \sin(u) \cos d + d \sin d \cdot \cos(u) \right].$$

В частности, при $b = 0$ (равномерное в области щели распределение интенсивности падающей волны, распределение поля падающей волны в плоскости щели однородное, рис. 3, кривая 1) имеем известный [3] результат:

$$A_{\varphi} = A_0 e^{i\omega t} \frac{e^{ca} - e^{-ca}}{c} = A_0 e^{i\omega t} \frac{e^{-ika \sin \varphi} - e^{ika \sin \varphi}}{ika \sin \varphi} = -2A_0 e^{i\omega t} \frac{\sin(ka \sin \varphi)}{ka \sin \varphi}.$$

Распределение интенсивности поля дифракции для частного случая равномерного распределения поля по поперечному сечению падающего излучения ($b = 0$) представлено на рис. 4 (кривая 1).

На рис. 3 для сравнения показаны четыре случая распределения поля падающего излучения в области щели при различных параметрах неоднородности, характеризующей обобщенным параметром d . На рис. 4 показано (соответствующее случаям рас-

пределения поля в области щели на рис. 3) распределение интенсивности поля в области дифракции в зависимости от параметра $u = ka \sin \varphi$, пропорционального углу дифракции.

На рис. 4 однородному в плоскости щели полю соответствует кривая 1. Различным параметрам неоднородного поля $d > 0$ соответствуют кривые 2, 3, 4. Анализ показывает, что при $d < 2$ (относительно малой неоднородности распределения поля) рас-

пределение интенсивности поля дифракции по параметру u , пропорциональному углу дифракции, качественно не меняется. При этом интенсивности в области максимумов уменьшаются, положение максимумов и минимумов первого и высших порядков сдвигается в сторону увеличения u (расстояние между максимумами высших порядков увеличивается). При увеличении неоднородности поля до уровня интенсив-

ность максимума нулевого порядка падает до нуля, при этом, однако, формируются два новых максимума, интенсивность которых растет с ростом параметра d . Расстояние между максимумами растет с ростом параметра d . В диапазоне $2 < d < 2,5$ центральный максимум переходит в локальный минимум, уровень интенсивности которого падает до нуля при росте неоднородности до $d = 3$.

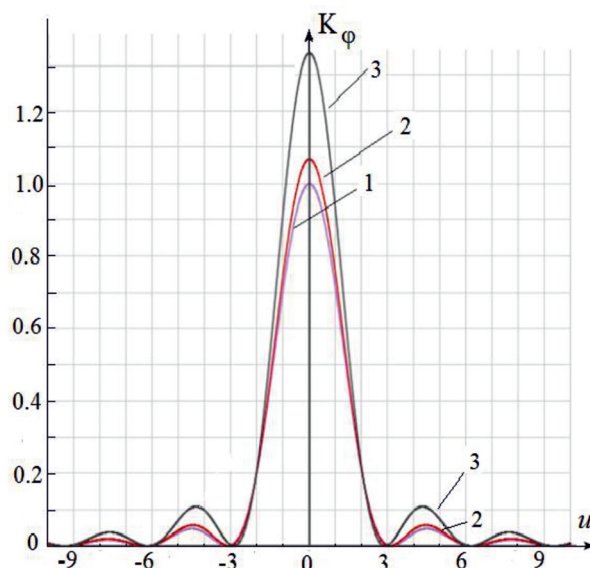


Рис. 2. Зависимость коэффициента передачи от параметра $u = ka \sin \varphi$:
 $1 - aa^2 = 0$ – однородное поле, $2 - aa^2 = 0,1$, $3 - aa^2 = 0,5$

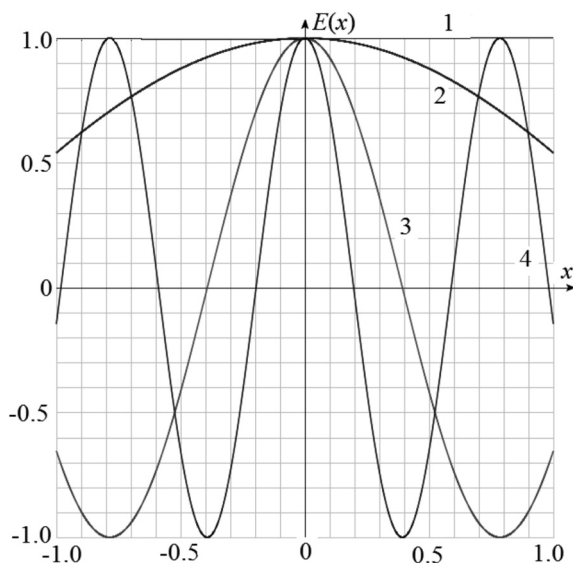


Рис. 3. Распределение поля в плоскости щели при различных параметрах неоднородности:
 $1 - d = 0$ (однородное поле в области щели), $2 - d = 1$ (малая неоднородность), $3 - d = 4$, $4 - d = 8$

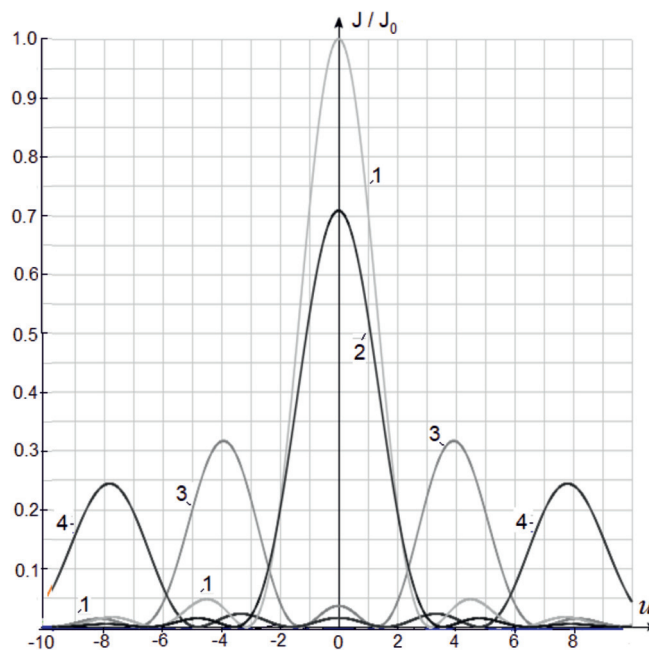


Рис. 4. Распределение интенсивности поля в области дифракции при различных соответствующих рис. 3 параметрах неоднородности поля в плоскости щели: кривая 1 – $d = 0$, 2 – $d = 1$, 3 – $d = 4$, 4 – $d = 8$

Из графиков видно, что неравномерность поля в плоскости щели приводит к дополнительному перераспределению интенсивности: интенсивность максимумов растет и смещается в центр дифракционной картины. Это связано с изменением условия минимума по Френелю из-за неравномерности поля в области отверстия. Аналогичная картина наблюдается при других типах распределения интенсивности света в области отверстия. Таким образом, неравномерность поля в области отверстий в экранах может существенно влиять на дифракционную картину.

Заключение

Дифракция волн на экранах приводит к перераспределению энергии волн в пространстве, которое зависит от частоты (длины волны) и степени неоднородности поля в плоскости щели в экране и приводит [3] к частотному искажению сигналов, что необходимо учитывать при создании элементов систем связи. Поэтому ранее полученные результаты различных исследований, не учитывающие поперечной структуры падающего излучения, могут иметь

существенную погрешность. Представляет интерес рассмотреть другие источники искажения дифракционной картины, в частности, движение сред, заполняющих структуру [7].

Список литературы

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
2. Дифракционная нанофотоника / Под ред. В.А. Соифера. М.: Физматлит, 2011. 680 с.
3. Савельев И.В. Курс физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. СПб.: Лань, 2008. 480 с.
4. Emmanuel I. Ugwu, Stephen D. Songden, Y.Y. Jabil. Attenuation of Electromagnetic Wave Propagating Through Roofing Sheet: Aluminum, Zinc and Asbestos. American Journal of Electromagnetics and Applications. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 7–13. DOI: 10.11648/j.ajea.20170501.12.
5. Налимов А.Г., Котляр В.В. Острая фокусировка света планарной градиентной микролинзой // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 2. С. 135–140. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-135-140.
6. Головастикова Н.В., Быков Д.А., Досколович Л.Л., Соифер В.А. Дифракционные решетки для дифференцирования оптических импульсов в пропускании и отражении // Компьютерная оптика. 2013. № 37 (2). С. 138–145.
7. Глущенко А.Г., Глущенко Е.П. Влияние движения среды на интерференционную картину, формируемую двумя когерентными источниками // Научный вестник. 2015. № 3 (5). С. 108–112. DOI: 10.17117/nv.2015.03.108.

УДК 620.97

ОПТИМИЗАЦИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СОСТАВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕВЕРНЫХ ПОСЕЛКОВ

Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,
e-mail: vnd2@tpu.ru, lukutin48@mail.ru*

Рассмотрена методика оптимизации установленных мощностей гибридного энергетического комплекса, состоящего из фотоэлектрической и дизельной частей. Представленная оптимизация основана на базе сопряжения программного комплекса MS Excel и специализированного программного продукта для проектирования фотоэлектрических систем PVsyst. При этом основными целевыми функциями определяющими технико-экономическую целесообразность применения той или иной мощности обозначены – коэффициент использования установленной мощности станции (КИУМ) и себестоимость производства кВт*ч электрической энергии гибридным энергетическим комплексом. Представлены выражения, на основании которых осуществляется расчет целевых функций, а также алгоритм оптимизации установленной мощности фотоэлектрической станции, функционирующей параллельно с сетью образованной ДЭС. Приведен конкретный пример оптимизации на основании реально существующего гибридного энергетического комплекса с непрерывной дизельной генерацией в п. Батагай, республика Саха (Якутия). Отражены графики изменения вырабатываемой мощности составными частями гибридного энергетического комплекса. Представлены графические зависимости изменения КИУМ и себестоимости производимой электрической энергии от установленной мощности фотоэлектрической части гибридного комплекса. На основе полученных данных составлены основополагающие выводы о предпочтительном схемном строении подобных комплексов в северных поселках Якутии и особенностях ее применения.

Ключевые слова: электроснабжение, дизельная электростанция (ДЭС), фотоэлектрическая станция (ФЭС), оптимизация, КИУМ, себестоимость

THE PV POWER STATIONS INSTALLED CAPACITY OPTIMIZATION IN THE COMPOSITION OF THE NORTHERN VILLAGES DIESEL ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS

Dmitrienko V.N., Lukutin B.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: vnd2@tpu.ru, lukutin48@mail.ru

The capacities installed optimization technique of a hybrid power station consisting of a photovoltaic and diesel part is considered. The presented optimization is based on the MS Excel software package and a specialized software product for designing PVsyst PV systems coupling. At the same time, the main objective functions defining the technical and economic feasibility of using a particular power are designated, such as installation power coefficient and electric energy cost price produced by a hybrid power complex. Represented expressions on the basis of which the calculation is carried out objective functions, and also algorithm for optimizing photovoltaic power plant installed capacity functioning in parallel with the network formed by diesel station. Shown a concrete optimization example based on a existing hybrid power complex with continuous diesel generation in the village Batagay, Republic of Sakha (Yakutia). The generated power change graphs by the components of the hybrid power complex are reflected. Represent change graphic dependence CUIP and electric energy cost of hybrid complex photovoltaic part installed capacity. On the basis of the obtained data, the basic conclusions about the preferred such complexes circuit structure in the Yakutia northern settlements and the features of its application have been compiled.

Keywords: electrical supply, diesel power station, photovoltaic power station (PV plant), optimization, cost price

В связи с постоянным ростом цен на углеводородные энергоносители встает вопрос сокращения потребления дизельного топлива удаленными от централизованной энергосистемы энергоисточниками, электроснабжающими автономные поселки, путем замещения части установленных мощностей фотоэлектрической генерацией [1].

Цель исследования: разработка инструмента оптимизации установленных мощностей фотоэлектрической и дизельной частей гибридной электрической станции с непрерывной дизельной генерацией (параллельная работа ФЭС и ДЭС). Оптимизация с его помощью, в режиме человеко-машинного

взаимодействия оптимального соотношения составных частей гибридной электрической станции, на основании значений целевых функций, определяющих наилучшие технико-экономические показатели станции: коэффициент использования установленной мощности и себестоимости производимой энергии. Данные критерии являются наиболее значимыми при построении объектов генерации автономных локаций.

Методы исследования. Оптимизационные расчеты установленных мощностей основаны на сопряжении программного пакета для расчета фотоэлектрических систем PVsyst и программной среды Excel. Значе-

ния энергии солнечного излучения при расчетах принимаются на основании компьютерных баз метеоданных Meteopgm.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенной работы предлагается алгоритм действий для оптимизации установленных мощностей составных частей гибридной электрической станции с непрерывной дизельной генерацией. Результаты оптимизации на примере реально существующего объекта в п. Батагай.

Одной из важнейших задач проектирования фотодизельных систем электроснабжения является определение оптимальных соотношений установленных мощностей составных частей (дизельной и фотоэлектрической) гибридной электростанции с учётом схемного решения их построения [2].

Основными целевыми функциями, на основании которых производится оптимизация, являются: коэффициент использования установленной мощности энергетического оборудования (КИУМ) и себестоимость 1 кВт*ч электроэнергии.

КИУМ определяется как отношение фактической выработки энергии к теоретической, по выражению

$$\text{КИУМ} = \frac{W}{P_{\text{уст}} \cdot T}, \quad (1)$$

где W – объем энергии, произведенный составной частью гибридного комплекса ($W_{\text{ФЭС}}$ либо $W_{\text{ДЭС}}$), за отчетный период времени, кВт*ч;

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность составной части гибридного комплекса, кВт;

T – отчетный период времени, ч.

Себестоимость электрической энергии определяется по формуле

$$C_{\text{общ}} = \frac{P_{\text{НДЭС}} \cdot K_{\text{ДЭС}} + C_{\text{ДЭС}} + P_{\text{НФЭС}} \cdot K_{\text{ФЭС}}}{W}, \quad (2)$$

где $K_{\text{ДЭС}}$, $K_{\text{ФЭС}}$ – капиталовложения на строительство гибридного комплекса состоящего из дизельной и фотоэлектрической станций.

Выражение для общих капиталовложений на строительство гибридной солнечно-дизельной системы имеет следующий вид:

$$K = K_{\text{УСТ}} + K_{\text{ПР}} + K_{\text{СТР}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{УСТ}}$ – стоимость комплектного оборудования (руб.);

$K_{\text{ПР}}$ – стоимость проектных работ (руб.);

$K_{\text{СТР}}$ – стоимость строительных, монтажных и наладочных работ по установке электростанции (руб.).

Цена фотоэлектрической части гибридной станции складывается из цен на

фотоэлектрические модули, силовое оборудование (инвертор, трансформатор, коммутационные коробки), кабельную продукцию и опорные конструкции. Стоимость комплектного оборудования дизельной части определяется ценой дизельных генераторов.

$C_{\text{ДЭС}}$ – эксплуатационные затраты на обслуживание дизельной станции определяются по выражению

$$C_{\text{ДЭС}} = C_{\text{ЭКС}} + C_{\text{РЕМ}} + C_{\text{ТОП}} + C_{\text{ДТОП}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{ЭКС}}$ – годовые расходы на эксплуатацию системы электроснабжения (руб.);

$C_{\text{РЕМ}}$ – годовые расходы на плановый ремонт (руб.);

$C_{\text{ТОП}}$ – годовые расходы на топливо (руб.);

$C_{\text{ДТОП}}$ – годовые расходы на доставку топлива (руб.).

$P_{\text{НДЭС}}$, $P_{\text{НФЭС}}$ – коэффициенты рентабельности дизельной и фотоэлектрической электростанций соответственно.

Эксплуатационные расходы на обслуживание фотоэлектрической части гибридного энергетического комплекса не учитываются в силу их относительно малой величины.

Продолжительность жизненного цикла дизельного генератора достигает 10000 и более моточасов (согласно инструкции производителей). В течение этого периода работы по техническому обслуживанию включают в себя: долив и замену моторного масла, замену топливных и воздушных фильтров, замену хладагента, несколько плановых капитальных ремонтов и т.д. При определении коэффициента рентабельности дизельной электростанции, с учетом капитальных ремонтов, экономический срок службы энергетического оборудования принят равным 9 годам.

В случае с фотоэлектрической системой, модули при нормальной работе не заменяются в течение всего срока службы (обозначено производителем как 25 лет, с понижением производительности до 80% от номинала). Инвертор заменяется единожды по истечению примерно 10 лет работы. В целом техническое обслуживание фотоэлектрических систем заключается в периодической чистке панелей от пыли и снега.

Для конкретизации, проведём оптимизацию фотодизельной системы электроснабжения в составе с существующей дизельной станцией на примере посёлка Батагай (Якутия) [3]. Показатели нагрузки в п. Батагай представлены в таблице.

Данные, представленные в таблице, показывают, что максимум зимней нагрузки превышает минимальную летнюю нагрузку более чем в 5 раз.

Показатели нагрузки ДЭС Батагай

Выработанная электроэнергия	кВт*ч в год	23 355 024
Минимальная зимняя нагрузка	кВт	3275
Максимальная зимняя нагрузка	кВт	5186
Минимальная летняя нагрузка	кВт	907
Максимальная летняя нагрузка	кВт	2075

Установленная мощность дизельной электростанции всегда должна быть выше возможной максимальной нагрузки, плюс мощность для обеспечения резервирования [4]. Так, установленная мощность существующей дизельной электростанции посёлка Батагай составляет 11 МВт, при этом состав ДЭС включает в себя 12 дизельных генераторов различной мощности.

Учитывая, что уровень инсоляции в этом заполярном районе в летние и зимние месяцы отличается более чем в 100 раз, при построении солнечно-дизельных комплексов мегаваттного класса целесообразно использование параллельной работы ФЭС с сетью, образованной ДЭС [3, 5]. В этом случае отпадает необходимость в накопителях электрической энергии. Как следствие, могут быть получены приемлемые технико-экономические характеристики проекта.

На рис. 1 представлен алгоритм оптимизации, описывающий последовательность действий, производимых для поиска оптимального решения установленных мощностей генерирующего оборудования

гибридного энергетического комплекса с непрерывной дизельной генерацией. При его построении использованы программные комплексы MS Excel и PVsyst [3, 5].

Для расчета энергетических показателей инсоляции в качестве исходных метеорологических данных была принята близлежащая к п. Батагай метеостанция Верхоянск. Угол наклона фотоэлектрических панелей фиксированный и составляет 52° (оптимальный годовой), расстояние между рядами панелей 20 м, тип панелей (Yingli Solar YL255P-29b, 255 Вт) и инверторов (SMA Sunny Tripower 20000 TLEE, 20 кВт). Установленная мощность ДЭС – 11 МВт, с ограничением загрузки каждого отдельного агрегата от 40 до 80%, в связи со значительным износом существующего оборудования.

Изменяемым параметром при оптимизации является установленная мощность фотоэлектростанции. Для оптимизационных исследований использованы математические модели фото-дизельной системы, описанные в [3, 5]. Интервал дискретизации расчетов принят равным одному часу в течение характерных суток каждого месяца по уровням инсоляции и нагрузки гибридной электростанции [5].

Итерационный процесс представлен по принципу человеко-машинного взаимодействия. На основании полученных значений целевых функций: КИУМ и себестоимости производимой электрической энергии оператор принимает решение о корректировке установленной мощности фотоэлектростанции и продолжении итерационного процесса, либо его завершении.

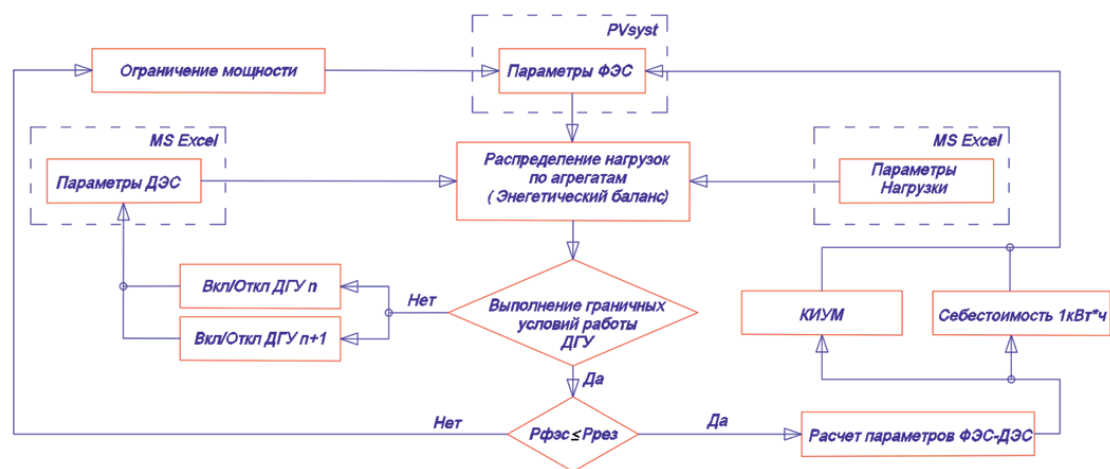


Рис. 1. Алгоритм оптимизации установленной мощности ФЭС, работающей параллельно с локальной дизельной системой электроснабжения

Формирование режимов работы фото-дизельной электростанции должно производиться с учетом загрузки отдельных дизель-генераторных установок и ДЭС в целом. Такое условие следует из необходимости обеспечения устойчивой работы сетевых инверторов ФЭС, и, следовательно, устойчивости гибридного энергетического комплекса в целом. Следует учесть, что необходимое значение текущей мощности дизельной части гибридного энергетического комплекса, требуемой для стабильной работы фото-дизельной системы, не является статичным. Оно постоянно меняется и зависит от ряда факторов, как уровень мощности автономной системы электроснабжения на рассматриваемом интервале времени; сезон года; установленная мощность ДЭС; количество дизельных генераторов и допустимые границы работы каждого отдельно взятого агрегата; установленная мощность ФЭС и значение выработки мощности фотоэлектрической частью комплекса на рассматриваемом интервале времени.

В зимний период времени изменение производимой мощности ДЭС соответствует изменению инсоляции, что, в свою очередь, говорит о полном потреблении произведенной ФЭС энергии, нагрузкой. С увеличением установленной мощности ФЭС, выработка ДЭС уменьшается за счет увеличения генерации ФЭС.

Влияние выработки мощности ФЭС на изменение нагрузки на ДЭС в весенний и летний периоды времени имеют тенденцию к расширению от месяца к месяцу, что объясняется астрономическим изменением положения солнца на небосводе и увеличением продолжительности светового дня. В это же время, от зимы к лету, происходит понижение уровня нагрузки автономной системы электроснабжения.

Одновременный рост количества приходящей на земную поверхность солнечной радиации и снижение уровня нагрузки приводят к необходимости стабилизации системы. Для ДЭС это осуществляется путём поддержания мощности производимой ДЭС электроэнергии в заданных пределах при рациональном уровне загрузки каждого отдельного дизельного генератора. Генерация электроэнергии ФЭС регулируется выбором её установленной мощности и ограничением на разрешенную доступную мощность сетевого инвертора в соответствии с графиком нагрузки и мощностью ДЭС. Это наглядно видно на рис. 2 (справа) в виде ограничения допустимой мощности ФЭС, необходимого для соблюдения устойчивости системы.

Превышение выработки ФЭС относительно требований устойчивости фото-дизельной системы, при текущем уровне нагрузки, ведет к необходимости ограничения генерации ФЭС. Это приводит к недоиспользованию установленной мощности фотоэлектрической части гибридного комплекса в часы наибольшей активности солнца.

В идеальном случае вся вырабатываемая энергия должна потребляться нагрузкой, при этом суммарная энергия генерирующих источников будет повторять форму графика нагрузки (рис. 2, слева).

На основании данных, полученных для характерных суток каждого месяца, построены годовые графики зависимости КИУМ от установленной мощности фотоэлектрической станции п. Батагай (рис. 3, слева). Кривая, иллюстрирующая изменение себестоимости электроэнергии фото-дизельной электростанции п. Батагай с накоплением по месяцам года при различных установленных мощностях ФЭС, приведена на рис. 3, справа.

При установленной мощности фотоэлектрической станции 1МВт, КИУМ ФЭС находится в максимальных значениях в течение года, при увеличении мощности появляются избытки энергии в летнее время в часы наибольшей активности солнца, и одновременного снижения нагрузки. При увеличении установленной мощности ФЭС наблюдается снижение КИУМ ФЭС, в разрезе дня, месяца и года. Снижение установленной мощности ФЭС ниже 1 МВт также нецелесообразно.

Кривые себестоимости производства кВт·ч электрической энергии фактически накладываются друг на друга для разных мощностей ФЭС, то есть увеличение установленной мощности фотоэлектрической станции более 1 МВт практически не дает экономической выгоды. Это происходит за счет некоторой компенсации затрат на экономию топлива и увеличение капиталовложений в оборудование ФЭС большей мощности.

Выводы

1. При построении гибридного комплекса с параллельной работой ФЭС и ДЭС требуется поддержание стабильности системы за счет поддержания необходимого уровня непрерывной дизельной генерации.

2. Увеличение установленной мощности фотоэлектрической части гибридного комплекса, при превышении определенных значений, приводит к необходимости ограничения мощности генерации ФЭС, что приводит к снижению показателей комплекса в целом.

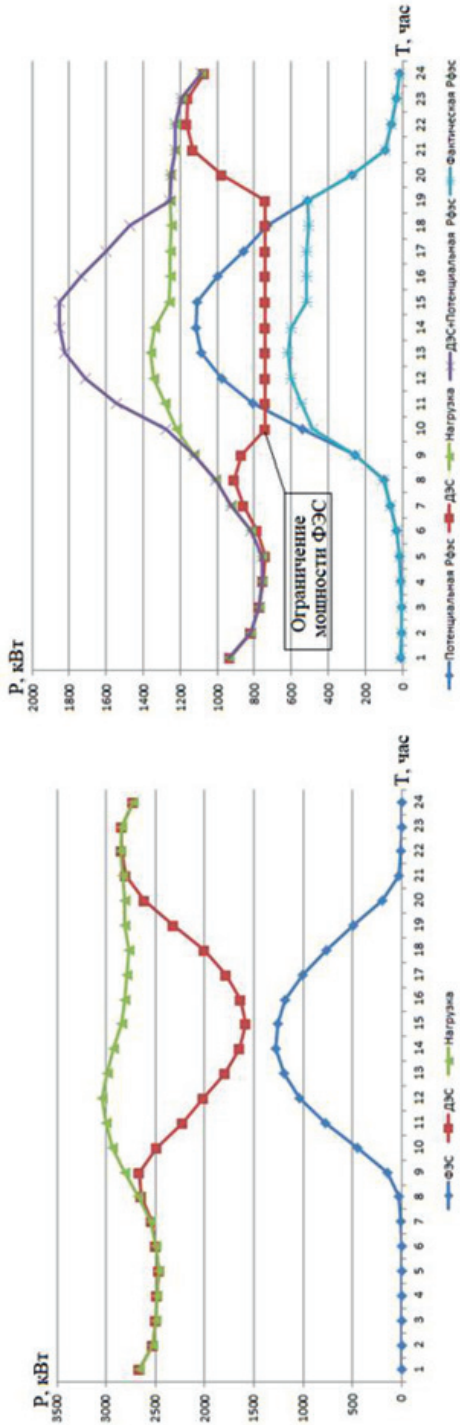


Рис. 2. Изменение уровня мощности гибридного комплекса при установленной мощности ФЭС 1,5 МВт в апреле (слева) и 2 МВт в июле (справа)

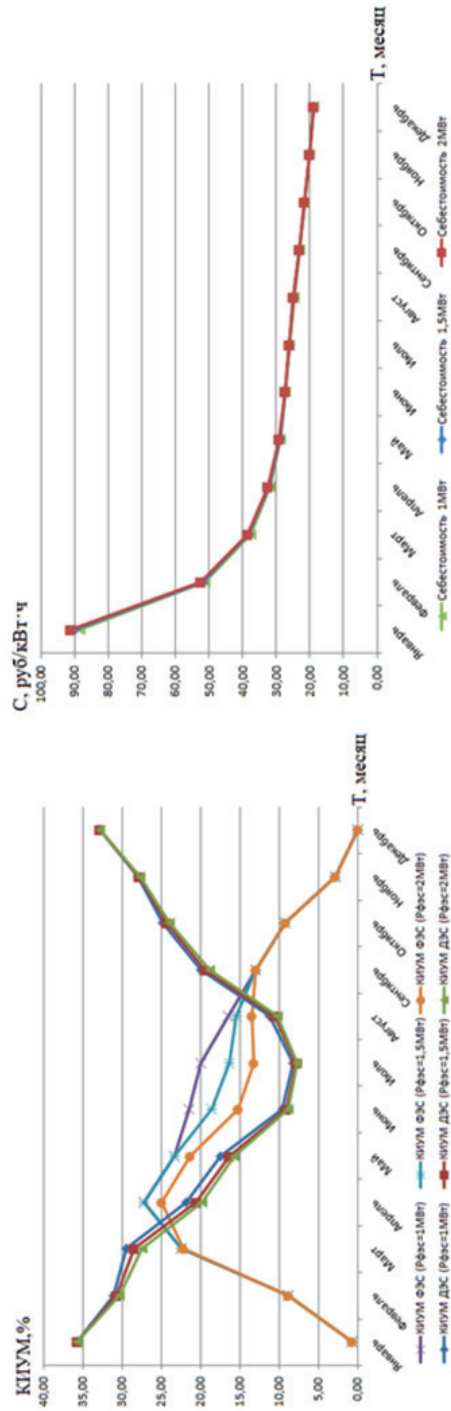


Рис. 3. Изменение KPIUM гибридной станции в течение года при разных установленных мощностях ФЭС (слева) и годовое изменение себестоимости 1 кВт·ч с накоплением при различных установленных мощностях ФЭС (справа)

3. Прирост установленной мощности фотоэлектрической станции гибридного комплекса целесообразен до значений, при которых комплекс имеет максимальные технико-экономические показатели – КИУМ и себестоимость производимой энергии. В частности, для п. Батагай при цене на дизельное топливо 38115 руб/т (на период 2012 г.) оптимум установленной мощности ФЭС равен 1 МВт.

Список литературы

1. Корякин А.К. Опыт и перспективы внедрения альтернативных источников энергии на территории Республики Саха (Якутия): материалы Международной конференции. Якутск, 2013 г. [Электронный ресурс]. URL: [http://](http://www.rushydro.ru/upload/iblock/8ef/Alexander-Koryakin_Sakhaenergo.pdf)

www.rushydro.ru/upload/iblock/8ef/Alexander-Koryakin_Sakhaenergo.pdf (дата обращения: 10.12.2018).

2. Карамов Д.Н. Актуальность применения возобновляемых источников энергии в децентрализованных населенных пунктах России на примере Ленского района Республики Саха (Якутия) // Вестник ИргТУ. 2013. № 11 (82). С. 279–283.

3. Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В. Выбор мощности генерирующего оборудования автономной солнечно-дизельной электростанции мегаваттного класса // Фундаментальные исследования. 2015. № 4. С. 61–66.

4. Карамов Д.Н. Структурная оптимизация автономной системы электроснабжения, использующей возобновляемые источники энергии // Сборник трудов молодых ученых ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 84–89.

5. Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В. Методика оценки энергии солнечного излучения для фотоэлектростанции // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 5. С. 49–55.

УДК 621.362.2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ

Долгих П.П., Иброгимов Р.И.

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск,
e-mail: dpp10@yandex.ru

Альтернативные источники энергии на базе термоэлектрических генераторов применяют для электроснабжения децентрализованных потребителей малой мощности в силу их экологичности, автономности, надежности и простоты эксплуатации. Повысить эффективность таких систем электроснабжения можно путем рациональных режимов эксплуатации. Предложено перед их созданием промоделировать возможные основные четыре режима работы термогенераторных модулей: холостого хода, зарядки аккумулятора, переменной нагрузки, разрядки аккумулятора и один аварийный режим: перегрев. В работе представлено техническое решение в виде стенда для испытания термогенераторных модулей, который позволит повысить эффективность систем электроснабжения путем отладки на стадии проектирования рациональных режимов эксплуатации. Произведенный расчет системы электроснабжения потребителей заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов с двумя различными технологиями: низко- и среднетемпературными термоэлектрическими генераторными модулями позволил установить, что среднетемпературные термоэлектрические генераторные модули занимают в 2,3 раза большую площадь для выработки сопоставимого количества энергии, чем низкотемпературные. Также для их работы требуется создание более высоких температур в источнике тепловой энергии, что может быть связано с дополнительными затратами на создание этих условий. Разработана система электроснабжения данного объекта с применением термоэлектрических генераторов, работающих от энергии отопительно-варочного или отопительного устройства.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, системы децентрализованного электроснабжения, малая энергетика, потребители малой мощности, термоэлектрический генератор, испытательный стенд, режимы работы, эффективность

DEVELOPMENT OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF DECENTRALIZED CONSUMERS OF SMALL POWER BASED ON THERMOELECTRIC GENERATORS

Dolgikh P.P., Ibrogimov R.I.

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, e-mail: dpp10@yandex.ru

Alternative energy sources based on thermoelectric generators are used to supply decentralized low-power consumers due to their environmental friendliness, reliability, and ease of operation. Increase the efficiency of such power supply systems can be achieved through rational operating modes. It was suggested before their creation to simulate the possible basic four operating modes of thermal generators: idling, charging the battery, varying the load, discharging the battery and one emergency mode: overheating. The paper presents a technical solution in the form of a test bench for thermo-generator modules, which will improve the efficiency of power supply systems by debugging rational operating modes at the design stage. The calculation of the power supply system for the consumers of the harvesting and receiving center for harvesting wild-growing plants with two different technologies: low- and medium-temperature thermoelectric generator modules made it possible to establish that the medium-temperature thermoelectric generator modules occupy 2.3 times the area to produce comparable amounts of energy than low-temperature ones. Also, their work requires the creation of higher temperatures in the source of thermal energy, which may be associated with additional costs to create these conditions. A power supply system for this facility has been developed using thermoelectric generators operating on the energy of a heating / cooking or heating device.

Keywords: alternative energy, decentralized power supply systems, small power engineering, low power consumers, thermoelectric generator, test bed, operating modes, efficiency

Особенностью России, в первую очередь характерной для регионов Сибири и Дальнего Востока, является весьма низкая плотность населения на громадных, слабо освоенных в производственном отношении территориях. Поэтому даже в районах с развитой энергетической системой имеется значительное количество мелких удаленных и малонаселенных поселений.

Проблема надежного и качественного электроснабжения малых удаленных и малонаселенных поселений остается острой в социальном, техническом и экономическом аспектах и требует срочного решения.

На территории России существуют потребители, изолированные от централизованного электроснабжения и имеющие слабые транспортные связи с промышленно развитыми районами. В основном такие потребители располагаются в удаленных районах проживания сельского и коренного населения. По информации [1] количество населения, проживающего в зонах децентрализованного электроснабжения, составляет 3,2 млн жителей. Их централизованное энергоснабжение нецелесообразно, так как оно потребовало бы строительства протяженной и дорогой инфраструктуры по пере-

даче энергии, а в процессе передачи происходили бы ее высокие потери. Поэтому энергоснабжение малых удаленных потребителей организовано децентрализованно.

На рис. 1 представлена карта Красноярского края с указанием районов, имеющих централизованное и децентрализованное электроснабжение. Электроснабжение децентрализованных потребителей выполнено с применением дизельных электростанций, имеющих высокий уровень себестоимости вырабатываемой электроэнергии, обладающих высокими экологическими рисками.

Альтернативная энергетика может играть важную роль для энергоснабжения малых децентрализованных потребителей. В связи с этим очень актуальным становится использование термогенераторных модулей (ТГМ) для получения электроэнергии [2].

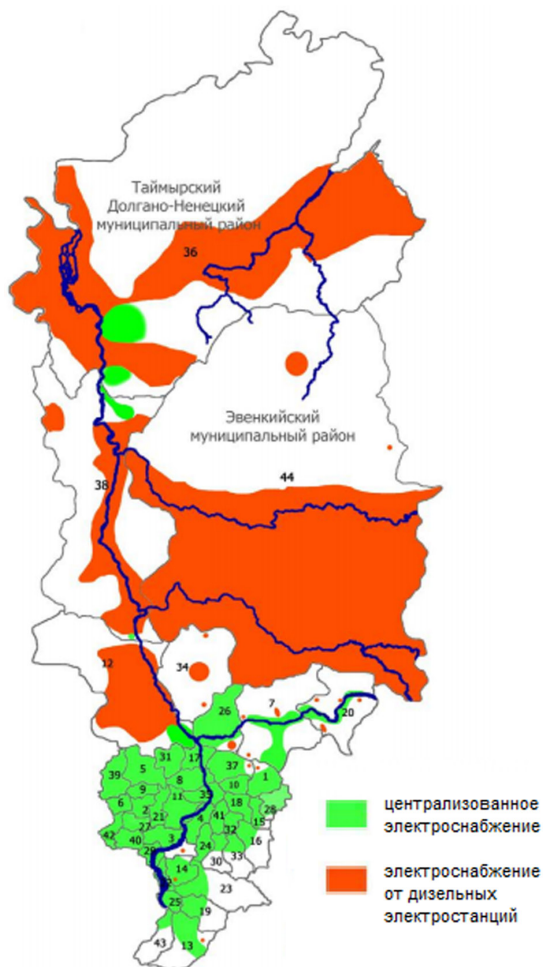


Рис. 1. Карта Красноярского края с указанием районов, имеющих централизованное и децентрализованное электроснабжение

Термоэлектрические устройства генераторного типа, обеспечивающие прямое преобразование тепловой энергии в электрическую, удовлетворяют требованиям безопасности, экологичности, автономности, надежности и простоты эксплуатации.

На рис. 2 представлены серийно выпускаемые технические решения ТГМ и термоэлектрических генераторов (ТЭГ) [3].

Для построения систем электроснабжения на базе ТЭГ необходимо на стадии проектирования производить оценку эффективности работы ТГМ для определения диапазона регулирования мощности в зависимости от реальных условий. Другими словами, промоделировать возможные режимы работы на специальном оборудовании (стенде).

Патентный обзор позволил установить следующее:

Известна модельная установка с термоэлектрическим генератором [4], содержащая термоэлектрический генератор, отводную трубу, систему трубопроводов и регулируемую арматуру, насос для подачи охлаждающей воды, расходомер, фильтр, нагрузочное устройство, патрубки.

Недостатком известного устройства является низкая функциональная возможность, не позволяющая проводить исследования режимов работы термогенераторных модулей с различной электрической нагрузкой и в аварийном режиме.

Известна принципиальная схема экспериментальной установки [5], включающая тепловой двигатель, термоэлектрический генератор, нагрузочное устройство, вольтметр, амперметр, термометр, расходомер, насос, резервуар с водой, выхлопной трубопровод, отводную трубу.

Недостатком известного устройства является низкая эффективность работы схемы, так как она не позволяет производить оценку мощности термогенераторных модулей в расширенном интервале температур.

Из уровня техники известно [6], что оценка мощности термогенераторных модулей в расширенном интервале температур позволит подобрать точку максимума при некоторой температуре, при которой показатель эффективности термоэлектрического преобразования полупроводникового вещества будет наивысшим.

На сегодня известно [3], что существуют среднетемпературные генераторные модули, вырабатывающие более 40 Ватт электрической мощности на разности температур в 400 °С и предназначенные для применения совместно с источником тепла, обеспечивающим температуру 500 °С, а также низкотемпературные генераторные модули с температурой горячей стороны от 150 до 280 °С.

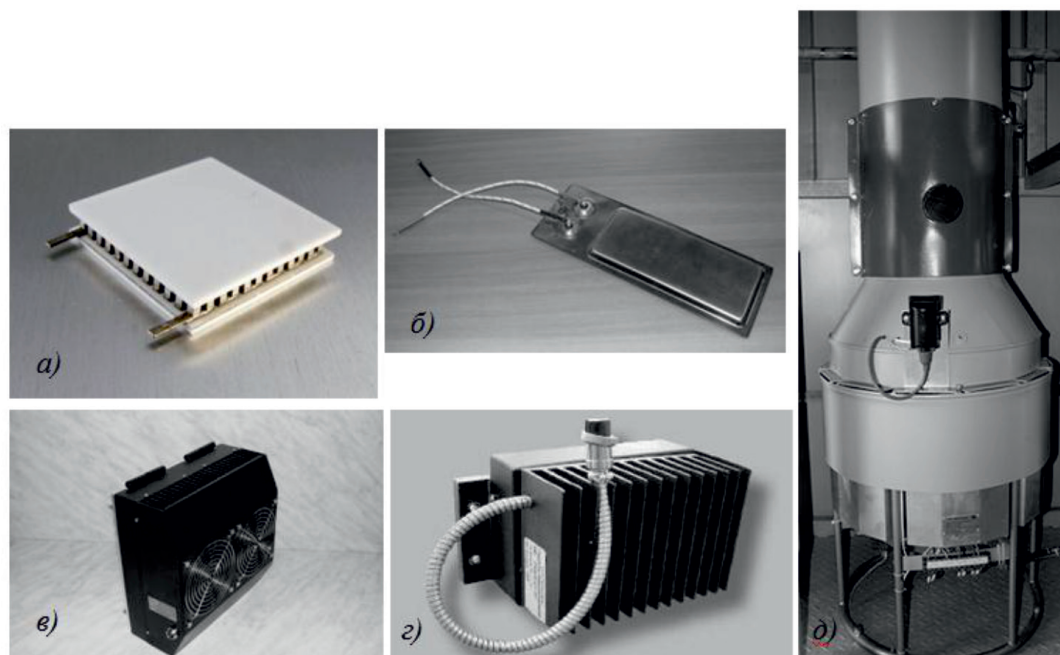


Рис. 2. Генераторные модули и термоэлектрические генераторы: а – низкотемпературный генераторный термоэлектрический модуль; б – среднетемпературный генераторный модуль серии Mars; в – универсальный термоэлектрогенератор В25-12 (М), работающий от энергии горения дров; г – универсальный термоэлектрический генератор В4М; д – термоэлектрический генератор ГТЭГ, работающим на природном газе, пропане или пропано-бутановой смеси

Также известно [7], что эффективность работы термогенераторных модулей зависит от режимов работы нагрузки (потребителей).

Таким образом, необходимо повысить эффективность работы систем электроснабжения путем производства оценки мощности термогенераторных модулей в расширенном интервале температур.

Целью является повышение эффективности систем электроснабжения децентрализованных потребителей малой мощности на базе ТГМ путем отладки режимов на стадии проектирования.

Задачи

1. Провести анализ технических решений для реализации систем электроснабжения на основе термоэлектрических генераторов.

2. Разработать стенд и методику для исследования режимов работы термоэлектрических генераторных модулей.

3. Произвести расчет системы электроснабжения потребителей заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов с двумя различными технологиями: низко- и среднетемпературными ТГМ.

4. Разработать систему электроснабжения объекта с применением низкотемпературных и среднетемпературных термоэлектрических генераторов, работающих от тепловой энергии отопительно-варочного или отопительного устройства.

Материалы и методы исследования

На рис. 3 представлен разработанный авторами стенд для исследования термогенераторных модулей [8]. Стенд содержит три блока. Первый – топливный блок 1 – содержит газовый баллон 4 с манометром 5 и редуктором 6, соединенный посредством гибкого шланга 7 с горелкой 8, содержащей пьезоэлемент 9. Второй – испытательный блок 2 – содержит радиатор 10 с вентилятором 11 и теплоприемник 12. Между радиатором 10 и теплоприемником 12 помещается термогенераторный модуль 13 с проводниками 14. Конструкция скреплена пружинными шайбами 15. Третий – измерительный блок 3 – укомплектован измерителем-регулятором технологическим 18 с датчиком высоких температур 16 и датчиком низких температур 17, вольтметром 19, амперметром 20, аккумулятором 21, переменным реостатом 22, щитом управления 23.

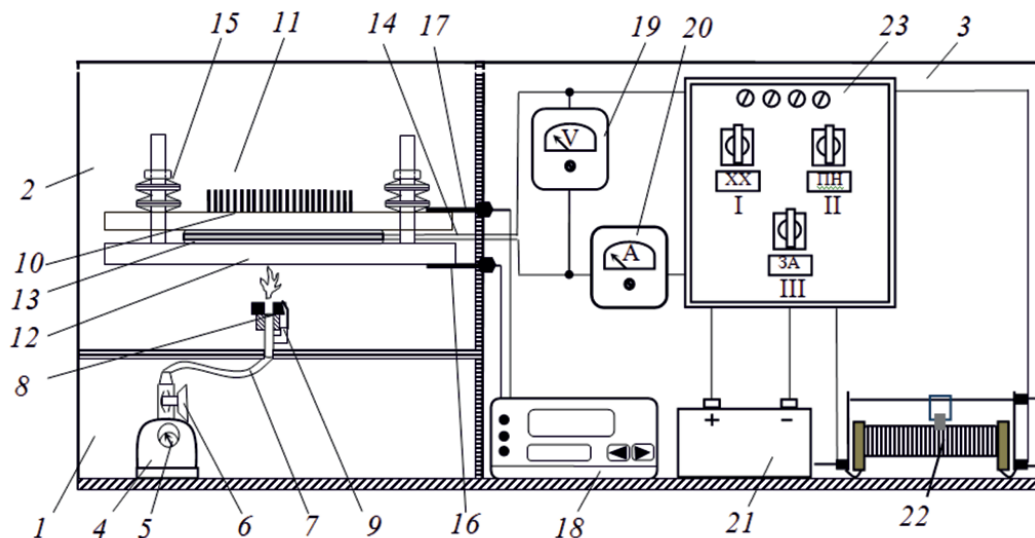


Рис. 3. Оборудование для исследования термоэлектрических генераторных модулей

Стенд работает следующим образом. Перед началом испытаний в испытательном блоке 2 между радиатором 10 и теплоприемником 12 помещается испытуемый термогенераторный модуль 13. Конструкция скрепляется пружинными шайбами 15. Затем редуктором 6 открывается газ, который поступает из баллона 4 по гибкому шлангу 8 и поджигается с помощью пьезоэлемента 9. Из горелки 8 пламя воздействует на теплоприемник 12 и одна сторона термогенераторного модуля 13 нагревается, а другая – охлаждается путем радиатора 10 с вентилятором 11. В это же время на концах проводов 14 возникает разность потенциалов (термоэдс), величина которой отслеживается по вольтметру 19. Отслеживая расход газа по манометру 5, редуктором 6 регулируется величина факела пламени до тех пор, пока датчик высоких температур 16 и датчик низких температур 17 не измерят такие оптимальные для работы термогенераторного модуля 13 значения температур, при которых вольтметр 19 покажет максимальное значение напряжения и которые зафиксируются измерителем-регулятором технологическим 18.

Исследования параметров работы термогенераторных модулей в четырех режимах: холостого хода, зарядки аккумулятора, переменной нагрузки, разрядки аккумулятора – и аварийном режиме: перегрев, проводятся следующим образом.

1. Режим холостого хода. В данном режиме переменный реостат 22 и аккумулятор 21 отключены с помощью переключателя I в щите управления 23. Данный режим

возможен в реальных условиях эксплуатации в том случае, когда электрическая нагрузка выключена, источник тепловой энергии функционирует, а аккумулятор не требует подзарядки или отсутствует.

2. Режим зарядки аккумулятора. Для осуществления данного режима необходимо в щите управления 23 с помощью переключателя II подключить аккумулятор 21. Величина термоэдс наблюдается по вольтметру 19, а зарядный ток отслеживается по амперметру 20. Данный режим применяется, когда электрическая нагрузка выключена, источник тепловой энергии функционирует и имеется техническая возможность зарядки аккумулятора.

3. Режим переменной нагрузки. В этом режиме стенд работает следующим образом. Включается переключатель III в щите управления 23. Ток поступает на переменный реостат 22 и аккумулятор 21. С помощью переменного реостата 22 имитируется снижение/увеличение нагрузки. Величина термоэдс наблюдается по вольтметру 19, а ток отслеживается по амперметру 20. Данный режим в реальных условиях соответствует основному рабочему режиму и применяется, когда функционирует источник тепловой энергии в оптимальном режиме, а нагрузка потребителей изменяется в зависимости от технологических нужд.

4. Режим разрядки аккумулятора. Здесь с помощью переменного реостата 22 имитируется снижение/увеличение нагрузки, запитанной напрямую от аккумулятора 21. Данный режим в реальных условиях применяется, когда источник тепловой энер-

гии не функционирует, термогенераторный модуль не работает, а нагрузка потребителей изменяется в зависимости от технологических нужд.

В первых трех режимах предполагается, что источник тепловой энергии функционирует в оптимальных условиях, обеспечивающих максимальный КПД термогенераторного модуля.

5. Режим перегрева термогенераторного модуля. Данный режим можно обеспечить двумя способами: путем увеличения количества подаваемого газа из баллона 4 редуктором 6 увеличивается величина факела пламени и тем самым температура теплоприемника 12, либо отключается вентилятор 11 на радиаторе 10.

В реальных условиях данный режим может наступить по причине неправильной эксплуатации, выхода из строя оборудования и т.п.

В стенде датчик высоких температур 16 и датчик низких температур 17 зафиксируют критичные для работы термогенераторного модуля 13 значения температуры, которые в виде сигнала поступят на измеритель-регулятор технологический 18, а тот в свою очередь подаст сигнал на закрытие редуктора 6.

Предложенное техническое решение позволит повысить эффективность работы стенда для исследования термогенераторных модулей путем отслеживания разности потенциалов (термоэдс) по вольтметру, а редуктором с манометром регулировки величины факела пламени до тех пор, пока датчик высоких температур и датчик низких температур не измерят такие оптимальные для работы термогенераторного модуля значения температур, которые зафиксируются измерителем-регулятором технологическим, при которых вольтметр покажет максимальное значение напряжения.

Расширение функциональных возможностей стенда достигается путем соединения вольтметра и амперметра, посредством щита управления с аккумулятором и переменным реостатом, а посредством проводов – с термогенераторным модулем.

Стенд для исследования термогенераторных модулей прост по конструкции, надежен в эксплуатации и может быть использован в промышленности, сельскохозяйственном производстве в экспериментальных лабораториях и в учебном процессе.

Предложенное техническое решение в виде стенда для испытания ТГМ позволит повысить эффективность систем электроснабжения на базе ТЭГ путем отладки на

стадии проектирования рациональных режимов эксплуатации.

Результаты исследования и их обсуждение

Для реализации системы электроснабжения на базе ТЭГ в практических условиях необходимо изучить режимы работы основного оборудования, обеспечивающего работу ТГМ, и дать рекомендации по его использованию. В проекте предполагается разработать систему электроснабжения для объекта с применением в одном случае низкотемпературных ТГМ, а во втором – среднетемпературных.

Произведем расчет нагрузки потребителей на примере заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов, представляющего из себя двадцатитонный контейнер площадью 14 м². Для расчета системы электроснабжения были приняты во внимание маломощные потребители электрической энергии, представленные в табл. 1. Электрическая нагрузка рассчитана с учетом коэффициента одновременности 0,9.

Таблица 1

Маломощные потребители электрической энергии

Потребители	Мощность, Вт
Система освещения (светодиодные лампы ЭРА В35 Е27 6W 230V)	24
Телевизор ЖК	50
Холодильник	100
Зарядное устройство	5

Для реализации системы электроснабжения используем представленное на рис. 4 устройство прямого преобразования тепловой энергии в электрическую энергию, которое может быть использовано в отопительно-варочных печах для обеспечения работы термоэлектрического генератора в автономном режиме [9]. Этот технический результат достигается тем, что в отопительно-варочной печи, содержащей топочную камеру с верхней частью и воздушными каналами, дополнительно установлены теплоизолирующие экраны, в верхнюю часть топочной камеры плотно встроен термоэлектрический генератор, его нижняя поверхность с горячими спаями опущена внутрь топочной камеры, а холодные спаи охлаждаются водой, циркулирующей по термосифонному контуру, снабженному аккумулялирующим баком. Мощность ТЭГ прямо пропорциональна перепаду температуры и площади поверхности спаев.

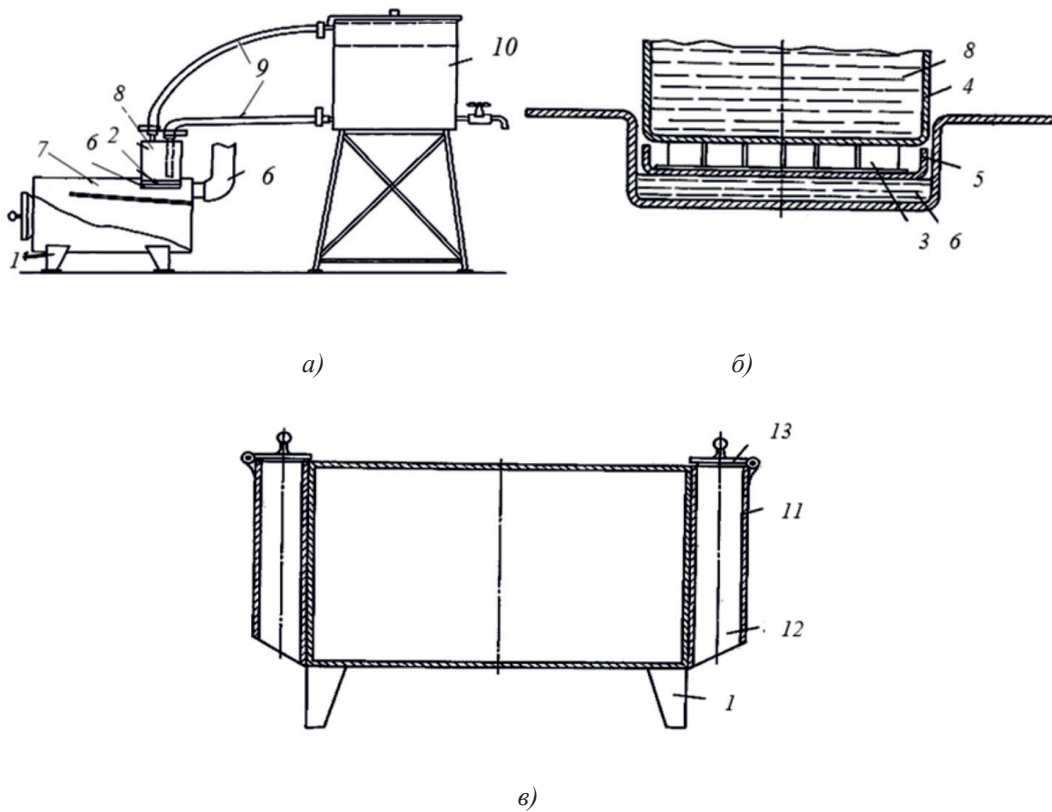


Рис. 4. Отопительно-варочная печь: а) общая схема с ТЭГ; б) ТЭГ с термостабилизирующим покрытием; в) печь и воздушный канал: 1 – опоры; 2 – ТЭГ; 3 – термобатарея; 4 – холодные спаи; 5 – горячие спаи; 6 – термостабилизирующее покрытие; 7 – топочная камера; 8 – емкость; 9 – гибкие шланги; 10 – аккумуляторный водяной бак; 11 – печной кожух; 12 – воздушный канал; 13 – заслонки

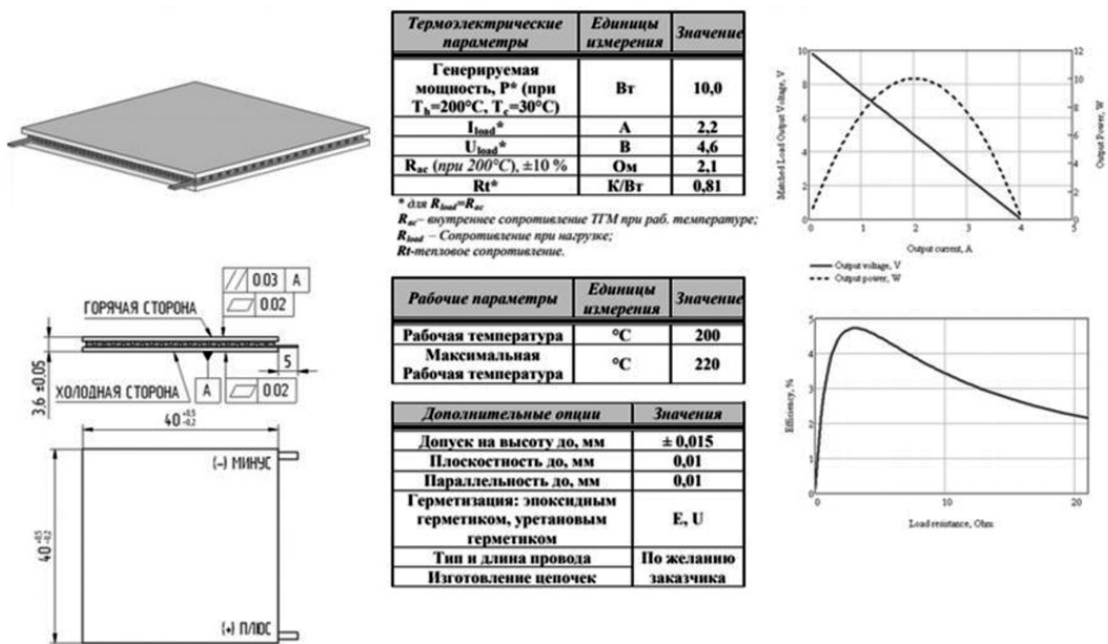


Рис. 5. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля ТТМ-199-1.4-1.15

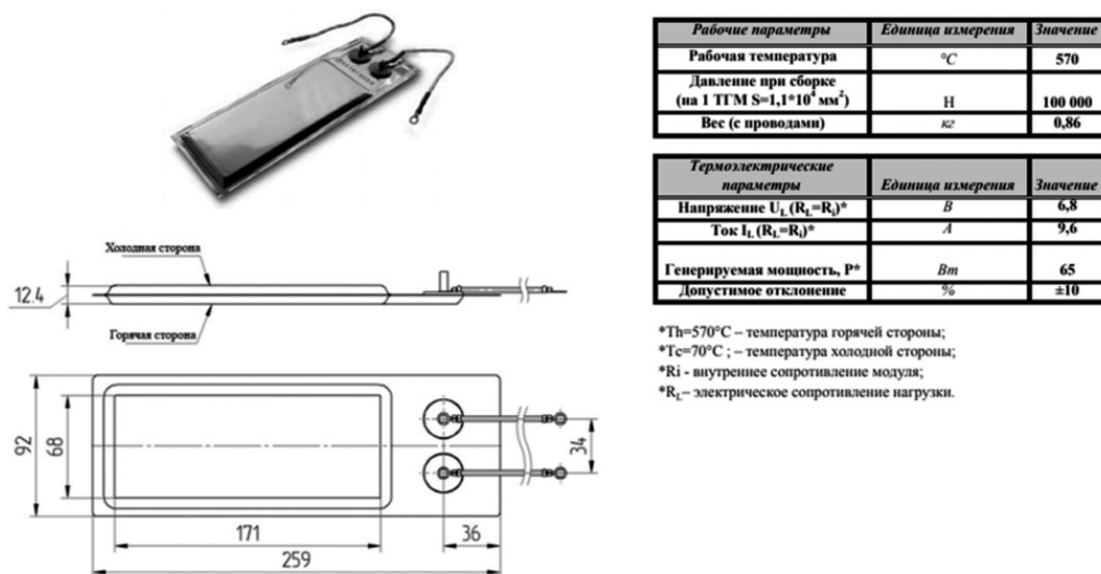


Рис. 6. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля MAPC-65

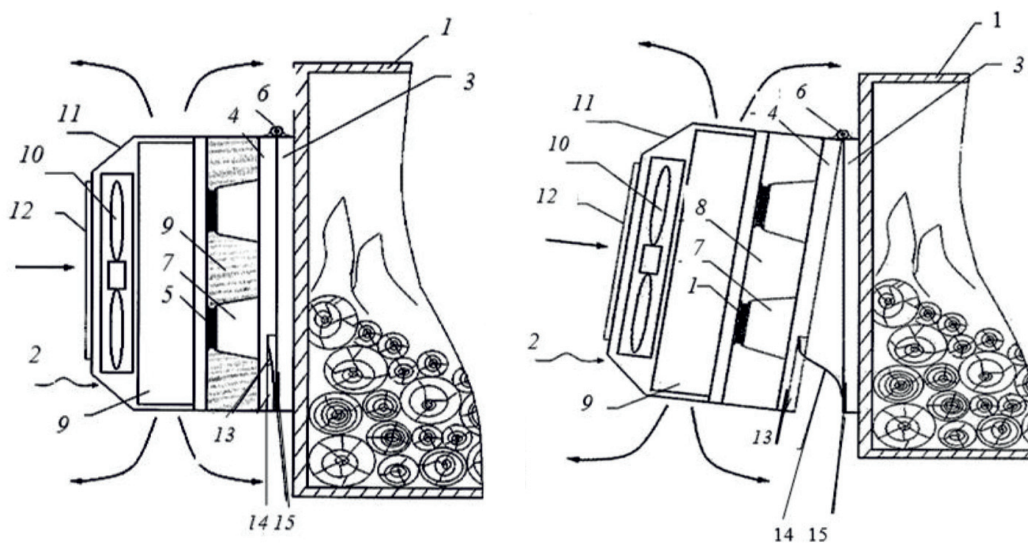


Рис. 7. Отопительное устройство с термоэлектрическим генератором и термоэлектрический генератор: а) устройство в исходном состоянии; б) устройство в нагретом состоянии: 1 – стенки печи; 2 – термоэлектрический генератор; 3 – опорная нагреваемая металлическая пластина; 4 – тепловыравнивающая металлическая пластина; 5 – холодные спаи; 6 – петля; 7 – металлический теплопроводящий блок; 8 – теплоизоляционный материал; 9 – массивные ребра; 10 – вентилятор; 11 – закрытый кожух; 12 – защитная решетка; 13 – биметаллическая пластина; 14 – пазы; 15 – теплоизоляционная прокладка

Прямое преобразование тепловой энергии в электрическую энергию, поддержание в помещении тепла, выработка электричества и получение теплой воды, возможность использования в отопительно-варочных печах ТЭГ для обеспечения работы в автоном-

ном режиме – это достоинства отопительно-варочной печи.

Для реализации схемы были применены низкотемпературные ТГМ типа ТГМ-199-1.4-1.15 с генерируемой мощностью 10 Вт (рис. 5) [10]. К установке принимаем

18 ТГМ. С площади 16 см² можно получать 10 Вт. При площади ТГМ 288 см² мощность ТЭГ составит 180 Вт.

Второй вариант системы электроснабжения произведем с применением среднетемпературных ТГМ МАРС-65 с генерируемой мощностью 65 Вт (рис. 6) [11].

К установке принимаем 3 ТГМ. С площади 238 см² можно получать 65 Вт. При площади ТГМ 715 см² мощность ТЭГ составит 195 Вт.

Так как для работы ТГМ МАРС-65 требуются более высокие температуры для эффективной работы, то в качестве источника тепловой энергии применяем отопительное устройство, представленное на рис. 7.

Отопительное устройство имеет в своем составе элемент, преобразующий энергию горения топлива в тепловую, на корпусе которого закреплен один или несколько ТЭГов. В состав ТЭГа входит опорная нагреваемая пластина, на которой подвижно с применением биметаллических пластин закреплена тепловыравнивающая пластина с установленными на ней термоэлектрическими генераторными модулями [12]. Дан-

ное техническое решение построено по модульному принципу.

Достоинство – техническое решение позволяет снизить массогабаритные показатели отопительного устройства, а также обеспечить постоянный уровень генерируемого напряжения на выходе ТЭГ и обеспечить защиту ТЭГ от перегрева.

В табл. 2 представлен сравнительный анализ систем электроснабжения, построенных на двух различных технологиях: с применением низко- и среднетемпературных ТГМ.

Как видно из табл. 2, среднетемпературные ТГМ занимают в 2,3 раза большую площадь для выработки сопоставимого количества энергии, чем низкотемпературные ТГМ. Также для их работы требуется создание более высоких температур в источнике тепловой энергии, что может быть связано с дополнительными затратами на создание этих условий. Данные обстоятельства необходимо учитывать при построении систем электроснабжения.

Система электроснабжения с применением низкотемпературных или среднетемпературных ТГМ представлена на рис. 8.

Таблица 2

Анализ систем электроснабжения

Генераторные модули	Количество, шт	Площадь ТГМ, см ²	Генерируемая мощность, Вт	Мощность с единицы площади, Вт/см ²
ТГМ-199-1.4-1.15	18	288	180	0,625
МАРС-65	3	715	195	0,27

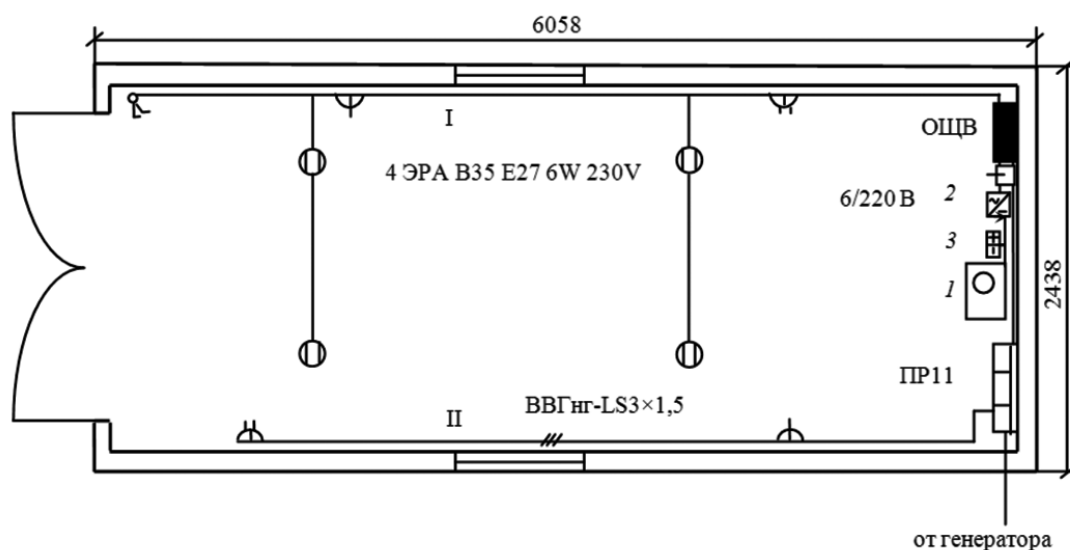


Рис. 8. Система электроснабжения заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов на основе термоэлектрических генераторов

Система содержит два источника электроэнергии: первый – генератор, который используется в качестве резервного источника, второй – отопительно-варочная печь или отопительное устройство 1 с ТГМ, инвертором 2 и аккумуляторной батареей 3. Потребители представлены розеточной группой с двухполюсными розетками и системой освещения на лампах ЭРА мощностью 6 Вт в количестве 4 штук и запитаны кабелем ВВГнг-LS3×1,5.

Ввод от резервного источника выполнен через распределительный пункт ПР11, который питает отдельную розеточную группу и соединен через переключатель управления с осветительным щитом ОЩВ.

Система работает следующим образом. При работе отопительно-варочной печи или отопительного устройства 1 выделяется тепловая энергия, которая преобразуется в электрическую энергию низкого напряжения 6–7 В постоянного тока. Далее она преобразуется в инверторе 2 в электрическую энергию переменного тока напряжением 220 В и через переключатель управления подается в осветительный щит ОЩВ, который запитывает через кабель ВВГнг-LS3×1,5 потребителей розеточной группы I и осветительную нагрузку. В том случае, если нагрузка отключена или потребители работают на неполную нагрузку, происходит зарядка аккумуляторной батареи 3.

Если отопительно-варочная печь или отопительное устройство отключены, электроснабжение осуществляется от аккумуляторной батареи 3. При ее разрядке система электроснабжения запитывается от генератора. Совместная работа генератора и ТГМ возможна, когда требуется подключение нагрузки, большей, чем та, на которую рассчитан ТГМ. В этом случае запитывается розеточная группа II.

Выводы

Проблема надежного и качественно-го электроснабжения малых удаленных и малонаселенных поселений остается острой в социальном, техническом и экономическом аспектах и требует срочного решения.

Проведенный анализ технических решений для реализации систем электроснабжения на основе термоэлектрических генераторов показал, что на сегодня существует мощная научная и техническая база, позволяющая решить проблемы децентрализованных потребителей электрической энергии.

Разработанные в проекте стенд и методика для исследования режимов работы

термоэлектрических генераторных модулей позволят повысить эффективность систем электроснабжения на базе ТЭГ путем отладки на стадии проектирования рациональных режимов эксплуатации.

Произведенный расчет системы электроснабжения потребителей заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов с двумя различными технологиями: низко- и среднетемпературными ТГМ позволил установить, что среднетемпературные ТГМ занимают в 2,3 раза большую площадь для выработки сопоставимого количества энергии, чем низкотемпературные ТГМ. Также для их работы требуется создание более высоких температур в источнике тепловой энергии, что может быть связано с дополнительными затратами на создание этих условий. Данные обстоятельства необходимо учитывать при построении систем электроснабжения.

Разработанная система электроснабжения объекта с применением низкотемпературных и среднетемпературных термоэлектрических генераторов, работающих от тепловой энергии отопительно-варочного или отопительного устройства, отвечает требованиям надежности и может быть реализована у децентрализованных потребителей малой мощности.

Список литературы

1. Суржикова О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. 2012. № 3 (4). С. 103–108.
2. Иброгимов Р.И. Термоэлектрические установки для электроснабжения потребителей малой мощности // Инновационные тенденции развития российской науки. Часть I: мат-лы X международ. науч.-практ. конф. мол. учен., посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ (г. Красноярск, 22–23 марта 2017 г.). Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2017. С. 136–139.
3. Термоэлектрические модули Пельтье и комплексные системы охлаждения [Электронный ресурс]. URL: <http://kyothermtec.com/ru/> (дата обращения: 08.11.2018).
4. Виноградов С.В., Халыков К.Р. Использование термоэлектрических генераторов в судовых энергетических установках, как устройств прямого преобразования тепловой энергии в электрическую // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. Астрахань, 2014. № 4. С. 48–56.
5. Виноградов С.В., Халыков К.Р., Конг Доан Нгуен. Методика расчета и оценки параметров экспериментального термоэлектрического генератора // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. Астрахань, 2011. № 1. С. 84–91.
6. Шостаковский П.Г. Термоэлектрические генераторы промышленного применения. Ч. 1 // Современная электроника. 2016. № 1. С. 1–5.
7. Высокоэнергетическая электроника: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Е. Фортова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 687 с.

8. Иброгимов Р.И., Долгих П.П. Стенд для исследования режимов работы термогенераторных модулей / European scientific conference: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции: в 3 ч. Ч.1. Пенза: МЦНС: «Наука и Просвещение». 2018. С. 155–158.

9. Пат. 2172448 Российская Федерация, МПК⁷ F24B 5/06. Отопительно-варочная печь / Заддэ В.В., Никитин Б.А., Стребков Д.С.; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. № 2000107194/06; заяв. 24.03.2000; опубл. 20.08.2001. Бюл. № 23.

10. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля ТГМ-199-1.4-1.15 [Электронный ресурс]. URL:

http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/ru/TGM-199-1.4-1.15_rus.pdf (дата обращения: 11.11.2018).

11. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля МАРС-65 [Электронный ресурс]. URL: http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/Spec_Mars-65-ru.pdf (дата обращения: 11.11.2018).

12. Пат. 2419749 Российская Федерация, МПК⁷ F24H 3/12. Отопительное устройство с термоэлектрическим генератором и термоэлектрический генератор / Баукин В.Е., Винокуров А.В., Корнеев А.Д., Кузнецов А.А., Лапковский А.Я., Малышев В.Н.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «КРИОТЕРМ». № 2010103708/06; заяв. 03.02.2010; опубл. 27.05.2011. Бюл. № 15.

УДК 681.58

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru

Статья посвящена анализу характеристик традиционных и современных, наиболее передовых, электро-электронных частей систем автоматического регулирования турбоагрегатов, установленных на электростанциях России. Рассмотрены принципы и схемы организации новых систем регулирования, их составные части, используемое в них оборудование и программное обеспечение. Проведённый анализ позволяет показать и доказать важность, актуальность и перспективность данного направления разработок, так как новые принципы организации систем регулирования позволяют добиться качественного повышения показателей качества переходных процессов, их быстродействия, снижения стоимости систем регулирования и в конечном итоге снижения стоимости вырабатываемой электроэнергии. Также важным следствием замены традиционных систем регулирования на новые, электро-электронные, является повышение надёжности обеспечения промышленных и бытовых потребителей электроэнергией за счёт более оптимального её перераспределения по регионам страны. Таким образом, возможно решить важную народнохозяйственную задачу, являющуюся одной из наиболее приоритетных в нашей стране. В результате проведённого анализа развития современной науки и промышленности в отрасли энергетики, электротехники и программирования, выработаны рекомендации по дальнейшему совершенствованию систем регулирования турбомашин электростанций, а также энергосистем в целом.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, электростанция, энергосистема, микроконтроллер, турбоустановка, система управления

WAYS OF IMPROVEMENT OF THE ELECTRIC PART OF SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF TURBINE UNITS

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

Article is devoted to the analysis of characteristics of traditional and modern, most advanced, elektro-electronic parts of the systems of automatic control of turbine units installed at power plants of Russia. The principles and schemes of the organization of new systems of regulation, their components, the equipment used in them and the software are considered. The carried-out analysis allows to show and prove importance, relevance and prospects of this direction of developments as the new principles of the organization of systems of regulation allow to achieve high-quality increase in figures of merit of transition processes, their high-speed performance, depreciation of systems of regulation and finally depreciation of the developed electric power. Also important consequence of replacement of traditional systems of regulation on new, electric and electronic, is reliability augmentation of providing industrial and household consumers with the electric power due to its more optimum redistribution on regions of the country. Thus, it is possible to solve the important economic problem which is one of the most priority in our country. As a result of the carried-out analysis of development of modern science and the industry in the industry of power, electrical equipment and programming, recommendations about further improvement of systems of regulation of turbomachines of power plants and also power supply systems in general are developed.

Keywords: system of automatic control, power plant, power supply system, microcontroller, turbine plant, control system

Постановлением Правительства Российской Федерации от 11 июля 2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации» (с изменениями от 1 февраля 2005 г.) основной задачей ставится повышение эффективности функционирования электроэнергетики, обеспечения бесперебойного снабжения отраслей экономики и населения электрической и тепловой энергией. Предпосылки и современное состояние этой проблемы подробно рассмотрены в книге [1]. Одно из направлений на пути решения данной задачи рассмотрено в данной статье.

Классические системы автоматического регулирования (САР) турбоагрегатов

выполнялись с механическими или механико-гидравлическими датчиками. Такие системы имели ряд недостатков: погрешности в регулировании, особенно при износе шарнирных соединений, сложность получения заданного закона регулирования и настройки, дороговизна ремонта, большие габариты.

Современный уровень развития управляющих устройств позволяет уменьшить число механических связей в системах регулирования турбин и применять электрические и электронные системы преобразования сигналов. При этом можно осуществить практически любой закон регулирования при очень высокой чувствительности дат-

чиков, контролировать любые параметры работы турбоустановки при малых габаритах и несложном монтаже системы измерения и преобразования.

Цель исследования: рассмотрение особенностей современных электро-электронных систем автоматического регулирования турбоагрегатов электростанций с целью выработки рекомендаций для их совершенствования.

Материалы и методы исследования

Опираясь на данные о работе существующих в настоящее время наиболее передовых систем автоматического регулирования турбин, произведём сравнение их важнейших характеристик. Также рассмотрим особенности организации современных систем регулирования и покажем резервы для дальнейшего улучшения их параметров.

В современных системах регулирования турбоагрегатов управляющие воздействия на регулирующие органы турбоустановки, как и прежде, создаются гидравлическими или пневматическими устройствами, так как электромагнитный привод клапана не может создать усилий, достаточных для перемещения клапанов турбин с высокой скоростью. Часто устройство регулирования и управления представляет из себя единый блок: электрогидравлический или электропневматический.

Кроме известных зарубежных фирм, занимающихся проектированием и изготовлением электрогидравлических систем регулирования (например, немецкая фирма Voith Turbo), такие фирмы появились в последнее время и в России.

Приведём несколько примеров замены старых систем регулирования на новые, электрогидравлические.

К 2005 г. компания «Институт Радиоэлектронных Систем» (Екатеринбург) разработала электрическую часть системы автоматического регулирования (ЭЧСАР) для замены гидравлической системы регу-

лирования паровой турбины Т-100/120-130 турбогенератора № 6 Курганской ТЭЦ [2].

Произведём сравнение характеристик систем регулирования старого и нового типа (таблица). Как видно из таблицы, качество работы новой системы регулирования намного выше. В частности, существенно увеличилось быстродействие, точность измерения параметров датчиками и точность регулирования частоты вращения ротора, мощности турбоустановки и температуры на входе в турбину.

В состав ЭЧСАР входят два шкафа управления, с размещёнными в них бесперебойными блоками питания, микропроцессорами, а также пульт управления (ПУ) с использованием компьютера. На базе микропроцессорной техники создано следующее оборудование: основной контроллер, осуществляющий заданные законы регулирования параметров турбины, платы сбора технологической информации с датчиков температуры, давления, частоты вращения ротора и др., электронные платы, осуществляющие управление исполнительными органами турбоустановки, автоматические устройства, переключающие сигналы управления сервомотором (гидравлическим двигателем) низкого давления из автоматического режима в ручной режим управления оператором; автоматическое устройство останова турбины при превышении максимальной частоты вращения ротора (так называемый, автомат безопасности); усилители электросигналов. Система использует шесть датчиков частоты вращения ротора, что обеспечивает высокий уровень резервирования с целью повышения надёжности срабатывания и увеличения точности измерения.

Микроконтроллерная система управления всеми установками электростанции, в том числе и турбины, происходит дистанционно с помощью организации разветвлённой сети передачи данных с высокой пропускной способностью на базе современного программного обеспечения.

Сравнение электрогидравлической и гидромеханической САР

Параметр	Электрогидравлическая САР	Гидромеханическая САР
Время срабатывания автомата безопасности, не более, мс	800	1200
Время измерения частоты, мс	0,7	30
Точность измерения частоты, об/мин.	±0,1	±15
Точность регулятора частоты вращения, об/мин.	±1	±10
Точность регулятора мощности, МВт	±0,2	±2
Точность регулятора температуры, °С	±1	отсутствует
Точность регулятора температуры с качественным сервомотором НД, °С	±0,5	отсутствует

Ещё одним примером исполнения программы правительства по развитию энергетической отрасли явилась произведённая в ОАО «Генерирующая компания» к 2005 г. реконструкция систем автоматического регулирования турбин с внедрением на электростанциях электрогидравлической системы автоматического регулирования (ЭГСР), созданной, так же как и в «Институте Радиоэлектронных Систем», на основе современной микропроцессорной техники [3]. Предпосылкой и движущей силой данной реконструкции явилась возрастающая потребность российского энергетического рынка в тщательном выдерживании графика электрических нагрузок, что диктуется ужесточением требований к надёжности работы энергетической системы и обеспечения промышленных и бытовых потребителей электроэнергией.

В ходе реконструкции были достигнуты следующие результаты, которые возможно было получить лишь при внедрении электро-электронных систем управления и регулирования турбоагрегатов:

- 1) повышение экономичности процесса получения энергии на электростанциях;
- 2) улучшение технических и эксплуатационных характеристик систем регулирования, турбоагрегатов, электростанций и энергосистем;
- 3) значительное увеличение срока службы систем автоматического регулирования турбин и повышение их надёжности.

Для реконструкции систем автоматического регулирования турбин, блок регулирования приходилось извлекать из блоков передних подшипников. После этого монтировались системы, характерные для нового класса системы регулирования: механизмы приведения систем защиты в рабочее положение, электродатчики частоты вращения, датчики и сигнализаторы давлений и температур, установленные в проточной части турбин и в патрубках, электрогидравлические преобразователи сервомоторов частей высокого и низкого давления.

Каждый из сервомоторов системы регулирования стал управляться отдельным электрогидравлическим преобразователем; устройства гидравлической обратной связи, которые были установлены вблизи сервомоторов, были заменены электронными датчиками положения штоков сервомоторов.

Благодаря применению новой системы регулирования удалось исключить сложные и потому ненадёжные гидравлические узлы: блок суммирующих золотников, ограничитель мощности турбины, золотники, их буксы и траверсы обратной связи сервомоторов привода регулируемых клапанов

и поворотных диафрагм. Теперь функции исключённых систем выполняет единая электронная часть САР, в которой программным путём заданы сложные законы автономного связанного регулирования частоты вращения, давления, температуры и мощности. В той же электронной системе реализованы функции защитных устройств. Надёжность электронной системы удалось существенно повысить по сравнению с традиционными гидравлическими, с помощью включения в схему значительного количества резервных элементов, реализации программной самодиагностики и возможности наглядных средств наблюдения за работой системы регулирования по мнемосхемам. Управление турбиной производится с автоматизированного рабочего места (АРМ), где реализована программа верхнего уровня системы со сбором информации и функциями управления. Теперь операторы турбоустановки могут видеть показания всех датчиков в реальном времени на экранах компьютеров, а также имеют возможность извлекать информацию из системы за любой период работы турбоагрегата.

В результате коренной модернизации также существенно упростилась конструкция оставшейся пока механогидравлической части системы регулирования.

Проведенные испытания новой системы регулирования на различных режимах: на холостом ходе, под нагрузкой, а также испытания при моментальном сбросе нагрузки показали замечательные результаты:

1. Нечувствительность регулирования числа оборотов ротора на всех режимах работы турбоустановки не превышает 0,1% (что на порядок ниже, чем в традиционных системах регулирования).

2. Степень неравномерности регулирования скорости 4,5% (как правило, это близкое к оптимальному значению для большинства энергоагрегатов).

3. Поддержание оборотов на холостом ходу с точностью ± 1 об/мин, чего было практически невозможно добиться традиционными средствами.

Ещё одна российская компания, «Комтек-Энергосервис», также занимается работами по реконструкции систем автоматического регулирования паровых турбин с заменой чисто гидравлической системы (ГСАП) на электрогидравлическую (ЭГСАП) [4]. При реконструкции используются серийные промышленные контроллеры, применяемые и в других отраслях промышленности, полностью соответствующих не только нормативам, принятым в России, но также и международным стандартам.

Обычно переоборудование турбин электростанций осуществляется в несколько этапов:

1. Механогидравлическая система защиты ротора турбины от разгона заменяется на электромеханическую систему защиты. При этом вместо гидравлического устанавливается электронный автомат безопасности, в соответствии с этим полностью переоборудуются линии защиты, управляющие стопорными и другими защитными клапанами.

2. Все гидравлические регуляторы заменяются электрическими, устанавливаются электронные блоки защиты, электрогидравлические преобразователи для управления золотниками и сервомоторами регулирующих клапанов в частях высокого давления турбин и поворотными диафрагмами в частях среднего и низкого давления.

3. Вблизи от турбоустановки устанавливаются шкафы управления, в которых расположены платы с микроконтроллерами, на щите управления располагается рабочая станция или выносная панель управления для оператора.

4. Необходимой составной частью электронной системы регулирования и управления является сервер архивирования информации.

5. Во всех необходимых точках в прочной части турбины, в патрубках, на корпусах и на других элементах турбомашин устанавливаются датчики технологических параметров (давления, температуры, числа оборотов, расхода и др.).

Компания «Комтек-Энергосервис» получила следующие результаты после модернизации существующих систем регулирования: существенное повышение точности регулирования (удалось добиться максимальной степени нечувствительности по частоте вращения не более 0,02%), расширение функциональных возможностей управления турбоагрегатом, уменьшение затрат времени и труда на обслуживание и ремонт САР и обеспечение возможности участия энергоблока в первичном регулировании частоты и мощности в энергосистеме с качеством, соответствующим требованиям УСТЕ и РАО «ЕЭС России».

К настоящему времени компания «Комтек-Энергосервис» выполнила работы по реконструкции систем регулирования и защиты турбин ВПТ-25 (Иркутская ТЭЦ-11, г. Усолье-Сибирское, РФ) с заменой стопорных и регулирующих клапанов, АКВ-18 (Металлургический комбинат «Mittal Steel» г. Зеница, Босния и Герцеговина), двух турбин ПЦПЛ-700 и двух турбин ПЦПЛ-1000 (ОАО «Невинномысский Азот», г. Невинно-

мыск, РФ), К-15-41-1 (ОАО «Минудобрения», г. Россось, РФ), К-200-130 (Молдавская ГРЭС, г. Днестровск, Приднестровье). Кроме того, все паровые турбины, выпускаемые «Комтек-Энергосервис», теперь снабжаются исключительно электрогидравлическими системами автоматического регулирования.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа данных по разработанным и установленным на электростанциях в последнее время системам регулирования турбоагрегатов с электронной управляющей частью, наглядно показано преимущество принципиально новых схем и устройств.

Несомненно, прогресс в этой отрасли связан в первую очередь с развитием электроники и, в частности, микропроцессорной техники, а также с повышением точности при проектировании и изготовлении силовых устройств. В данном случае на помощь разработчикам приходят комплексы трёхмерного моделирования и оптимального проектирования систем управления.

Спроектированные с использованием последних разработок в области электротехники и применённые на практике электрические системы автоматического регулирования турбоустановок предоставляют несомненные преимущества для заказчиков электротехнического оборудования.

Вместе с тем, для дальнейшего прогресса в данной отрасли, авторы предполагают рассмотреть следующие дополнительные вопросы:

1) исследование возможности использования элементов искусственного интеллекта, в частности, нейросетевых алгоритмов для более рационального перераспределения мощности между электростанциями и отдельными турбоагрегатами в пределах энергосистемы, с целью снижения расходов на выработку и транспортировку электроэнергии потребителям;

2) дальнейшее повышение скорости обработки информации на серверах систем регулирования электростанций, что связано с применением более совершенной компьютерной техники;

3) совершенствование устройств, формирующих силовое управляющее воздействие на исполнительные органы турбоустановки. Для их привода также рекомендуется использовать электрические приводы, избавляясь от использования традиционных электродвигателей. За основу такого устройства может быть взят, например, электромагнитный привод газораспре-

делительного клапана поршневого двигателя [5, 6]. Электромагнитные приводы клапанов в настоящее время также активно разрабатываются в Европе и в США;

4) замена универсального программного обеспечения для создания программ управления микроконтроллерами на строго специальное, разработанное конкретно для систем автоматического регулирования и защиты, с использованием опыта эксплуатации именно этих систем. Это программное обеспечение должно объединять программы-архиваторы данных, средства создания программ для микроконтроллеров, скоростной передачи и обработки информации.

Заключение

Таким образом, цель данной работы была выполнена – произведён анализ наиболее современных и даже, возможно, революционных принципов организации систем автоматического регулирования на электростанциях. Выработан ряд рекомендаций по дальнейшему совершенствованию электрических и электронных систем регулирования.

Список литературы

1. Ушаков В.Я. Электрические системы и сети: учеб. пособие для СПО. М.: Издательство Юрайт, 2018. 446 с.
2. Электрическая часть системы регулирования паровой турбины [Электронный ресурс]. URL: <https://shop.irsural.ru/elec/energo/echsar> (дата обращения: 04.12.2018).
3. Электрогидравлическая система регулирования турбин (ЭГСП) [Электронный ресурс]. URL: http://www.tatgencom.ru/images/gencom/expo-2011/download/automation_03.pdf (дата обращения: 14.11.2018).
4. Реконструкция систем автоматического регулирования турбин с переводом на электрогидравлическую [Электронный ресурс]. URL: <http://www.comtec-energосervice.ru/products/rekonstrukcii-parovih-turbin/rekonstrukciya-sistem-avtomaticheskogo-regulirovaniya-turbin-s-perevodom-na-elektrogidravlicheskuyu> (дата обращения: 04.12.2018).
5. Соснин Д.А., Митин М.В. Электромагнитный привод газораспределительного клапана поршневого двигателя // Патент РФ № 2350762. Патентообладатель «Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет)». Заявка: 2007116324/06, 02.05.2007. Дата начала отсчёта срока действия патента: 02.05.2007. Дата публикации заявки: 10.11.2008. Опубликовано: 27.03.2009 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/115/2350762/patent-2350762.pdf> (дата обращения: 04.12.2018).
6. Соснин Д.А., Митин М.В. Электронный привод акселератора современного автомобиля. М.: НТЖ «Ремонт и сервис электронной техники». 2008. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.remserv.ru/cgi/magazine/issue/123/auto/2420> (дата обращения: 04.12.2018).

УДК 004.912

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВТОРСТВА ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ ПОДХОДА N-ГРАММ

¹Леонова А.В., ²Леонова И.В.

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, e-mail: aniliar@mail.ru;

²Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова, Краснодар, e-mail: irileonova@mail.ru

Статья знакомит с исследованием в области автоматизации определения авторства текстов. Выделяются и описываются характерные особенности методов и подходов решения задачи атрибуции. Эти методы делятся на два принципиально разных подхода: экспертный и формальный. При реализации экспертного подхода исследование текста осуществляется экспертом-лингвистом и во многом зависит от информации об авторе, которая содержится в самом тексте, а также от уровня квалификации специалиста. Поэтому он носит субъективный характер. При формальном подходе к решению задачи атрибуции используется статистический анализ и машинное обучение. В связи с этим формальный подход имеет объективный характер, что обуславливает актуальность его развития на базе современных информационных технологий. Актуальность статьи состоит в предложенном методе решения современной задачи определения авторства текстов, в котором особое внимание акцентируется на изучении подхода N-грамм. Цель исследования заключается в проведении детального анализа сценария полной кластеризации авторства. Методом исследования стал подход N-грамм, который имеет большую область применения: от теоретической математики до музыки. Используемый подход является простым, эффективным, не требующим сложной предварительной обработки входного текста и допускающим орфографические, грамматические ошибки. Автором выбрано восемь текстов на русском языке, которые подготовлены к использованию и преобразованы согласно условиям поставленной задачи, а также представлен алгоритм и анонсирована компьютерная программа, позволяющая автоматизировать решение задачи атрибуции текстов. Проведенное исследование позволило разработать авторские профили на основе N-грамм, создать коллекцию известных писателей, автоматизировать процедуру определения авторства текстов. Апробация разработанной компьютерной программы атрибуции текстов показала положительный результат.

Ключевые слова: алгоритм, компьютерная программа, кластеризация, классификация, подход N-грамм, задача атрибуции

DETERMINATION OF THE N-GRAM-BASED TEXT AUTHORSHIP

¹Leonova A.V., ²Leonova I.V.

¹Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, e-mail: aniliar@mail.ru;

²Krasnodar Air Force Academy named after the Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, e-mail: irileonova@mail.ru

The article introduces the research in the field of automation of determining the authorship of texts. Allocated and describes the characteristics of the methods and approaches of solving the problem of attribution. These methods are divided into two fundamentally different approaches: expert and formal. In the implementation of the expert approach, the study of the text is carried out by an expert linguist and largely depends on the information about the author, which is contained in the text itself, as well as on the level of qualification of the specialist. Therefore, it is subjective. The formal approach to the attribution problem uses statistical analysis and machine learning. In this regard, the formal approach is objective, which determines the relevance of its development on the basis of modern information technologies. The relevance of the article is in the proposed method of solving the modern problem of determining the authorship of texts, which focuses on the study of the approach of N-grams. The purpose of the study is to conduct a detailed analysis of the scenario of full clustering of authorship. The method of research was the approach of N-grams, which has a large field of application: from theoretical mathematics to music. The approach used is simple, effective, does not require complex pre-processing of the input text and allows spelling, grammatical errors. The author has chosen eight texts in Russian, which are prepared for use and converted according to the conditions of the task, as well as the algorithm and announced a computer program that allows you to automate the solution of the problem of attribution of texts. The conducted research allowed to develop author's profiles on the basis of N-grams, to create a collection of famous writers, to automate the procedure of determining the authorship of texts. Testing of the developed computer program of text attribution showed a positive result.

Keywords: algorithm, computer program, clusterization, classification, N-gram approach, attribution problem

Существует несколько методов установления авторства текстов. Они делятся на два принципиально разных подхода: экспертный и формальный. При реализации экспертного подхода исследование текста осуществляется экспертом-лингвистом, который изучает прямые указания авторства (если таковые есть в тексте), к кото-

рым относятся собственное имя, прозвище, псевдоним, геральдика, генеалогия. Если в тексте нет прямых указаний на автора, то в этом случае исследуют косвенные данные, такие как общепринятые обращения к лицам, принадлежащим к разным социальным слоям, историю государственных учреждений, государственные и церковные награды

(данные фалеристики), печати различных учреждений (сведения сфагистики) [1].

Большой вклад в развитие теории авторского стиля внес В.В. Виноградов, изучая особенности использования фразеологических оборотов, частоты применения терминов, особых слов и выражений в процессе написания текстов. Согласно этой теории авторство устанавливалось в первую очередь на основе фразеологических и лексических особенностей, а во вторую – на грамматических [2]. Однако этот метод не вполне решает задачу атрибуции, так как автор текстового источника мог подражать другому писателю, или фразеологические и лексические признаки были присущи группе писателей одного жанра, или текст содержал большое количество цитат, что лишало его индивидуальности.

Формальный подход при решении задачи атрибуции базируется на методах идентификации, которые в свою очередь делятся на две большие группы: статистический анализ и машинное обучение. Статистический анализ подразделяется на одномерный, который включает в себя критерии Стьюдента, хи-квадрат Пирсона, двусторонний критерий Фишера, QSUM и многомерный, представленный критериями Колмогорова – Смирнова, хи-квадратом Пирсона для распределений, линейным дискретным анализом, методом главных компонент, энтропийным подходом, марковскими цепями, сложностным подходом, задачами кластеризации и классификации [3].

Машинное обучение базируется на таких методах, как нейронные сети, машина опорных векторов, метод k ближайших соседей, генетические алгоритмы, деревья решений, байесовский классификатор. Развитие методов идентификации атрибуции текстов имеет важное значение, так как они позволяют упростить процесс определения автора текстов, который является сложным, кропотливым и времязатратным. Развитие информационных технологий позволило сократить времязатраты на процесс анализа текста и его последующей атрибуции.

Стремительный рост информации, представленной и передаваемой в цифровом виде, формирует интерес к задаче определения авторства текстов. Задача атрибуции (установления авторства текстов) встречается в различных областях и представляет интерес для филологов, литературоведов, юристов, криминалистов, историков. Поэтому возникла потребность в создании формальных методов ее решения. Экспертный анализ авторского стиля является трудоемким процессом, поэтому в данной работе рассматривается подход, позволяю-

щий автоматизировать анализ информации и ее атрибуции.

В данной работе проводится детальный анализ сценария полной кластеризации авторства, метода N -грамм, с последующим определением k различных авторов в коллекции ровно к одной группе кластера.

Материалы и методы исследования

В настоящее время анализ авторского стиля возможен с помощью задач кластеризации и классификации текстов по различным категориям, проверки на плагиат, идентификации авторов. Для решения задач кластеризации большую популярность приобретают методы, основанные на моделях сжатия текстов, а также на обучающихся системах. К обучающимся системам относятся методы нейронных сетей, деревьев решений, машин опорных векторов [3].

N -граммы могут применяться в широкой области наук: теоретической математике, биологии, картографии, музыке, генетике, а также для кластеризации серии спутниковых снимков Земли из космоса, в компьютерном сжатии, для индексирования данных в поисковых системах [4].

Этот подход является относительно простым, но эффективным, допускающим орфографические и грамматические ошибки и не требующим сложной предварительной обработки входного текста. Иногда необходима только базовая фильтрация: удаление пробелов и / или знаков препинания.

Для решения задачи кластеризации авторских текстов с применением подхода N -грамм возьмем N равным 4 и рассмотрим распределение комбинаций из этого числа букв. Проанализируем результат на подготовленном наборе данных. В коллекции должно быть задано некоторое количество (k) различных авторов и каждый документ должен быть соотнесен ровно к одной группе. Для идентификации авторского текста предполагается, что текст отображает индивидуальный стилизованный профиль автора. Пример четырехграммового профиля представлен на рисунке, где N возьмем равным 4.

"каратооркара"

ai:	fi:
кара	2/9
арат	1/9
рато	1/9
атоо	1/9
тоор	1/9
оорк	1/9
орка	1/9
ркар	1/9

Четырехграмм

Профиль D текста определялся как множество пар $\{(a_1, f_1), (a_2, f_2), (a_3, f_3), \dots\}$, где f_i -нормированная частота встречаемости N-грамм a_i в тексте. Кроме того, тексты, авторство которых определяется четко, образуют профиль своего автора все вместе. Для сопоставления текстов друг с другом требуется числовая характеристика, которая отображала бы связь между произведениями одного и того же автора. В данной работе рассмотрена метрика L_1 , которая вычисляется по формуле

$$d_1 = \|p - q\|_1 = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i|(1),$$

где $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ и $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ – векторы.

Таким образом, следующий шаг исследования заключался в определении расстояния между текстовым профилем и профилем любого автора. Автор, расстояние

к профилю которого является наименьшим, считался создателем данного текста.

Ниже приведен алгоритм классификации текстов, основанный на подходе N-грамм [5–7].

Алгоритм

T – набор неопознанных текстов
 t – набор текстов известного авторства
 A – набор авторов
 tr(a) возвращает все тексты автора a из множества t

for a∈A **do**
 построение авторского профиля Da, где Da = D конкатенация всех текстов в tr(a)
End for

for x∈T **do**
 построение профиля Dx
 a* ← argmin_a (distance(Da, Dx))
end for

Набор данных, используемых в исследовании

Автор	Произведения	Минимальное количество символов	Максимальное количество символов
Кир Булычев	– Чудеса в Гусяре – Вирусы не отстирываются – Монументы Марса – Театр Теней – 3 – Город без памяти (Алиса Селезнева)	332 069	540 930
Аркадий и Борис Стругацкие	– Малыш – Пикник на обочине – Трудно быть богом – Сказка о Тройке – Понедельник начинается в субботу	213 711	310 178
Сергей Лукьяненко	– Ночной дозор – Лорд с планеты Земля – Дневной дозор – Мальчик и тьма – Тринадцатый город	283 485	530 243
Оксана Панкеева	– Распутья. Добрые люди – О пользе проклятий – Поспорить с судьбой – Путь, выбирающий нас – Дороги и сны	424 787	600 851
Александр Тюрин	– Зона посещения – Правда о Николае I – Клетка для буйных – Вооруженное восстание животных – Война и мир Ивана Грозного	231 467	474 814
Наталья Щерба	– Часограмма – Быть ведьмой – Часовой ключ – Двуликий мир – Часовое сердце	419 140	515 824
Сергей Щеглов	– Часовой Армагеддона – Разводящий апокалипсиса – Начальник судного дня – Банной горы хозяин – Дипломат особого назначения	446 436	598 538

Представленный подход определялся следующими параметрами: N – длина комбинации символов; L – количество наиболее встречаемых N -грамм, T/t – соотношение обучающих к тестовым текстам авторов, $Size$ – длина текста – количество символов без учета пробелов, знаков препинаний.

Для этого подхода наиболее существенными являлись параметры N и L , в то время как T/t и $Size$ носили более общий характер оценки алгоритма.

В данной работе взяты следующие данные: $N = 4$, $L = 700$, $T/t = 4/1$, $180000 < Size < 590000$ и подготовлен набор данных, который включал тексты на русском языке восьми писателей: Кира Булычева, братьев Аркадия и Бориса Стругацких, Сергея Лукьяненко, Оксаны Панкеевой, Александра Тюриня, Натальи Щерба, Сергея Щеглова. И использованные данные представлены в таблице.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе проведенного исследования выбраны тексты советских, российских писателей и преобразованы под условия задачи установления авторства. Для этого все символы, кроме буквенных, удалены, а все буквенные – переведены в нижний регистр. На втором этапе исследования создавался профиль авторов посредством формирования множество пар N -грамм и частоты их встречаемости в документах (a_i , f_i). Из полностью построенных профилей авторов Da_i выбиралось L количество наиболее встречаемых N -грамм для сравнения с профилем неизвестного автора Dx , построенного по такому же принципу. После чего проводилось нормирование значения частоты встречаемости N -грамм f_i . Для этого вычислялась сумма ненормированных f_i и выполнялась нормировка по следующей формуле:

$$f_{i_norm} = \frac{f_{i_non-norm}}{\sum_{i=1}^L f_{i_non-norm}},$$

где $f_{i_non-norm}$ – ненормированные величины частотности N -грамма a_i , L – количество наиболее встречаемых N -грамм. Затем необходимо было произвести оценку расстояния между двумя профилями с помощью суммы «расстояний» по каждому N -грамму профиля Dx . Если в профиле Da не содержалось N -грамма из Dx , то значение частотности f_i принималось равным нулю. Идентификация текста наступала при условии наименьшего расстояния между профилями Da и Dx .

Разработанный алгоритм и коллекция текстовых профилей авторов положены в основу компьютерной программы, напи-

санной на языке $C\#$, которая позволила автоматически проводить экспертный анализ текстов и определять создателя неизвестного текста. На разработанном наборе данных результаты работы алгоритма с оценкой $L1$ нормы показало хороший результат точности 83–98%, которая рассчитана как процент правильно определенных авторов. При атрибуции текста в процессе построения профиля автора на основе всего текста, а не фрагмента показатель точности выше. Полученный высокий результат точности, возможно, связан с несбалансированностью тестовой коллекции по длине, которая содержит небольшое количество авторов и длинные тексты, и с тем, что обучение проводится на большом количестве документов и позволяет создавать отличные (контрастные/яркие) авторские профили.

Выводы

Проведенное исследование позволило разработать авторские профили на основе N -грамм, создав коллекцию известных авторов, написать компьютерную программу, которая автоматизирует процедуру определения авторства текстов. Апробация разработанной компьютерной программы определения авторства показала положительный результат на таком наборе данных: $N = 4$; $L = 700$; $180000 < Size < 590000$. С помощью метрики $L1$ на несбалансированных наборах данных, которые содержали достаточно длинные тексты, точность определения авторства составила 83–98%. Проведенное исследование показало, что $L1$ норма может быть успешно использована для решения задачи атрибуции текстов на основе подхода N -грамм.

Список литературы

1. Лингвистическая безопасность речевой коммуникации // ГЛЭДИС. 2004 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rusexpert.ru/magazine/034.htm> (дата обращения: 22.11.2018).
2. Виноградов В.В. Лингвистические основы научной критики текста // Вопросы языкознания. 1958. № 2. С. 3.
3. Батура Т.В. Формальные методы определения авторства текстов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2012. Т. 10. вып. 4. С. 81–94.
4. Diurdeva P., Mikhailova E., Shalymov D. Writer identification based on letter frequency distribution. Open Innovations Association (FRUCT), 2016 19th Conference of. IEEE, 2016. P. 24–30.
5. Stamatatos E.A. Survey of modern authorship attribution methods. Journal of the American Society for information Science and Technology. 2009. Т. 60. № 3. P. 538–556.
6. Борисов Л.А., Орлов Ю.Н., Осминин К.П. Идентификация автора текста по распределению частот буквосочетаний // Препринты Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. 2013. № 27. С. 27–26.
7. Суркова А.С. Идентификация авторства текстов на основе информационных портретов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2014. № 3 (1). С. 145–149.

УДК 004

ОБЗОР МЕТОДОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Мутигуллин А.С., Прасолова Е.А.

*ФГБОУ ВО «Магнитогорский технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск,
e-mail: mutigullin.art9@yandex.ru*

В статье приводится подробный обзор наиболее популярных методологий разработки корпоративных информационных систем. Выбранная тема считается актуальной на сегодняшний день, так как в последнее время интерес к корпоративным информационным системам постоянно растет. Если вчера они притягивали внимание узкого круга руководителей, то сейчас проблемы системной автоматизации разных видов деятельности крупных коммерческих и некоммерческих организаций стали актуальными практически для всех. Охарактеризовано это не только положительным развитием экономики, но и тем, что к настоящему времени предприятия обладают значительным опытом использования программных продуктов различного класса. В статье приводится описание тяжелых и гибких методологий, в результате сравнительного анализа формируется вывод относительно того, что при разработке КИС целесообразно отдавать предпочтение тяжелым методологиям, поскольку в них четко прописаны основные этапы разработки программного обеспечения, а также предусматривается разработка большого количества проектной документации. Гибкие методологии, которые по своей природе более быстрые в силу меньшей формализации процессов разработки программных средств, при этом могут использоваться для настройки и адаптации отдельных модулей КИС.

Ключевые слова: корпоративная информационная система, методология, разработка, гибкие методологии, строгие методологии

REVIEW OF METHODOLOGIES OF DEVELOPMENT OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

Mutigullin A.S., Prasolova E.A.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: mutigullin.art9@yandex.ru

The detailed review of the most popular methodologies of development of corporate information systems is provided in article. The chosen subject is considered relevant today as recently interest in corporate information systems constantly grows. If yesterday they attracted attention of a narrow circle of heads, then now a problem of system automation of different types of activity of large commercial and non-profit organizations, became relevant practically for all. It is characterized not only by positive development of economy, but also the fact that so far the enterprises have considerable experience of use of software products of various class. The description of heavy and flexible methodologies is provided in article, as a result of comparative analysis a conclusion concerning the fact that when developing CIS it is expedient to give preference to heavy methodologies as the main development stages of the software are accurately registered in them is formed and also development of a large number of the project documentation is provided. Flexible methodologies which by the nature faster owing to smaller formalization of processes of development of software, at the same time can be used for control and adaptation of the CIS separate modules.

Keywords: corporate information system, methodology, development, flexible methodologies, rigorous methodologies

На современном этапе развития экономики Российской Федерации отмечается укрупнение коммерческих организаций, рост предприятий крупного бизнеса, автоматизация которых требует разработки сложных корпоративных информационных систем (КИС). КИС – это большие сложные программные системы, состоящие из многих взаимодействующих компонент и обеспечивающие основные (производственные) и вспомогательные бизнес-процессы [1–3]. При разработке такого рода систем возникает целый ряд существенных проблем, связанных с высокой их сложностью [4, 5]. Это, прежде всего, ограниченность ресурсов и часто изменяющиеся требования. У заказчика тоже достаточно много ролей, каждая из которых выдвигает свои требования, смотрит на процесс разра-

ботки корпоративных программных систем со своей точки зрения, имеет собственное мнение, приоритеты и ожидания. Остроту этих проблем призваны сгладить методологии разработки программного обеспечения, которые превращают создание программного продукта в упорядоченный процесс, с помощью которого можно сделать работу программиста более прогнозируемой и эффективной. Под методологией разработки КИС будем понимать «Методология – подход к созданию и сопровождению информационных систем в виде жизненного цикла ИС, представляющий его в виде последовательности стадий, каждая из которых разбита на этапы, и выполняемых на них процессов [6].

Целью исследования является обзор современных методологий разработки про-

граммного обеспечения, а также определение области их применения в процессе разработки КИС. Предполагается рассмотреть как крупные методологии, предназначенные специально для создания корпоративных систем, так и методологии, которые работают в тех условиях, когда крупные методологии оказываются слишком громоздкими. К числу первых методологий мы отнесем Rational Unified Process (RUP) и Microsoft Solutions Framework (MSF). К числу гибких методологий относится все, что касается гибких (Agile) – методологий: это популярная в настоящее время методология Scrum, eXtreme Programming (XP) и Agile [7].

В исследовании использовались преимущественно теоретические методы: изучение литературы по проблеме исследования, сравнительный анализ методологий, обобщение. В качестве материалов исследования выступили научные статьи и книги, посвященные проблеме построения корпоративных информационных систем.

В результате исследования было выявлено, что MSF и RUP характеризуются достаточно жесткими процессами, большим количеством артефактов, большим количеством документации, которая создается на каждом этапе, а также достаточно сложным командным взаимодействием, в ряде случаев это масштабирование команды команд. «Тяжелые» методологии достаточно хорошо подходят для создания КИС, поскольку они продуцируют большое количество артефактов. Мелкие методологии, гибкие, подходят значительно меньше и только в ряде случаев.

В основе методологии RUP лежат процессы, причем следует отметить такие особенности методологии, такие особенности подхода, как архитектурную центричность, а также основу на Use Cases – сценариях использования, и итеративность.

Существуют фазы разработки – четыре крупных периода (inception, elaboration, construction и transaction, или начало, исследование, конструирование и передача). Внутри каждой из этих фаз может существовать некоторое количество итераций по инкрементальной подготовке, последовательному доведению решений и артефактов до того вида, когда они могут быть приняты, в том числе и заказчиками.

При этом на первом этапе дела есть высокоуровневые требования и общая концепция программного продукта, но еще нет детальных спецификаций. На втором этапе происходит архитектурное проектирование. На третьей стадии – конструирование или разработка, где и происходит кодирование,

тестирование и сборка, разработка всей необходимой документации, для того чтобы релиз в начальном варианте мог быть передан заказчику. На четвертой стадии происходит последовательное уточнение, доработка, переработка, сведение и фиксация всей необходимой документации и кода, для того чтобы продукт был полнофункциональным и был готов к передаче заказчику. Так происходит базовый процесс разработки. Поскольку RUP – методология строгая, существуют вполне определенные критерии выхода, как из каждой фазы, так и из каждой итерации. Существуют вполне определенные артефакты и вполне определенные метрики, которые описывают степень их готовности. На первой стадии это основные высокоуровневые требования к системе. На втором этапе – архитектурный проект и, соответственно, диаграммы, которые описывают программный продукт, если на первом этапе это были Use-Case. На третьем этапе – программное решение в виде кода и документации. И на четвертом этапе – полный релиз, готовый к передаче заказчику [1, 7, 8].

Методология MSF основана на гибкой процессной модели и включает в себя командную разработку. Масштабирование, команды команд – это достаточно важные составляющие MSF. Нужно сказать, что MSF поддерживает полный жизненный цикл разработки, т.е. он включает в себя как MSF (Microsoft Solutions Framework), так и MOF (Microsoft Operations Framework), которые объединяют процессы концептуализации, создания, внедрения, сопровождения, расширения, развития программных продуктов.

Прежде всего, важнейшим фокусом этой методологии является ориентация именно на бизнес, требования заказчика. Поэтому первое, что требуется – это партнерство с клиентом. При этом клиент понимается достаточно широко. Это может быть не обязательно конечный заказчик, но это может быть целый ряд людей, которые называются стейкхолдерами, или людей, которые вносят свой капитал в создание и развитие программного продукта. Одной из ценностей методологии является открытая коммуникация. Суть её состоит в том, что на самом деле представление о продукте, особенно на уровне первоначальной идеи, первоначальной концепции с точки зрения разработчика и с точки зрения заказчика, могут весьма существенно отличаться. При этом на стороне разработчика существует порядка 15 и даже более ролей, каждая из которых на самом деле имеет свое видение и свой взгляд на продукт и на программный

проект. Поэтому для того, чтобы разработ-ка продукта, необходимого заказчику, была предсказуема и надежна, нужна открытая коммуникация, нужно постоянное взаимодействие и нужно строить общее видение – vision. Совместное видение – это, таким образом, третий принцип. Четвертый принцип – качество как работа каждого, как ежедневная необходимость создавать некую ценность, т.е. документацию, программный код и т.д., которые будут положены в основу будущего продукта. Еще один важный принцип – быть адаптивным и приспосабливаться к изменениям, за счет чего происходит постоянный мониторинг рисков, общение с заказчиком, и, таким образом, создается ценность, а внедрение делается привычкой. Microsoft основывает свою методологию не просто на разработке продукта и передаче заказчику, но и на внедрении, доводке и сопровождении [9–11].

Сравнительная характеристика строгих методологий разработки корпоративных систем представлена в табл. 1.

Гибкая методология разработки *Scrum* предназначена для адаптивного управления команды разработчиков и создания продуктов в условиях высоких рисков и неопределенностей. Её особенность заключается, прежде всего, в обеспечении адаптивности, в фокусе на команду, управлении командами не только разработки, но и поддержки. Подход Scrum может быть использован для масштабируемых команд, для управления достаточно большими проектами. В этом случае он называется Scrum of Scrums [12].

Scrum, как и любая методология, включает набор практических приемов, методов, средств, технологий для решения задач проектирования и реализации программного обеспечения в адаптивном формате и при наличии гибкой, самоорганизующейся команды. Методология Scrum, как и любая другая гибкая методология, является во многом достаточно неформальной. Команда постоянно находится во взаимодействии, отслеживает свой производственный процесс в ходе кратких устных совещаний, ко-

торые не приводят к созданию большого количества документов. Из всего этого можно сделать вывод, что методология Scrum, как и методологии гибкой разработки в целом, не вполне хорошо предназначены для создания больших корпоративных систем с четкой документацией. Но тем не менее в условиях существенных проектных рисков, в условиях больших неопределенностях, в условиях кризиса, в условиях жесткой экономии по срокам и стоимости эти методологии могут оказаться приемлемыми.

К основным принципам *экстремально-го программирования* как подхода к гибкой разработке программных систем относится, прежде всего, обратная связь. Эта обратная связь поступает как от заказчика, так и от системы, она может поступать и от других разработчиков. Здесь критично время. Если обратная связь, если реакция заказчика получена слишком поздно, разработчики не могут провести грамотное ранжирование требований и начинают отставать от графика разработки [13], поэтому обратная связь хороша вовремя. Контакт с заказчиком должен быть непрерывным, поддерживаться постоянно и даже при том, что итерации, т.е. фрагменты времени, которые необходимы для разработки некоего нового дополнения к программной системе, зачастую возникают еженедельно, разработчики должны поддерживать связь с заказчиком практически непрерывно.

Методология XP подразумевает простоту. Речь идет о том, что программа или ее фрагмент должны быть изначально разработаны настолько просто, включать настолько минимальное количество строк и настолько предельно краткое описание того, что должно быть сделано, в том числе и в комментариях, чтобы можно было с одного взгляда понять, каким образом этот код устроен, даже если какой-то конкретный разработчик в создании его участия и не принимал. Наконец, инкрементное изменение. Это очень важный пункт. Разработка ведется последовательным добавлением новой функциональности.

Таблица 1

Сравнительная характеристика строгих методологий разработки корпоративных систем

RUP	MSF
Подходит для больших и очень больших проектов	Подходит для больших и очень больших проектов
Поддерживает разные модели ЖЦ	Гибкая и масштабируемая методология, построенная на итеративной модели разработки
Базируется на широком использовании UML	Важный аспект подхода – синхронизация и стабилизация
На всех стадиях используются программные метрики	Четко определяются результаты по каждой контрольной точке

Таблица 2

Сравнительная характеристика гибких методологий разработки корпоративных систем

Методологии	Преимущества	Недостатки
Scrum	Простые практики и артефакты менеджмента	Минимальное руководство во всех дисциплинах кроме менеджмента
	Самоуправляемая команда, решающая свои проблемы	
	Эволюционный подход к требованиям и разработке, адаптивное поведение	
	Активное участие клиента	Нет четко определенных проектных документов
	Сосредоточенность, прозрачность	
	Легко сочетается с другими методами	
	Коммуникация, взаимное обучение, общее построение ценностей	
Укрепление команды на ежедневных митингах		
EP	Много полезных и легко усваиваемых техник	Требуется заказчик в команде
	Участие заказчика	Зависимость от устного общения
	Эволюционный подход	Сильная связанность XP практик, они эффективны только в совокупности
	Кодировщики оценивают трудозатраты, расписание следует этим оценкам	Отсутствие стандартного способа описания дизайна
	Важность взаимодействия	Некоторые разработчики не любят парного программирования
	Важность качества	Отсутствие определенных артефактов
	Уточнение требований к системе на основе приемочных тестов от заказчика	Простой дизайн может приводить к отсутствию архитектурной проработки
	Четкие метрики	
	Частые ревизии	
Agile	Гибко отслеживать часто меняющиеся требования к ПО без выхода за рамки бюджета проекта	Может привести к низкому качеству продукта
	Максимально эффективно вносить изменения и новые идеи заказчика в разрабатываемый продукт	Риск никогда не достигнуть завершения проекта
	В короткие сроки внедрить работающий функционал и оптимизировать его в процессе использования	
	Создать поле для постоянного взаимодействия команды разработки и пользователей	Могут возникнуть проблемы с расширяемостью продукта
	Обеспечить постоянный контроль за разработкой и внедрением со стороны заказчика	

Agile несет в себе несколько принципов. Это итерации фиксированной длины – короткая и быстрая эволюционная и итерационная разработка ограничивает по времени все, что только возможно. Два уровня планирования, более крупные релизы и более мелкие итерации. Жесткое соблюдение плана итераций, уточнение требований по мере необходимости, частое и раннее тестирование, т.е. тесты до кода или вместе с кодом. Заказчик работает в команде проекта, происходит непрерывное обучение и адаптация. Это очень гибкий и адаптивный подход, подразумевающий достаточно небольшое количество стандартных артефактов и метрик.

Процессы в Agile двухуровневые, итеративные, адаптивные. Под них можно подо-

гнуть достаточно большое количество процессов и достаточно широкое количество, широкий спектр процессов определяется этим подходом. Количество итераций заранее неизвестно, поэтому работать, скажем, в концепции fixed price, когда представляется целесообразным или возможным указать некую сумму бюджета, в которую мы совершенно точно уложимся, в рамках Agile зачастую очень сложно.

Процессы в Agile в определенной мере гибкие, настраиваемые и очень сильно зависят от того, какого рода команда ведет разработку, какие приоритеты у этой команды, какие ценности она перед собой ставит. Простые практики и инструменты. Все остальное можно уточнить, улучшить, усовершенствовать посредством рефакто-

ринга, если будет признано, в том числе и заказчиком, что действительно эта функциональность необходима. Эмпирический процесс, а не predetermined; его во многом формируют и заказчик, и разработчик, команда разработчиков. Эволюционная и инкрементная поставка, частые и быстрые релизы, команда как сложная адаптивная система, в которую входят менторы, наставники, тренеры, консультанты и другие роли, которые способствуют формированию команды, сплочению команды и работе этой команды как единого адаптивного организма. Ограниченные во времени итерации, при этом никаких изменений внутри итераций не может быть. Инкрементная и эволюционная поставка, постоянное взаимодействие с заказчиком – вот такие приоритеты у этой методологии [13, 7].

Сравнительная характеристика гибких методологий разработки корпоративных систем приводится в табл. 2.

В заключение стоит отметить, что залогом успеха любого проекта, в том числе и корпоративного, является не только сплоченность команды, но и строгое следование стандартам и использование специализированных инструментальных средств. Не существует универсальной методологии, которая сможет решить все проблемы любого заказчика раз и навсегда. Выбор методологии существенным образом определяется характером и масштабом проекта, теми задачами, которые ставит заказчик. Строгие, «тяжелые», методологии пригодны для разработки крупных КИС, в то время как гибкие методологии можно использовать для отдельных модулей КИС, при наличии каких-то сложных обстоятельств: кризисные условия, быстрая смена требований и приоритетов заказчиком, высокие риски проекта. Предполагается, что материалы исследования послужат основанием для дальнейшей работы по выбору методологии проектирования и разработки КИС сети магазинов розничной торговли.

Список литературы

1. Гаврилова И.В. Подходы к проектированию архитектуры корпоративной информационной системы негосударственного пенсионного фонда // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2015. С. 267–268.
2. Гаврилова И.В. Теоретические аспекты развития корпоративных информационных систем // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы 3-й Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. С. 267–268.
3. Чернова Е.В., Гаврилова И.В., Доколин А.С., Романова М.В. Информационные технологии в управлении непрерывностью бизнеса // Научное обозрение. Экономические науки. 2017. № 5. С. 46–50.
4. Ананьин В.И. Формирование архитектуры корпоративной информационной системы путем естественного отбора // Intelligent Enterprise. 2006. № 17 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iemag.ru/articles/detail.php?ID=5232> (дата обращения: 11.12.2018).
5. Гаврилова И.В. Свободное программное обеспечение для управления бизнес-процессами // Теория и практика применения свободного программного обеспечения: сборник трудов участников Всероссийской молодежной конференции с элементами научной школы. Магнитогорск, 2011. С. 144–147.
6. Гаврилова И.В. Разработка приложений : учеб. пособие. М.: ФЛИНТА, 2012. 242 с.
7. Олейник П.П. Корпоративные информационные системы: учебник для вузов. Стандарт третьего поколения. СПб.: Питер, 2012. 176 с.
8. Попова И.В., Субочев А.В. Разработка обучаемой специализированной информационно-поисковой системы // Программные продукты и системы. 2011. № 3. С. 22.
9. Трофимов В.В., Ильина О.П., Трофимова Е.В., Киев В.И., Приходченко А.П. Информационные системы и технологии в экономике и управлении: учебник для академического бакалавриата / Под ред. В.В. Трофимова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2016. 542 с.
10. Нетесова О.Ю. Информационные системы и технологии в экономике: учеб. пособие для вузов, 3-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2017. 146 с.
11. Попова И.В., Зленко И.В., Попова Е.В. Информационная система «Наука в МаГУ»: опыт разработки // Теория и практика применения свободного программного обеспечения: сборник трудов участников Всероссийской молодежной конференции с элементами научной школы. Магнитогорск, 2011. С. 27–32.
12. Рыжко А.Л., Рыбников А.И., Рыжко И.А. Информационные системы управления производственной компанией: учебник для академического бакалавриата. М.: Издательство Юрайт, 2017. 354 с.
13. Гаврилова И.В. Подходы к интеграции автоматизированных информационных систем ФГБОУ ВПО «МаГУ» // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции. 2014. С. 49–52.

УДК 004:656

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Назарова О.Б., Саганенко А.А., Стебелев П.Н.

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск,
e-mail: saganenko1@mail.ru*

Железнодорожный транспорт играет большую роль в надежной, бесперебойной работе любого промышленного предприятия: почти все грузы, ввозимые и вывозимые с предприятия, транспортируются по железной дороге. В последние годы промышленное предприятие активно модернизирует технологические мощности, вводит в эксплуатацию новые агрегаты, комплексы. Вся эта масштабная работа немаловажна без участия железнодорожников. Изменяются технологии производства металла, повышаются требования к качеству его производства, сортаменту, доставке – появляются новые типы вагонов для перевозки длинного и широкого листа, увеличивается парк вагонов, обеспечивающий 100%-ную сохранность качества металла при транспортировке. Одним из основных направлений развития управления железнодорожным транспортом является внедрение и сопровождение автоматизированных систем управления. В статье рассматривается эволюционный процесс автоматизации железнодорожного транспорта. Рассмотрены детально все стадии развития автоматизированных систем и описаны в виде диаграммы расширенной событийной цепочки процессов «eEPC», а также с помощью модели «Диаграмма типов информационных систем» ASTD. Представлен перечень информационных систем, разработанный специалистами группы АСУ «Транспорт». Обоснован выбор той или иной методологии проектирования, а также представлена краткая информация о диаграмме расширенной событийной цепочки процессов «eEPC» и диаграмма типов информационных систем «ASTD». Эволюция развития представлена разделена по годам, для более комфортного прочтения.

Ключевые слова: моделирование, автоматизация, эволюция, транспорт, автоматизированное рабочее место, железная дорога

SIMULATION OF THE EVOLUTIONARY PROCESS OF AUTOMATION OF RAILWAY TRANSPORT OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

Nazarova O.B., Saganenko A.A., Stebelev P.N.

Magnitogorsk State Technical University G.I. Nosov, Magnitogorsk, e-mail: saganenko1@mail.ru

Railway transport plays an important role in the reliable, smooth operation of any industrial enterprise: almost all goods imported and exported from the enterprise are transported by rail. In recent years, the industrial enterprise has been actively upgrading its technological capacities, putting into operation new units and complexes. All this large-scale work is unthinkable without the participation of railway workers. The technologies of metal production are changing, the requirements for the quality of its production, assortment, delivery are increasing – new types of cars for the transportation of long and wide sheets appear, the fleet of cars increases, ensuring 100% safety of the quality of metal during transportation. One of the main directions of development of railway transport management is the introduction and maintenance of automated control systems. The article deals with the evolutionary process of railway transport automation. All stages of development of automated systems are considered in detail and described in the form of a diagram of the extended event chain of «EERS» processes, as well as using the model «chart of types of information systems» ASTD. The list of information systems developed by experts of the group of ACS «Transport» is presented. The choice of a particular design methodology is justified, as well as a brief information about the diagram of the extended event chain of «EERS» processes and the diagram of the types of information systems «ASTD» is presented. The evolution of development is divided by years, for a more comfortable reading.

Keywords: modeling, automation, evolution, transport, automated workplace, railway

Управление железнодорожного транспорта (УЖДТ) Магнитогорского металлургического комбината (ПАО ММК) является одним из крупнейших из числа аналогичных в отрасли и в России.

Задача, стоящая перед железнодорожниками комбината – обеспечить своевременными грузоперевозками производство и цеха комбината. История Управления логистики, ранее железнодорожного цеха, началась в 1932 г., когда железнодорожное хозяйство было выделено из состава «Магнитостроя» в самостоятельное подразделение. Развивался комбинат, а вместе с ним железнодорожный транспорт и процесс автоматизации.

Одним из основных направлений дальнейшего развития УЖДТ является внедре-

ние и сопровождение автоматизированных систем управления на железнодорожном транспорте [1].

Цель исследования: отражение эволюционного процесса автоматизации железнодорожного транспорта промышленного предприятия с использованием средств моделирования.

Материалы и методы исследования

Основным методом исследования является моделирование эволюционного процесса автоматизации железнодорожного транспорта промышленного предприятия с использованием нотаций методологии ARIS (Architecture of Integrated Information Systems): событийно-функциональная диа-

грамма eEPC (Event-Driven Process Chain) и диаграмма типов информационных систем ASTD (Application system type diagram).

Результаты исследования и их обсуждение

История развития автоматизированных систем (АС) на железнодорожном транспорте берёт своё начало с 1979 г. Эволюция процесса автоматизации АСУ ЖДТ представлена в виде модели расширенной событийной цепочки процессов в нотации eEPC на рис. 1. Модель eEPC позволяет наглядно отразить последовательность конкретных действий, управляемых событиями.

Моделирование в нотации eEPC представляет собой описание последовательности функциональных шагов (действий) в рамках одного бизнес-процесса, которые выполняются сотрудниками (отделами, департаментами), и позволяет осуществлять связь между организационной и функциональной моделями, поэтому эта нотация является идеальной для описания сценариев и процедур.

Рассмотрим более подробно этапы эволюции процесса автоматизации систем на железнодорожном транспорте [2].

В 1979–1983 гг. было создано АСУ ЖДТ, основным направлением работы которого стала автоматизация задач железнодорожного транспорта. В этот период были установлены и введены в эксплуатацию телетайпы на станции «Передача» и ИВЦ ЖДТ и параллельно осуществлялась установка и ввод в эксплуатацию вычислительной управляющей системы М-6000 в УЖДТ.

В 1984–1987 гг. произошла замена вычислительной управляющей системы М-6000 на ЭВМ СМ-2. Перешли от ручного ведения сменного рапорта к электронному.

В 1988–1992 гг. началось внедрение персональных ЭВМ и «АРМа приёмосдатчика внутризаводских станций» на железнодорожных станциях. АРМы работали локально, обмен данными между станциями не проводился. Установка программного обеспечения происходила посредством дискет. Основной функцией АРМа приёмосдатчика являлось оформление грузовых операций и формирование перевозочных документов. Обучение персонала проходило на рабочих местах приёмосдатчиков, для чего был набран дополнительный штат операторов ЭВМ в АСУ ЖДТ.

В 1993–1998 гг. был разработан и внедрен коммуникационный сервер для обслуживания железнодорожных станций. Выполнена доработка АРМа приёмосдатчика железнодорожных станции для автоматической передачи данных в ИВЦ АСУ ЖДТ.

В 1999–2005 гг. проведено внедрение клиент-серверной архитектуры АСУ ЖДТ. Осуществлён переход на оперативный ввод информации с железнодорожных станций. В рамках «АРМа приёмосдатчика внутризаводских станций» были добавлены функции прибытия и отправления. Все рабочие места приёмосдатчиков были объединены в единую сеть. Сопровождение и обучение вновь поступивших приёмосдатчиков в результате использования приложения «Remote Control» стало происходить удалённо.

В 2005–2007 гг. началась эпоха интеграции. «АРМ приёмосдатчика внутризаводских станций» был интегрирован с цеховой системой АСУ Отгрузки. Отгрузка готовой продукции стала возможна после передачи информации о вагонах из системы АСУ ЖДТ в цеховую систему, для этого был разработан интерфейс по передаче информации в обе стороны.

В 2012–2014 гг. «АРМ приёмосдатчика внутризаводских станций» был переписан под WEB, в результате появилась более совершенная и удобная в сопровождении версия АРМа приёмосдатчика внутризаводских станций [3].

В 2015–2018 гг. началась интеграция «АРМ приёмосдатчика внутризаводских станций» с системой мониторинга транспорта и с автоматизированной системой диспетчерского контроля (АСДК). Был создан в УЖДТ центр управления перевозками. В настоящее время АСУ ЖДТ интегрирована в корпоративную сеть ПАО «ММК». Основой системы является Центр управления перевозками, который обеспечивает информационную поддержку оперативного управления перевозочным процессом. Работа центра стала возможной только благодаря оперативной информации о состоянии и нахождении вагонов и локомотивов на территории ПАО ММК. Одним из источников этой информации является «АРМ приёмосдатчика внутризаводских станций». Также в этот период был внедрен электронный документооборот по оформлению перевозочных документов на вагоны. Электронный архив в базе АСУ ЖДТ позволяет в короткие сроки найти необходимый документ. Перечень информационных систем (ИС) АСУ Транспорт представлен на диаграмме типов ИС (ASTD – Application system type diagram). Диаграмма типа прикладной системы предназначена для моделирования прикладных информационных систем, используемых в организации. На данной модели показываются типы и модули информационных систем, программные продукты, взаимосвязь между ними и бизнес-процессами организации, которые они автоматизируют.

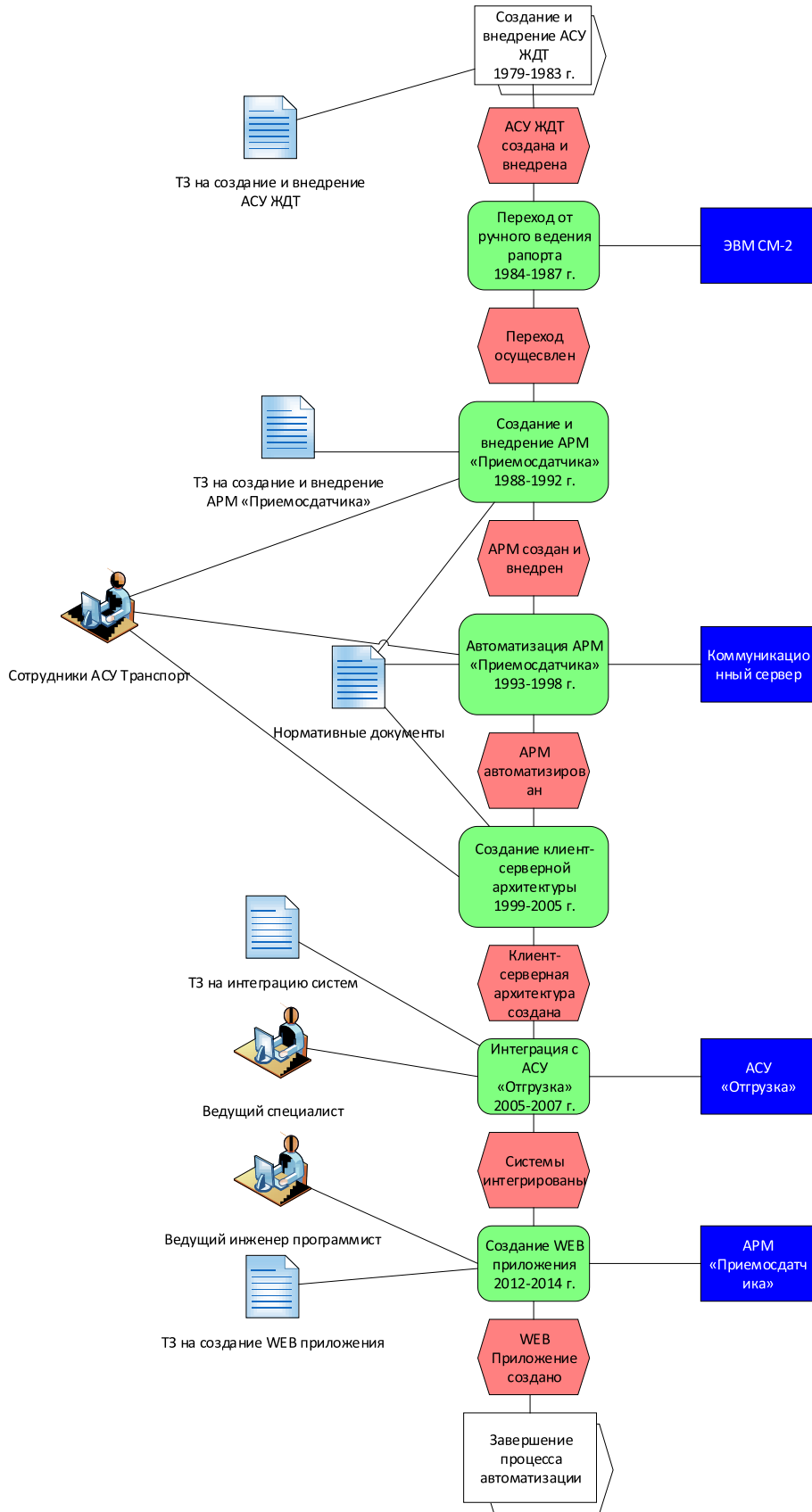


Рис. 1. Диаграмма расширенной событийной цепочки процессов eEPC «Эволюция процесса автоматизации АСУ ЖДТ»

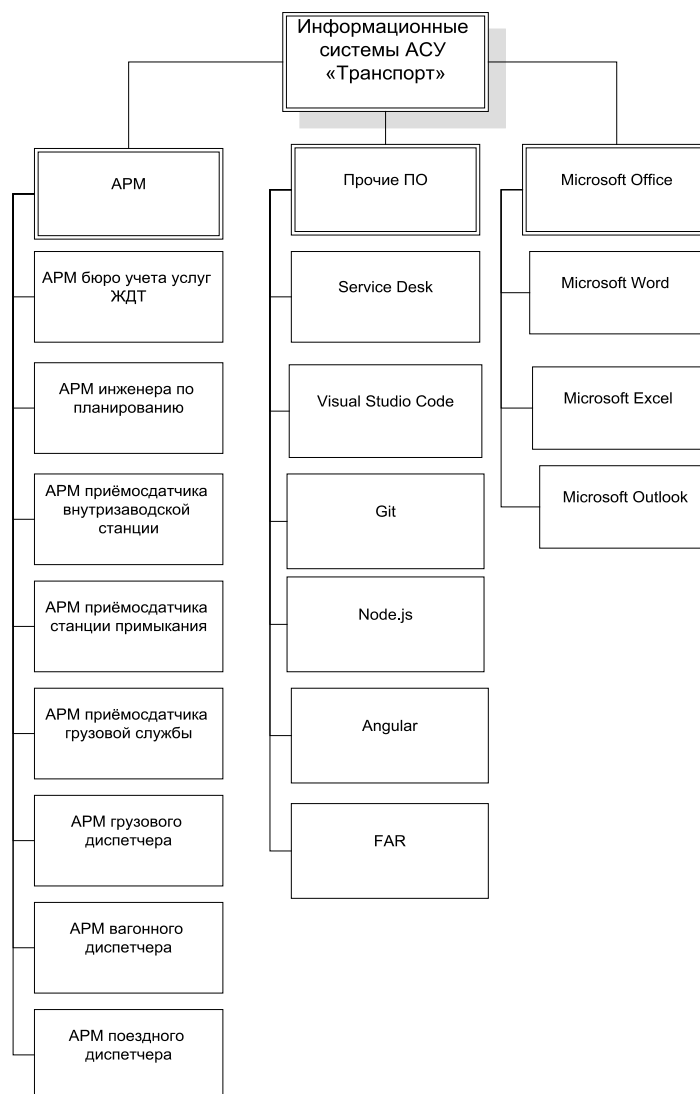


Рис. 2. Модель «*Диаграмма типов информационных систем*» ASTD – *Перечень ИС АСУ Транспорт*

Главные цели группы АСУ «Транспорт»: совершенствование качества управления работой железнодорожного транспорта и, прежде всего, его эксплуатационной деятельности, оптимизация всех видов планирования и оперативного руководства работой производственных звеньев, наилучшее использование основных фондов,

материальных и трудовых ресурсов, освоение возрастающего объема перевозок, улучшение технико-экономических показателей работы [4]. Представленный на рис. 2 перечень информационных систем с использованием модели ASTD дополнен назначением и описанием функционала в таблице.

Краткая характеристика подсистем в АСУ ЖДТ

Подсистема (задача) в АСУ ЖДТ	Назначение подсистемы	Функции
1. АРМ бюро учета услуг ЖДТ	Бухгалтерский учет и контроль грузоперевозок ЖДТ ПАО «ММК»	Учет расчетов с поставщиками и заказчиками Учет услуг по грузоперевозкам и штрафам цехам, дочерним предприятиям и клиентам

Окончание таблицы		
Подсистема (задача) в АСУ ЖДТ	Назначение подсистемы	Функции
2. АРМ инженера по планированию	Планирование и учет объема грузоперевозок и себестоимости услуг ЖДТ	Планирование грузоперевозок в вагонах МПС и местного парка
		Планирование себестоимости услуг ЖДТ
3. АРМ приёмсдатчика внутривозводской станции	Учет грузовых операций и грузоперевозок в вагонах МПС, местного парка и арендованных	Учет данных о прибытии и отправлении вагонов на внутривозводских станциях
		Учет данных об операциях погрузки-выгрузки в цехах
4. АРМ приёмсдатчика станции примыкания	Расчеты и учет основных показателей по обмену вагонами МПС между ЮУЖД и ПАО «ММК»	Учет принимаемых на ПАО «ММК» грузов и вагонов от ЮУЖД
5. АРМ приёмсдатчика грузовой службы	Расчеты и учет основных показателей работы с вагонами МПС, заводского парка, технологических перевозок	Расчеты и учет времени и платы за нахождение вагонов под грузовыми операциями
		Расчеты и учет платы за подачу-уборку вагонов
		Разложение остатка вагонов под выгрузкой. ММК СМК ЦЭ(0)-125-1
		Справка по крытым вагонам. ММК СМК ЦЭ(0)-152-1
6. АРМ вагонного диспетчера	Предоставление информации о ситуации с вагонами местного парка	График движения вертушек
		График исполненного оборота вертушек. ММК СМК ЦЭ(0)-2-1
		Книга вагонов с шифром «Р» и «РБ» ММК СМК ЦЭ(0)-128-1
7. АРМ поездного диспетчера	Обеспечивает информационную поддержку оперативного управления перевозочным процессом	Анализ графика движения поездов. ММК СМК ЦЭ(0)-134-1
		График исполненного движения поездов ЖДТ ИДП
		Дислокация возвращенных вагонов. ММК СМК ЦЭ(0)-156-1
		Справка положения по ЖДТ ММК СМК ЦЭ(0)-40-1

Заключение

Таким образом, в развитии системы АСУ ЖДТ пройден большой путь. С учетом современных требований бизнеса к информации этот путь можно сформулировать так: информация в сутки, информация в смену, информация сейчас [5]. Техническая эволюция системы до уровня «здесь и сейчас» впечатляет: от телетайпов и ЭВМ М-6000 до территориально-распределенного серверного кластера и центра управления перевозками. АСУ ЖДТ сегодня стала не просто средством поддержки управления предприятия, а одним из важнейших элементов инфраструктуры ЖДТ и комбината в целом [6].

Список литературы

1. Назарова О.Б., Давлеткиреева Л.З. Интеграция автоматизированных информационных систем в сфере продаж холдинговой компании // Актуальные вопросы научной и научно-педагогической деятельности молодых учёных. 2015. С. 86–96.
2. Криницкий Н.А., Миронов Г.А., Фролов Г.Д. Автоматизированные информационные системы. М.: Наука, 2016. 382 с.
3. Четвериков В.Н. Автоматизированные системы управления предприятиями. М.: Высшая школа, 2015. 303 с.
4. Матяш С.А. Корпоративные информационные системы. М.: Директ Медиа, 2016. 89 с.
5. Назарова О.Б., Масленникова О.Е. Моделирование бизнес-процессов. М.: ФГБОУ ИГТУ им. Г.И. Носова, 2015. 230 с.
6. Каморджанова Н.А. Развитие интегрированной системы учета и отчетности: методология и практика. М.: Проспект, 2015. 96 с.

УДК 004.4

ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ МОДУЛЯ «СТРУКТУРА ВУЗА»

Никишов Н.Д.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: nikishovnikolai@mail.ru

В данной статье рассматриваются требования к информационному обеспечению модуля «Структура вуза», который позволит вести учет изменений организационной структуры университета, а также обеспечит прозрачность иерархической структуры организации. Актуальность работы связана с тем, что на протяжении последних десяти лет организационная структура вуза постоянно модифицируется, что приводит к проблемам в документообороте вуза. Модуль позволит решить проблемы, связанные с формированием списка согласования документов. Приводятся образ и границы проекта, выделены пользователи будущего модуля и его функции, а также представлен способ организации данных в системе и порядок контроля и восстановления данных. Модуль представляет собой веб-приложение, справочник с актуальной структурой университета. Функциями приложения являются: создание, удаление, изменение подразделений; формирование запроса о том, кто курирует подразделение; хранение и загрузка документации по структуре; хранение истории изменения структуры университета. Логическая модель представлена в виде ERD-диаграммы, в которой показаны сущности предметной области и связи между ними. Совместимость модуля обеспечивается за счет его физического размещения на сервере университета, а также ссылки на него с официального сайта МГТУ им. Г.И. Носова.

Ключевые слова: структура МГТУ им. Г.И. Носова, справочник, веб-приложение, проектирование, ERD

REQUIREMENTS FOR INFORMATION SECURITY OF THE MODULE «UNIVERSITY STRUCTURE»

Nikishov N.D.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: nikishovnikolai@mail.ru

This article discusses the requirements for the information support of the «University structure» module, which will allow keeping records of changes in the organizational structure of the university, as well as ensure the transparency of the hierarchical structure of the organization. The relevance of the work is related to the fact that over the past ten years the organizational structure of the university has been constantly modified, which leads to problems in the document management of the university. The module will solve the problems associated with the formation of a list of coordination of documents. The image and boundaries of the project are given, the users of the future module and its functions are highlighted, and the method of organizing data in the system and the order of control and data recovery are presented. The module is a web application directory with the current structure of the university. The functions of the application are: create, delete, change units; forming a request about who oversees the unit; storage and loading of documentation on the structure; storage of the history of changes in the structure of the university. The logical model is presented in the form of an ERD diagram, which shows the entities of the subject area and the relationships between them. Compatibility of the module is ensured by its physical placement on the server of the university, as well as links to it from the official website of MSTU. G.I. Nosov.

Keywords: structure MSTU them. G.I. Nosov, reference, web application, design, ERD

В настоящее время управление крупной организацией является сложным процессом, для решения которого необходимо решать различные задачи. Одной из таких задач является построение организационной структуры. Под структурой организации понимается состав, соотношение ее внутренних звеньев и форм, их взаимосвязи в процессе деятельности предприятия. Организационная структура компании может меняться в связи с требованиями бизнеса, законов и внешней среды.

В образовательных учреждениях организационная структура меняется особенно часто: это обусловлено введением новых образовательных стандартов, правил, требований министерства и развитием самой организации.

В МГТУ им. Г.И. Носова (Университет) за последние десять лет произошло множе-

ство изменений: реорганизация двух вузов МаГУ и МГТУ им. Г.И. Носова путем их слияния, создание и расформирование множества учебных и административных подразделений. В данный момент в МГТУ им. Г.И. Носова отслеживать изменения в организационной структуре сложно. Это объясняется наличием сопряженных с непосредственным изменением процессов: выход приказа, загрузка его на корпоративный портал и внесение изменений на официальном сайте. Такой порядок работы имеет недостатки: во-первых, работа представляет два разных процесса – выгрузка данных на корпоративный портал и внесение изменений на внешнем сайте вуза, – за которые отвечают разные люди; во-вторых, установление подчиненности подразделений ректорату возможно только посредством взаимодействия

с ученым секретарем вуза или руководителем подразделения, то есть отсутствие прозрачности данной информации.

Для решения этой проблемы руководство университета приняло решение о разработке внешнего программного модуля корпоративного портала вуза, позволяющего не только изменять структуру организации, но и закреплять проректора за подразделениями с соблюдением условий разграничения прав доступа.

Цель исследования состоит в формировании требований к информационному обеспечению модуля «Структура вуза».

Материалы и методы исследования

Теоретические методы: анализ, формализация, семантическое моделирование данных (методология IDEF1X), индукция, классификация, многокритериальный анализ; эмпирические методы: наблюдение, сравнение, измерение; инструменты моделирования бизнес-процессов (CA AllFusion Egwin Data Modeler).

Исходными данными послужили нормативные документы университета (приказы об изменениях, решения ученого совета и президиума ученого совета), а также результаты интервьюирования эксперта предметной области (секретаря ученого совета).

Результаты исследования и их обсуждение

Создание автоматизированной системы (АС) предполагает выполнение таких работ, как формирование требований к АС, разработку концепции АС, разработку технического задания, разработку технического проекта, создание рабочей документации и ввода в действие [1].

В рамках данного исследования представлены результаты работ по формулировке требований к информационному обеспечению, которое является частью технического задания. Информационное обеспечение (ИО) – совокупность информационных ресурсов и услуг, предоставляемых для решения управленческих и научно-технических задач в соответствии с этапами их выполнения [2].

Согласно ГОСТ 34 602-89 для информационного обеспечения АС приводят следующие виды требований:

- к составу, структуре и способам организации данных в системе;
- к информационному обмену между компонентами системы;
- к информационной совместимости со смежными системами;
- по использованию общесоюзных и зарегистрированных республиканских, отраслевых классификаторов, унифицированных

документов и классификаторов, действующих на данном предприятии;

– по применению систем управления базами данных;

– к структуре процесса сбора, обработки, передачи данных в системе и представлению данных;

– к защите данных от разрушений при авариях и сбоях в электропитании системы;

– к контролю, обновлению и восстановлению данных;

– к процедуре придания юридической силы документам, продуцируемым [3].

Для понимания требований к информационному обеспечению модуля «Структура вуза» предварительно рассмотрим образ и сформулируем границы проекта его создания. Для ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова» модуль будет представлять собой интернет-приложение, позволяющее знакомиться с актуальной организационной структурой, производить изменения на основании приказа и закреплять проректора за подразделениями, в отличие от действующего сейчас механизма просмотра структуры на сайте и узнавание о подчиненности у руководства. Для секретаря ученого совета будет предусмотрена возможность вносить изменения в структуру, выгружать данные, отслеживать управление ректоратом какого-либо подразделения. В системе будет присутствовать администратор, который будет заниматься резервным копированием и архивацией данных.

Для сторонних пользователей университета ИС будет представлять собой приложение, предоставляющее информацию об актуальной структуре университета.

Система должна обеспечить следующие функциональные возможности: создание, удаление, изменение подразделений; формирование запроса о том, кто курирует подразделение; хранение и загрузка документации по структуре; хранение истории изменения структуры университета.

Таким образом, модуль учета изменений организационной структуры вуза предназначен для обеспечения единого справочника структурных подразделений, который обеспечит учет истории изменений в подразделениях, а также позволит узнать, какой проректор за какое подразделение отвечает [4].

Одно из требований к информационному обеспечению (как было представлено выше) – это способ организации данных в системе, то есть моделирование логической и физической структуры приложения. Для того чтобы представить способ организации данных, сначала необходимо выделить объекты системы, а потом расставить связи между ними.

В ходе анализа документов предметной области, а также интервьюирования экспертов были выделены следующие объекты – подразделения, пользователи, приказы, доверенности, изменения, ректорат. Эти объекты необходимо дополнить данными – классификация подразделений, классификация документов, отдельно взять документы, должности ректората, подчиненности [5].

Для наглядности построим логическую модель данных IDEF1X (рис. 1).

В представленных ниже таблицах приведены структура, типы данных и ограничения каждого из выделенных объектов.

Таблица «Классификация подразделений» предназначена для классификации структурных подразделений. Таблица включает в себя поля: код классификации и наименование.

Таблица «Структурное подразделение» предназначена для хранения всех структурных подразделений. Таблица «Струк-

турное подразделение» связана с таблицей «Классификация подразделений», так как «Классификация подразделений» является классификацией. Таблица включает поля: код подразделения, наименование, краткое наименование, шифр, руководителя, описание, статус существования подразделения, статус курирования (курируется подразделение в данный момент или нет) и код классификации.

Таблица «Внутреннее подразделение» предназначена для хранения внутренней структуры основного подразделения. Таблица «Внутреннее подразделение» связана с таблицей «Структурное подразделение», так как «Структурное подразделение» является справочником основных подразделений. Таблица включает поля: код внутреннего подразделения, наименование, краткое наименование, шифр, руководителя, описание, статус существования подразделения и код подразделения.

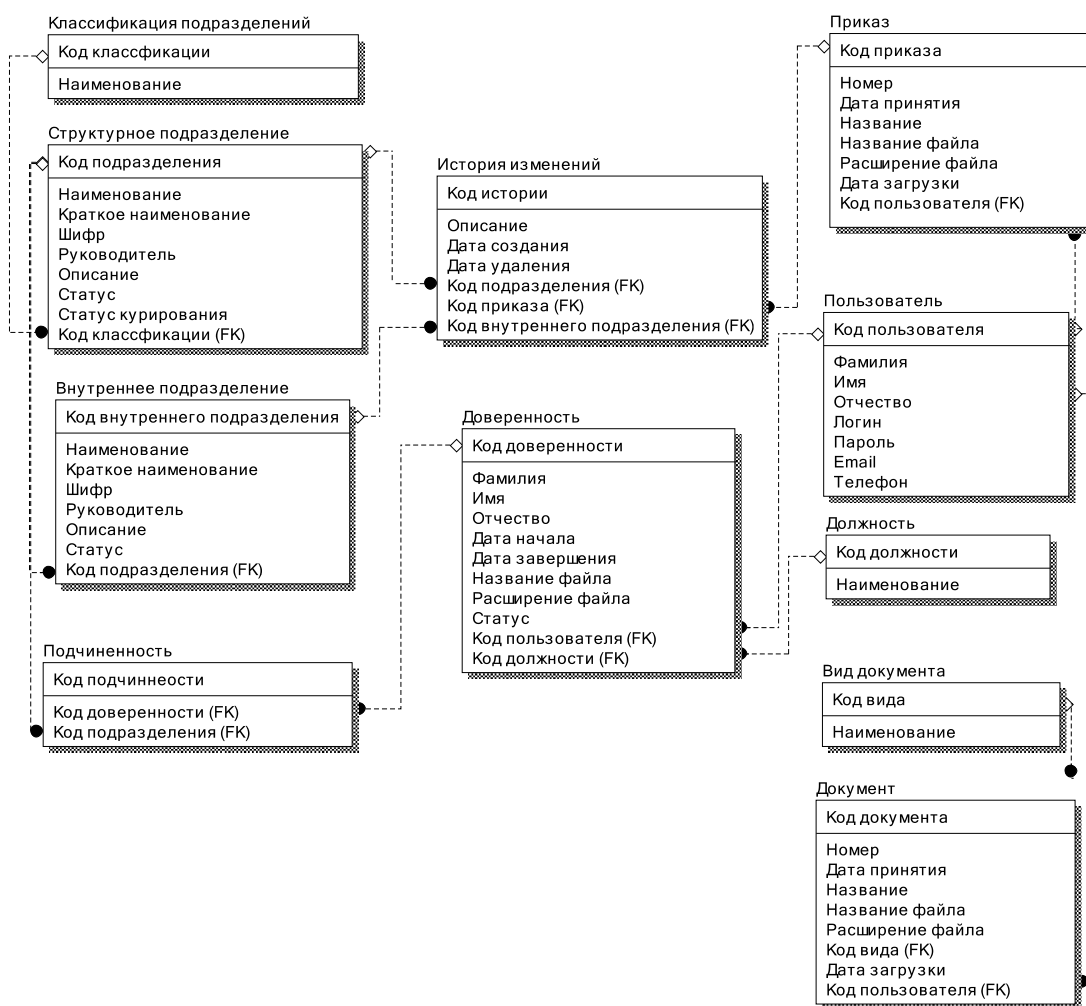


Рис. 1. Логическая модель модуля «Структура вуза»

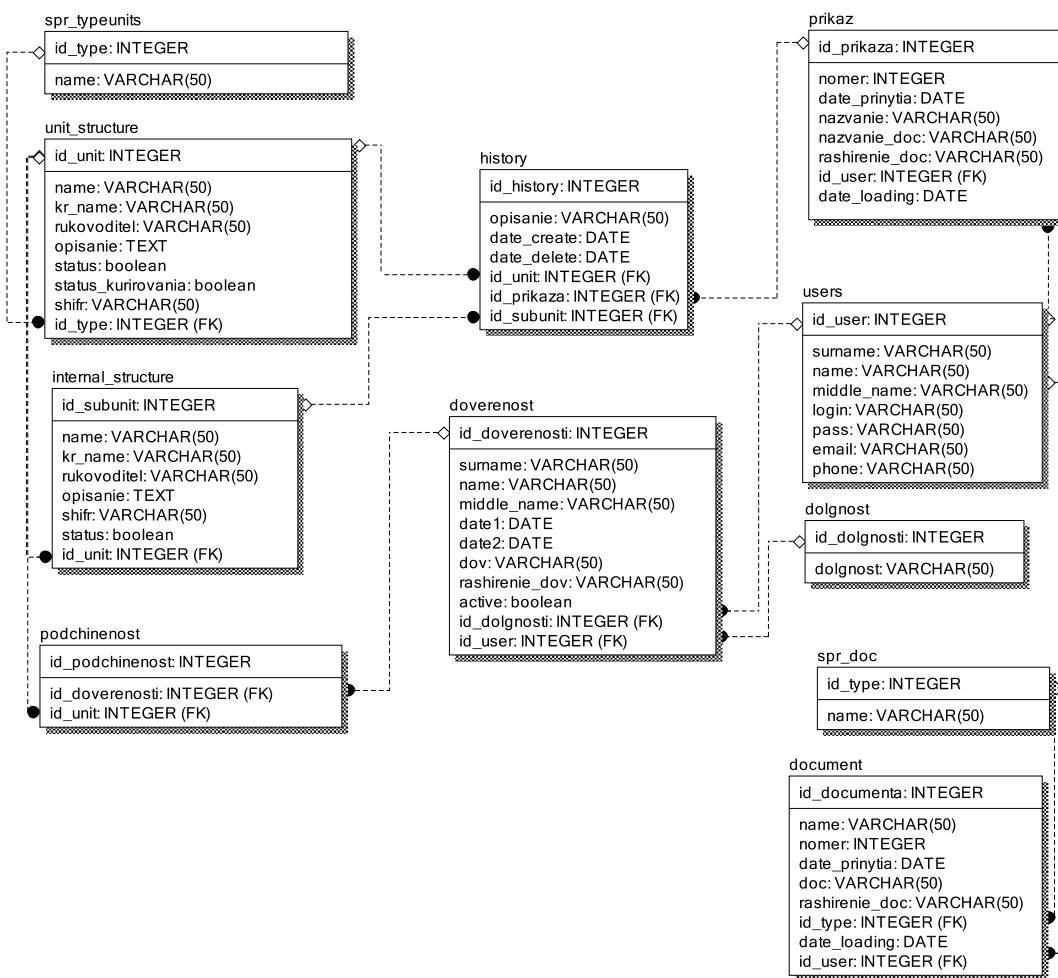


Рис. 2. Физическая модель модуля «Структура вуза» (дата логический уровень)

Таблица «Пользователь» предназначена для хранения всех пользователей системы. Таблица включает поля: код пользователя, фамилия, имя, отчество, логин, пароль, e-mail, телефон.

Таблица «Вид документа» предназначена для хранения типов документов. Включает в себя поля: код вида и наименование.

Таблица «Документ» предназначена для хранения всех документов. Таблица «Документ» связана с таблицей «Вид документа», так как «Вид документа» является классификацией видов документов. Таблица включает поля: код документа, номер, дату принятия, название, имя файла (документа), расширение файла (документа), дата загрузки, код вида и код пользователя.

Таблица «Приказ» предназначена для загрузки приказов по изменению структуры, к которым привязывается история. Таблица «Приказ» связана с таблицей «Пользователи», так как к пользователю привязывается

приказ. Таблица включает поля: код приказа, номер, дату принятия, название, название файла (документа), расширение файла (документа), код пользователя.

Таблица «История изменений» предназначена для фиксирования изменений в структуре. Таблица «История изменений» связана с таблицами «Структурное подразделение», «Внутреннее подразделение», «Приказ». Связь со «Структурным подразделением» и «Внутренним подразделением» является привязкой изменений к подразделениям. Связь с «Приказом» является привязкой изменений к приказу. Таблица включает поля: код истории, описание, дата создания, дата удаления, код подразделения, код внутреннего подразделения, код приказа.

Таблица «Должность» предназначена для хранения должностей ректората. Таблица включает поля: код должности и наименование.

Таблица «Доверенность» предназначена для хранения доверенностей (по доверенности назначается проректор на должность). Таблица «Доверенность» связана с таблицами «Пользователь» и «Должность». Связь с «Пользователем» является привязкой пользователя к доверенности. Связь с «Должностью» является привязкой должности к доверенности. Таблица включает поля: код доверенности, фамилию, имя, отчество, дату начала (курирования подразделений), дату завершения (курирования подразделений), имя файла (документа), расширение файла (документа), статус доверенности, код должности и код пользователя.

Таблица «Подчинённость» предназначена для отображения информации о том, какой проректор руководит каким-либо подразделением. Таблица «Подчинённость» связана с таблицами «Доверенность» и «Структурное подразделение». То есть к подчиненности привязываются подразделение и доверенность подразделений поля: код подчиненности, код подразделения, код доверенности.

Для того чтобы перейти к реализации системы, необходимо построить физическую модель данных (рис. 2) [6].

В качестве СУБД была выбрана MySQL, поскольку она обладает хорошей скоростью работы, надежностью, гибкостью, обладает поддержкой скриптового языка программирования PHP и является полностью бесплатной.

Помимо способа организации данных, также нельзя не сказать о совместимости со смежными системами. Планируется не интегрировать в текущую систему, а разработать отдельным модулем и осуществить переход на него с официального сайта.

Еще одним из главных требований является контроль, обновление и восстановление данных. Для обеспечения контроля

и восстановления в системе будет использоваться администратор, который будет отслеживать работу системы, производить резервное копирование и архивирование данных. Обновление системы будет происходить по необходимости, заниматься обновлением будет секретарь ученого совета.

Выводы

В результате была построена информационная модель будущего модуля, как на логическом уровне, так и на физическом с учетом типов данных будущей системы. Был установлен порядок контроля, обновления и восстановления системы. Было предложено решение по совместимости со смежными системами. Дальнейшая работа над проектом будет посвящена реализации проекта – разработки интерфейса и функционала системы, тестирования и внедрения.

Список литературы

1. ГОСТ 34 601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. М.: Издательство стандартов, 1991. С. 1–2.
2. ГОСТ 7.0–99. Информационно-библиотечная деятельность. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1999. 5 с.
3. ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. М.: Издательство стандартов, 1989. 5 с.
4. Гаврилова И.В. Подходы к интеграции автоматизированных информационных систем ФГБОУ ВПО МаГУ // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции. 2014. С. 49–52.
5. Назарова О.Б., Новикова Т.Б. Практикум по разработке АИС: предпроектное обследование: учеб. пособие. Магнитогорск: Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 261 с.
6. Назарова О.Б., Масленникова О.Е. Моделирование бизнес-процессов: учебно-методическое пособие. Магнитогорск, 2015. 230 с.

УДК 004.942:627.5

БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА РЕКЕ ПСОУ**Сафронова Т.И., Приходько И.А.***ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар,
e-mail: mail@kubsau.ru*

Размыв речных берегов водными потоками происходит в результате взаимодействия речного потока и постоянных деформаций русла. Река Псоу протекает в Адлерском районе города Сочи и является государственной границей Российской Федерации. Правый берег реки в настоящее время интенсивно размывается (до 5 м в год). Рассматриваемые участки берега подвергаются активным эрозионным процессам со стороны реки. В результате водной эрозии происходит деформация берегов рек и потеря значительных площадей земельных угодий. Для предотвращения разрушения необходимо строительство берегоукрепительных сооружений. При выборе оптимального проектного решения противоэрозионного берегоукрепительного сооружения необходимо учитывать гидрологические факторы и морфологию реки. В работе рассмотрена модель распределения водного потока и по результатам обследования и расчетов рекомендовано возвести струенаправляющую проницаемую дамбу и берегоукрепительную габионную стенку. Струенаправляющая дамба устанавливается в верховой части защищаемого участка с целью отжима паводкового потока от правого берега, подвергающегося в настоящее время воздействию течений с большими скоростями, что создает угрозу разрушения вдоль берегового укрепления. Конструктивно дамба представляет собой проницаемое сооружение из шести ярусов бетонных массивов, укладываемых на подготовленное основание. Головная часть дамбы укрепляется 16 массивами по 11,8 т. Длина дамбы составляет 60 м, ширина в основании – 10 м.

Ключевые слова: берегоукрепление, дамба, река, паводок, габионная стенка, математическая модель

SHORE PROTECTION ON THE PSOU RIVER**Safronova T.I., Prikhodko I.A.***Federal State-funded Educational Institution of Higher Professional Education
«Kuban State Agrarian University», Krasnodar, e-mail: mail@kubsau.ru*

The erosion river-bank by stream water results from interaction of a river stream and continuous deformations of the course. The Psou River flows in Adlersky District of Sochi and is frontier of the Russian Federation. The right river bank is intensively washed away now (up to 5 meters a year). The considered sites of the coast are exposed to active erosive processes from the river. The water erosion is resulted by deformation of coast of the rivers and loss of significant areas of agriculturally used areas. Prevention of destruction requires construction of coast-protecting structure. At the choice of the optimal design solution of an antierosion coast-protecting structure it is necessary to consider hydrological factors and morphology of the river. In work the model of distribution of a water stream is considered and by results of inspection and calculations it is recommended to stream to build the afflux permeable bank and a coast-protecting gabionny meshy. The afflux permeable bank is established in a riding part of the protected site for the purpose of a flow deflection of a flood stream from the right coast, which is affected now by currents with big speeds, which create threat of destruction along coastal fortification. Structurally the dam represents a permeable construction from six tiers of the concrete massifs stacked on the prepared basis. Head part of a dam strengthen sixteen concrete massifs on 11,8 t everyone. Length of a dam is 60 m, dam width in the basis – 10 m.

Keywords: bank protection, dam, river, flash runoff, gabion meshy product, mathematical model

Река Псоу протекает в Адлерском районе города Сочи. Является южной границей Большого Сочи и государственной границей Российской Федерации. Правый берег реки в настоящее время интенсивно размывается (до 5 м в год), вследствие чего исчезают находящиеся в федеральной собственности земли, а также гибнет лесная растительность, расположенная на них. Рассматриваемые участки берега подвергаются активным эрозионным процессам со стороны реки. Потому береговой склон участков имеет характерные очертания. Следовательно, в этом месте необходимо предусмотреть проведение берегоукрепительных мероприятий, обеспечивающих защиту от размыва береговой полосы. Неоднократно осуществлялись попытки берегоукрепления «кустарным способом», которые ощутимых результатов не

дали. При этом значительная часть берегового откоса захлавлена различного рода строительным мусором.

Негативное влияние на состояние берегов могут оказывать самые различные факторы – ливневые потоки или грунтовые воды, волнения на водной поверхности, течения. Размыв береговой полосы приводит к отрицательным последствиям – материальным ущербам, уничтожению береговой растительности. Сведения по участкам рек, подверженным разрушению, представлены в таблице [1].

Все вышеизложенное указывает на необходимость организации и проведения эффективных природоохранных и берегозащитных мероприятий. Чтобы предотвратить эрозию, постепенный размыв берега, исключить возможность его обрушения, необходимы инженерно-технические решения.

Характеристика участков рек, подверженных разрушению

№ п/п	Водный объект	Протяженность участков, км	Интенсивность разрушения берега, м/год	Объекты промышленного, социального, транспортного и коммунального сектора, расположенные в зоне разрушения берега
1	р. Мзымта	1,5	1,5	участок питьевого водопровода
2	р. Псоу	1,2	6,5	садовые участки

Берегозащитные сооружения предназначены для защиты береговой полосы от агрессивного воздействия течения. Выполненный обзор литературы показал, что существующие на сегодняшний день специальные конструкции, в своем большинстве трудоемки, как правило, не экономичны и на их изготовление и монтаж требуется большое количество времени и затрат. Следовательно, проблема разработки новых и эффективных берегозащитных конструкций является актуальной и требует дальнейшего изучения [2].

Для защиты берегов р. Псоу от размывов необходимо принятие комплекса технических решений. Цель исследования – выбор и обоснование выбора берегозащитного мероприятия для рассматриваемого участка реки. Следствием будет предотвращение размыва береговой полосы и предотвращение исчезновения находящейся в федеральной собственности земли, а также гибели растительности, расположенной на них.

Цель исследования – составление модели распределения водного потока реки по длине для выбора и обоснования берегоукрепительных мероприятий.

Материалы и методы исследования

Территориально исток р. Псоу расположен в 4,5 км от горы Агепста и начинается с южных склонов Турьих гор, устье – в 8 км к юго-востоку от Адлера. Впадает в Черное море.

Река Псоу в верховьях бассейна имеет характер горной реки с быстрым течением, живописной долиной и чистой водой. Притоки реки представляют собой изрезанные долины с крутыми склонами. Тип питания реки – смешанный: весной – ледниковый, летом, осенью и в начале зимы – дождевой. В межень (август – октябрь, ноябрь – март) – подземное питание. Водный режим реки – паводочный. Пик паводков приходится на май. Склоны долины непроходимые, скальные, обрывистые.

Склоны долины, ограничивающие долину, представляют собой пересеченные и густо поросшие лиственным лесом и кустарником хребты.

Ограничивающие долину хребты, пересеченные и густо поросшие лиственным

лесом и кустарником, являются собственно склонами долины. На реке Безымянка (в 4 км вверх по течению от села Аибга) находится самый высокий водопад в Краснодарском крае, высота трех каскадов 75 м, находится на реке Безымянка, в 4 км вверх по течению от с. Аибга. Ложе реки валунно-галечное, деформирующееся.

Уклоны русла р. Псоу и её притоков изменяются в верховье от 0,699 до 0,074, в среднем течении от 0,04 до 0,02, в нижнем течении от 0,02 до 0,005 [3].

В равнинной части долины реки – нижняя пойма, первые надпойменные террасы сложены делювиальными отложениями, аллювиально-делювиальными и аллювиальными. Отложения преимущественно представлены песчано-глинистым заполнителем, галечником с валунами и гравийно-галечными грунтами.

По петрографическому составу обломочный материал долины и террас представлен алевролитами, мергелями, песчаниками, известняками. В русле продолжается процесс аккумуляции и транзита наносов, а также переуглубления.

На всем протяжении склоны долины реки Псоу рассечены долинами небольших притоков или временных водотоков, а также глубокими балками, которые действуют во время дождевых паводков. Факторами образования осыпей являются тектоническая трещиноватость, количество осадков, а также продукты процессов выветривания, которые во время дождевых паводков пополняют конуса выносов в главное русло реки Псоу и способствуют накоплению обломочного материала в русле реки.

В результате размыва, а также смыва берегов и русла обломочного материала, почвы с водосборной площади образуются твердый сток. Во время паводков и дождевых паводков проходит большая часть стока твердых наносов. Сильная боковая и донная эрозия наблюдается на отдельных участках в русле реки при прохождении дождевых паводков.

Согласно результатам работы [3] среднегодовой сток:

- взвешенных наносов – 154,4 тыс. т;
- влекомых наносов – 62,4 тыс. т.

В гранулометрическом составе преобладают фракции:

– 0,1–0,01 м (60%) во взвешенных наносах;

– от 50 до 100 мм (60%) в донных наносах;

– более 100 мм (40%) в донных отложениях.

Средний диаметр донных отложений 80 мм.

В нижнем течении р. Псоу (участок протяженностью 3–5 км) продолжается процесс накопления аллювиальных отложений. Переформирование донных отложений происходит каждый раз при прохождении дождевых паводков.

По типу руслового процесса река Псоу относится к побочному и осередковому типу, который широко распространен на прямолинейных и слабоизвилистых участках рек горно-предгорных зонах.

В период паводков побочни и осередки покрываются водой и русло приобретает прямолинейный вид.

Одной из серьезных причин разрушения берегов является усиление эрозионных процессов. Для охраны горных и предгорных ландшафтов необходимо управление твердым стоком.

При составлении математической модели уровня режима и течений при расчетных паводках нами использована система дифференциальных уравнений, описывающих неустановившееся течение в русле.

Систему дифференциальных уравнений, описывающих неустановившееся течение в русле в рамках одномерной модели, записываем в виде [4]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\omega} \right) + g\omega \frac{\partial z}{\partial x} = -g\omega \frac{Q|Q|}{K^2}, \quad (2)$$

где t – время;

g – ускорение свободного падения;

ω – площадь живого сечения;

Q – расход;

K – модуль расхода.

Задаем начальный расход Q_0 и уровень свободной поверхности Z_0 в расчетной области в начальный момент времени.

В качестве граничных условий на входном створе задаем гидрограф $Q = f(t)$, а в замыкающем – ход уровней воды $Z = f(t)$

Z – отметка свободной поверхности относительно базового уровня.

Были определены входящие в уравнения (1) и (2) гидравлико-морфометрические и гидравлические характеристики русла – площадь живого сечения ω , модуль расхода Q .

Площадь живого сечения потока в узлах расчетной сетки в зависимости от уровня сво-

бодной поверхности Z определяли по данным инженерно-геодезических изысканий [3].

Гидравлический коэффициент трения n (функционально-зависимый параметр) определяли обратным путем с использованием данных натуральных наблюдений с гидравлических постов.

Гидравлический радиус определялся по формуле $R = \frac{\omega}{\chi}$, где χ – смоченный периметр русла, который, как и ω , принимался по данным изысканий [3]. Коэффициент Шези определяли из формулы расхода воды $Q = \omega C \sqrt{Ri}$, где ω – площадь живого сечения, i – уклон русла [5].

Гидравлические характеристики рассматриваемого русла определяли с помощью коэффициента Шези. Для определения коэффициента Шези существует большое количество методов и формул, полученных разными авторами в лабораторных и натуральных условиях. Приводим анализ формул, полученных для объектов и гидравлических условий, наиболее приближенных к условиям исследуемого участка реки.

Формула Л.А. Морозова получена на основе обработки большого массива данных (1140 измерений расходов воды). Измерения выполнялись на прямолинейных участках горно-предгорных рек Кавказа и Средней Азии при расходах воды 2,32–680 м³/с и уклонах дна 0,001–0,015. В исследованиях Морозова при анализе кривых $C = F(Q)$ были обнаружены две области сопротивлений – с возрастанием C до определенного значения $Q_{кр}$ и с убыванием C при дальнейшем возрастании Q .

Появление $Q_{кр}$ на кривых $C = F(Q)$ Морозов связывает с моментом начала движения донных отложений.

Существование экстремума на кривых $C = F(Q)$ для рек Черноморского побережья Кавказа позднее подтвердил В.В. Ромашин [3] в результате подробных исследований руслового и гидравлического режимов рек указанного региона.

Используя формулы для коэффициента Шези при разных уровнях наполнения русла (глубине потока), была рассчитана скорость потока, а затем расходы воды (пропускная способность русла) при постоянном уклоне 0,013 и ширине канализованного русла 40,0 м. В результате получены расчетные значения гидравлических характеристик в рассматриваемом русле.

Расчеты выполнены численно по явной конечно-разностной схеме с итерациями по нелинейности. Шаг по координате X принят равным 4 м. Длина участка реки равнялась 1,1 км. Требуемый расход воды

в русле для паводков заданной обеспеченности подбирались методом последовательных приближений, варьируя отметки уровня свободной поверхности в граничных створах.

Результаты исследования и их обсуждение

Рекомендации по конструкции и плановому положению струенаправляющей дамбы

Струенаправляющая дамба устанавливается в верховой части защищаемого участка с целью отжима паводкового потока от правого берега, подвергающегося в настоящее время воздействию течений с большими скоростями, что создает угрозу разрушения вдоль берегового укрепления, размыва территории воинской части и вывода из строя дорогостоящего оборудования [6].

Конструктивно дамба представляет собой пронизываемое сооружение из шести ярусов бетонных массивов (1×1×1 м), укладываемых на подготовленное основание. Головная часть дамбы укрепляется 16 массивами по 11,8 т. Длина дамбы составляет 60 м, ширина в основании – 10 м [7].

В соответствии с результатами расчета дамба вышеописанной конструкции эффективно защищает наиболее уязвимый участок берега на длине не менее 250 м.

Дамбы рассматриваемой конструкции эффективно защищают правый берег реки Мзымта на участках, расположенных в районе села Верхневысокое и в пределах рекреационного объекта «Ноев ковчег». Вышеперечисленные дамбы были построены в 2005 и 2010 гг. соответственно. Данные сооружения выдержали несколько мощных паводков и показали высокую функциональную эффективность [8].

На участках берегоукрепительных работ р. Псоу принято использование габионных конструкций [9]. Эти конструкции заполняются камнем на строительной площадке. Уложенные габионы не имеют гидростатического давления и хорошо проницаемы для грунтовой воды.

Заключение

В статье рассмотрена проблема размыва и разрушения береговых уступов и русла реки Псоу в результате эрозионных процессов во время прохождения паводков и половодий. Крутые участки берега, незащищенные растительностью, наиболее подвержены процессам размыва.

Защита левого берега р. Псоу от размыва требует принятия комплекса взаимодополняющих технических решений.

Проектные решения на рассматриваемом участке р. Протока направлены на достижение максимального эффекта защиты левого берега за счет направления энергии потока в комплексе с работой берегоукрепительных сооружений.

Река Псоу берет начало из родника на высоте 2260 м БС. Длина реки 53 км, средний уклон реки 47,5%. Площадь водосбора 431 км². Средняя высота водосбора 1100 м. Средневзвешенный уклон водосбора 336%, густота речной сети 1,04 км/км², озерность 0,01%, лесистость 60%.

Псоу – типичная горная река с быстрым течением, чистой водой и живописной долиной. В верховьях бассейн реки носит горный характер, а ее притоки образуют изрезанные долины с крутыми склонами. Первые 28 км она течет в узкой долине с крутыми склонами высотой местами до 100 м. Ниже впадения в нее притока Арк-ва Псоу круто поворачивает на юго-запад и, прорезав хребет, составленный отрогами гор Ах-хач и Дзыхра, течет к морю уже по широкой долине. Нижняя часть бассейна на протяжении последних 15 км представляет собой холмистую местность. Река последовательно прорезает вулканогенные породы. В низовьях река имеет широкую галечниковую пойму и делится на рукава.

По результатам расчетов получено, что при паводке 1% обеспеченности скорость течения в русле в среднем составит около 3 м/с, а на некоторых участках более 4 м/с. Повышение уровня воды над меженным уровнем будет 2–3 м.

При паводке 10% обеспеченность скорости течения может достигать 3,5 м/с, а повышение уровня воды – до 2–2,5 м.

На участке, расположенном вверху воинской части, рекомендуется возвести струенаправляющую пронизываемую дамбу. Конструктивно дамбу выполнить из шести ярусов бетонных массивов (1×1×1 м), укладываемых на подготовленное основание. Головная часть дамбы укрепляется шестнадцатью массивами по 11,8 т. Длина дамбы составляет 60 м, ширина в основании – 10 м.

Угол между осью дамбы и линией берега принят равным 25°.

В результате расчетов установлено, что строительство струенаправляющей дамбы и берегоукрепительной габионной стенки приведет к незначительному повышению (на 1–3 см) уровней воды при паводках редкой повторяемости. Однако это повышение будет компенсировано понижением уровней после углубления русла в процессе срезки побочной.

В целом реализация берегозащитных мероприятий практически никакого влия-

ния на расчетные уровни воды не окажет. Следовательно, не будет и негативного влияния берегоукрепительных сооружений на устойчивость левого берега р. Псоу, являющегося территорией соседнего государства.

Список литературы

1. Сафронова Т.И. Оценка степени влияния контролируемого фактора // Практико-ориентированное обучение: опыт и современные тенденции. Сборник статей по материалам учебно-методической конференции. 2017. С. 98–99.
2. Сафронова Т.И., Соколова И.В. Вероятностная модель процесса снижения цены намечаемого мероприятия. Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 324–334.
3. Отчет «Инженерно-гидрометеорологические изыскания р. Псоу» – ООО «Гидротехника». Сочи, 2012. С. 267–280.
4. Сафронова Т.И., Приходько И.А. Оценка мелиоративного состояния рисовой оросительной системы по интегральному показателю // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 3. С. 42–43.
5. Емузова Л.З. Развитие разрушительных процессов в берегоукреплениях реки Нальчик // Новые технологии в науке о Земле: материалы всероссийской научно-практической конференции. Нальчик: 2013. С. 257–263.
6. Владимиров С.А., Гронь Е.И. Алгоритм реконструкции и проектирования ландшафтно-мелиоративных систем нового поколения // Труды Куб ГАУ. 2009. № 4 (19). С. 209–215.
7. Новиков В.Ю. Особенности строительства берегозащитных сооружений // Экономика строительства. 2012. № 1 (13). С. 61–68.
8. Технический отчет об инженерно-геодезических изысканиях – ООО «Гидротехника». Сочи, 2012. С. 113–125.
9. Отчет «Инженерно-гидрометеорологические изыскания р. Псоу» – ООО «Гидротехника», Сочи 2012. С. 301–307.

УДК 53.082.13

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДАМИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Столяров А.В., Червяков С.В., Киселев Д.Н.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: cabto@mail.ru

Сегодня аксиально-поршневые гидромашины являются наиболее распространенными в мобильной технике, они по сравнению с другими поршневыми гидромашинами, отличаются компактностью и меньшей массой. Однако их ресурс в условиях эксплуатации составляет не более 3000 моточасов, а доля отказов из-за износов в паре «распределитель – блок цилиндров» составляет более 93%. Поэтому исследование причин износов в паре «распределитель – блок цилиндров» является актуальной задачей. Для этого могут быть использованы как классические методики инструментального контроля (например: профилографы-профилометры для определения глубины износа), так и прогрессивный метод конечных элементов (для определения напряженно-деформированного состояния). В настоящее время исследованием напряженно-деформированного состояния различных деталей занимается достаточно большое количество авторов. Проведение данных исследований позволяет определить места, которые будут подвергаться наибольшим нагрузкам, установить значение критерия Мизеса – Хенки и значения максимальной несущей способности исследуемых поверхностей. В дальнейшем полученные данные позволяют предложить методы восстановления изношенных деталей или выбрать пути повышения износостойкости и долговечности соединений. Для подтверждения достоверности данных по напряженно-деформированному состоянию полученных методом математического моделирования в программном комплексе Ansys для распределителя и блока цилиндров аксиально-поршневого насоса 313.3.112, они сравнивались с данными, полученными методом инструментального контроля при помощи профилографа-профилометра «Тэйлор Хобсон». Полученные в результате данные показывают соответствие получаемых картин контактных напряжений и мест износов на исследуемых поверхностях распределителя и блока цилиндров аксиально-поршневых гидронасосов 313.3.112.

Ключевые слова: износ, качающий узел, моделирование, метод конечных элементов, контактные напряжения, пара трения

STUDYING THE RELIABILITY OF MATHEMATICAL MODELING BY METHODS OF INSTRUMENTAL CONTROL

Stolyarov A.V., Chervyakov S.V., Kiselev D.N.

National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: cabto@mail.ru

Today, axial-piston hydraulic machines are the most common in mobile technology, compared with other piston hydraulic machines, they are compact and less mass. However, their service life under operating conditions is no more than 3,000 hours, and the share of failures due to wear in the «distributor – cylinder block» pair is more than 93%. Therefore, the study of the causes of wear in the pair «distributor – cylinder block» is an urgent task. For this, both classical instrumental control methods (for example: profilographs-profilometers for determining the depth of wear) and the progressive finite element method (for determining the stress-strain state) can be used. At present, quite a large number of authors are engaged in the study of the stress-strain state of various parts. Conducting these studies allows to determine the places that will be subjected to the greatest loads, to establish the value of the von Mises-Henki criterion and the values of the maximum bearing capacity of the surfaces under study. In the future, the data allow us to suggest methods for restoring worn parts or to choose ways to improve the wear resistance and durability of joints. To confirm the reliability of the data on the stress-strain state obtained by the method of mathematical modeling in the Ansys software package for the distributor and cylinder block of an axial-piston pump 313.3.112 were compared with data obtained by the method of instrumental control using a Taylor Hobson profilometer. The resulting data shows the correspondence of the obtained patterns of contact stresses and places of wear on the studied surfaces of the distributor and the cylinder block of axial-piston hydraulic pumps 313.3.112.

Keywords: resource, wear, pumping unit, modeling, finite element method, contact stresses, friction pair

Исследование технического состояния агрегатов, снятых с эксплуатации, позволяет разрабатывать методики проведения ремонтных операций для восстановления деталей, а проведение инструментальных исследований износов рабочих поверхностей способствует определению технологии ремонта, которую можно применить. Однако на сегодняшний момент данные методики выбора ремонтных воздействий все еще занимают продолжительное время. Для того чтобы снизить время проведения

натурных исследований, в настоящее время используют математическое моделирование методом конечных элементов, в частности его можно применить для определения напряженно-деформированного состояния ресурсоопределяющих соединений. Для аксиально-поршневых гидромашин, выбранных нами для проведения исследований, таковым соединением является пара «распределитель – блок цилиндров» [1–3]. Исследование ее напряженно-деформированного состояния и сравнение полученных

данных с результатами инструментального контроля позволит, на наш взгляд, подтвердить достоверность получаемых данных и использовать в дальнейшем результаты моделирования как наиболее быстрый способ определения мест, наиболее подверженных износу.

Современные методы математического моделирования с использованием программных средств, как показывают исследования [4–6] используются сегодня для исследований гидроаппаратуры и в частности для аксиально-поршневых гидронасосов различных марок. Данные исследования направлены на определение несущей способности пар трения, что позволяет в будущем выбирать методы проведения ремонтных воздействий. Это позволяет ускорить процесс разработки технологий ремонта агрегатов, ведь на сегодня выход из строя гидронасосов занимает одно из первых мест по отказам в мобильной технике.

Однако работ, которые были бы посвящены исследованиям достоверности результатов математического моделирования напряженно-деформированного состояния, в настоящий момент практически нет. В связи с этим целью нашей работы стало подтверждение результатов моделирования контактных напряжений в паре «распределитель – блок цилиндров» при помощи профилографирования изношенных поверхностей данного соединения и сравнения полученных результатов.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований напряженно-деформированного состояния было

взято соединение распределителя с блоком цилиндров (рис. 1).

Рассматриваемая геометрическая модель нагружена следующим образом: поверхность полости высокого давления А нагружена давлением в 20 МПа, что соответствует номинальному режиму работы). Поверхность полости всасывания Б нагружалась давлением 0,08 МПа. Поверхности дренажной полости С нагружались давлением 0,2 МПа (максимальное значение давления дренажа). Поджатие распределителя к блоку цилиндров Д осуществляется пружинным контактом с усилием 80 Н, направлена вдоль оси блока цилиндров к распределителю. Блок цилиндров жестко зафиксирован Е, кроме вращения вокруг своей оси. Момент от вала насоса передается поршнями на блок и составляет 356 Нм, распределяется он равномерно между поршнями.

В дальнейшем созданы контакты: сферическая поверхность блока цилиндров – распределитель, поршень – блок цилиндров.

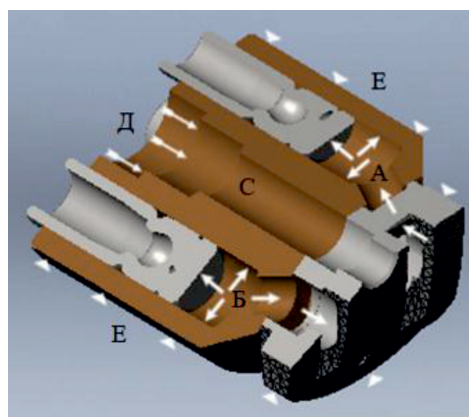
Следующий этап моделирования разбиение на элементы в следующем порядке: предварительная установка параметров сетки, запуск создания сетки, доработка сгенерированной сетки, проверка сетки на вырожденные элементы.

Сетка создана из элементов типа тетраэдр.

Сетка элементов поршня и блока цилиндров после создания была доработана, в результате на днище поршня и в отверстии блока цилиндров создана сетка высокого качества с уплотнениями, ее свойства представлены в табл. 1.



а)



б)

Рис. 1. Геометрическая модель «распределитель – блок цилиндров» гидронасоса 313.3.112: а) сетка элементов, б) нагрузки

В дальнейшем проводились расчеты, результаты которых представлены в следующем пункте.

Для проведения инструментального контроля поверхностей распределителя и блока цилиндров использовался профилограф-профилометр «Тэйлор Хобсон». Технические характеристики профилографа-профилометра представлены в табл. 2.

Марки щупов, которыми проводились измерения, и их геометрические параметры представлены в табл. 3.

Выбор щупа для измерения производится таким образом, чтобы ножка щупа точно копировала профиль поверхности, воспринимаемая все микронеровности.

Для определения площади и объема износа распределителя и блока цилиндров пары было проведено профилографирование поверхности.

Замер объема износа для распределителя проводился по поверхности контактирующей с блоком цилиндров в двух сечениях (перемычки между областью всасывания и нагнетания), поверхностная площадь получаемых данных составляла $4 \times 19,1 = 76,4 \text{ мм}^2$.

Для блока цилиндров замер объема износа проводился по поверхности контактирующей с распределителем, проводился также в двух сечениях противоположных друг другу, площадью $2 \times 18 = 36 \text{ мм}^2$.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате расчетов напряженно-деформированного состояния распределяя и блока цилиндров гидронасоса 313.3.112 были получены различные значения напряжений, перемещения в элементах деталей и деформации (табл. 4), так же получены графические файлы со средними значениями напряжений на исследуемых поверхностях (рис. 3).

Таблица 1

Свойства сетки конечных элементов пары распределитель – блок цилиндров

Тип	Сетка на твердом теле
Разбиение	Стандартное с корректировкой
Значение фактора плотности	Мелкая сетка
Фактор плотности сетки	+90
Максимальный размер элемента	3,5 mm
Сглаживание	Высокое качество
Преобразование сетки	Медленное
Центр диапазона углов	От 36 до 12 градусов
Количество элементов	186376
Количество узлов	271282

Таблица 2

Характеристики профилографа-профилометра

Элемент профилографа-профилометра	Значение технических параметров
Индуктивный датчик	Разрешение – 16 нм; Диапазон – 1,040 мм
Ходовая каретка	Диапазон перемещения – 0–120 мм; Разрешение – 0,125 мкм; Минимальное движение – 50 мкм; Длина пускового периода – 0,30 мм
Моторизованная стойка	Диапазон перемещения – 0–450 мм; Разрешение – 1,2537 мкм; Минимальное движение – 30 мкм

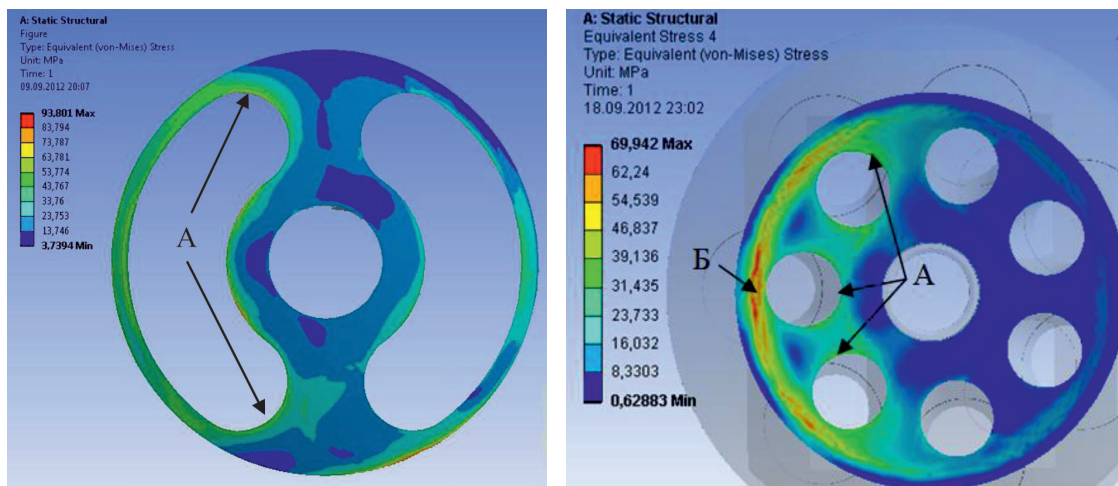
Таблица 3

Технические характеристики щупов

Марка щупа	r , мкм	α	L , мм
112/2009	2	90°	11
112/2011	2	90°	16

Значения напряжений на поверхностях, МПа

Исследуемая деталь	Значение напряжения		
	Минимальное	Среднее	Максимальное
Распределитель	3,74	15,7	93,80
Блок цилиндров	3,14	18,0	69,55



а)

б)

Рис. 2. Графическое отображение напряжений на поверхности распределителя (а), на поверхности блока цилиндров (б)

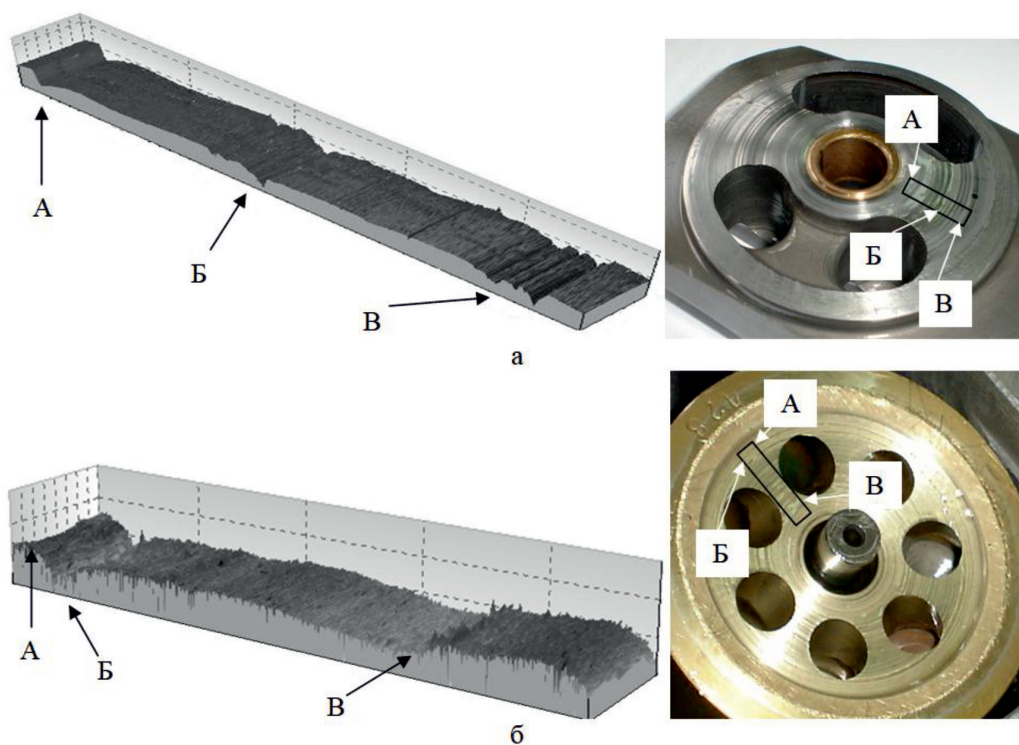


Рис. 3. Топография и изношенная поверхность: а) распределителя, б) напайки блока цилиндров

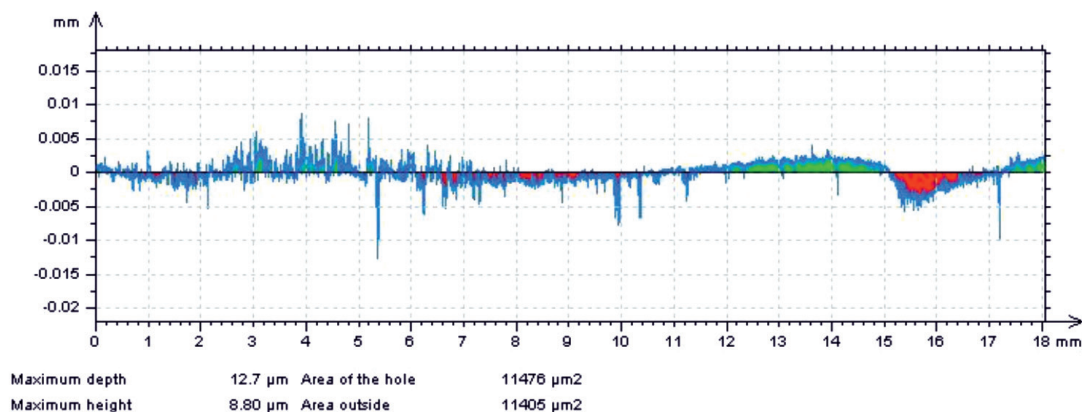


Рис. 4. Профилограмма блока цилиндров

При проведении анализа рис. 2 видно, что наибольшие напряжения на поверхности распределителя сосредоточены вокруг полости нагнетания А по краям (максимальные значения составляют 32–43 МПа). Для поверхности блока цилиндров возникновение максимальных напряжений происходит напротив зоны нагнетания распределителя по краям окон А (здесь значения находятся в пределах 23,7–31,4 МПа), а максимальные напряжения возникают по кольцевой линии, проходящей вдоль наружной поверхности блока, также находящейся напротив зоны нагнетания (полость Б, значение напряжения 69,9 МПа).

Топография поверхностей, исследуемых методом конечных элементов, показана на рис. 3.

При обработке топографических данных профили сфер были выровнены для более наглядного представления износов.

На рис. 3, а, хорошо виден профиль износа распределителя: он состоит из нескольких площадок с углублениями А, Б, В до 10–25 мкм. На рис. 4, а, также представлен сам распределитель, отметим что края кольцевого канала (А) завалены внутрь. Черным прямоугольником выделена площадка топографирования и обозначены места углублений А, Б и В. Зоны провалов Б и В соответствуют местам на диаграмме напряжений со значениями 43–52 МПа (рис. 2, а).

Профиль изображенный на рис. 3, б, соответствует блоку цилиндров, наибольшее износы всей поверхности составили более 1 мм (отчетливо видно кольцо износа от распределителя), а глубина максимальных износов по профилю поверхности составила 21 мкм (рис. 4). Углубления Б и В соответствуют зонам с наибольшими напряжениями, обозначенными на рис. 2, б, индексом А.

Выводы

Анализ результатов моделирования пары «распределитель – блок цилиндров», проведенный методом конечных элементов, показал наличие зон максимальных напряжений в местах контакта деталей друг с другом в зоне нагнетания.

Анализ же поверхностей деталей на профилографе-профилометре с получением топографии показал что наибольшие износы поверхностей возникают в местах зон соответствующих максимальным значениям напряжений.

Таким образом, проведенные исследования и сравнение полученных данных с результатами инструментального контроля позволили подтвердить достоверность получаемых данных, что делает возможным их использование для определения мест, наиболее подверженных износу.

Список литературы

1. Сенин А.П. Технология ремонта регулируемых аксиально-поршневых гидромашин восстановлением ресурсолимитирующих соединений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2012. 16 с.
2. Сенин А.П., Бурумкулов Ф.Х., Ионов П.А., Столяров А.В. Моделирование нагрузок в качающих узлах регулируемых аксиально-поршневых гидромашин // Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 110. № 1. С. 148–153.
3. Сенин П.В., Земсков А.М., Столяров А.В. Моделирование нагрузок в соединениях объемного гидропривода // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 8. С. 43–45.
4. Даршт Я.А., Холкин И.Н. Исследование гидростатической опоры аксиально-поршневого насоса // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 5. С. 20–25.
5. Wegner S., Loschner F., Gels S., Murrenhoff H. Validation of the physical effect implementation in a simulation model for the cylinder block/valve plate contact supported by experimental investigations. In: The 10th International Fluid Power Conference, 10. IFK. 2016. No. 1. P. 269–282.
6. Пузанов А.В. Анализ гидромеханики распределительного узла аксиально-плунжерной гидромашин // Инженерный вестник. 2016. № 2. С. 5–8.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Щербаков И.Д., Алексанян Г.К., Кучер А.И., Сулыз А.В., Моряхин Е.А.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск, e-mail: graer@yandex.ru*

Работа посвящена разработке технических средств трехмерной визуализации внутренних структур в устройствах электроимпедансной томографии с поддержкой измерений в нескольких поясах пациента. В работе описываются принципы построения программного обеспечения представления внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Построена трехмерная модель в виде объемной сетки конечных элементов для задач трехмерной электроимпедансной томографии, разработано программное обеспечение визуализации методом трехмерной электроимпедансной томографии. Разработаны алгоритмы функционирования информационно-измерительной системы, на основе которых разработано программное обеспечение. В результате разработки программного обеспечения получено представление внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Получены изображения нескольких томографических срезов, соответствующих изменению электрических параметров внутренних структур, расположенных в плоскости размещения электродных поясов, подключенных к аппаратно-программному комплексу электроимпедансной томографии. Полученное представление предоставляет пользователю новую функциональность в виде возможности изучения нескольких томографических срезов, соответствующих изменению электрических параметров внутренних структур, расположенных в плоскости размещения электродных поясов. Кроме того, разработанный программный модуль позволяет задавать пользователю цветовую палитру и уровни прозрачности для визуализируемых томографических срезов для повышения информативности их отображения.

Ключевые слова: трехмерная электроимпедансная томография, трехмерная модель

DEVELOPMENT OF SOFTWARE MODULE OF THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION IN THE COMPOSITION OF THE INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEM OF ELECTROIMPEDANCE TOMOGRAPHY

Shcherbakov I.D., Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Sulyz A.V., Moryakhin E.A.

*South Russian State Polytechnic University (NPI) them. M.I. Platova, Novochechassk,
e-mail: graer@yandex.ru*

The work is devoted to the development of technical means of three-dimensional visualization of internal structures in electrical impedance tomography devices with support of measurements in several zones of the patient. The paper describes the principles for constructing software for representing the internal structures of the object under study as a three-dimensional image. A three-dimensional model was constructed in the form of a volume finite-element mesh for three-dimensional electrical impedance tomography problems, and visualization software was developed using the three-dimensional electrical impedance tomography method. Algorithms for the functioning of the information-measuring system, on the basis of which the software has been developed, have been developed. As a result of software development, a representation of the internal structures of the object under study in the form of a three-dimensional image was obtained. Images of several tomographic slices were obtained that correspond to changes in the electrical parameters of the internal structures located in the plane of placement of the electrode belts connected to the hardware-software complex of electrical impedance tomography. The resulting representation provides the user with new functionality in the form of the possibility of studying several tomographic slices corresponding to a change in the electrical parameters of the internal structures located in the plane of placement of the electrode belts. In addition, the developed software module allows you to set a custom color palette and transparency levels for visualized tomographic slices to increase the information content of their display.

Keywords: three-dimensional electrical impedance tomography, three-dimensional model

Одним из подходов к двумерной визуализации результатов реконструкции измерений, полученных методом электроимпедансной томографии (ЭИТ), является построение сетки конечных элементов [1]. В работе описываются принципы построения программного обеспечения представления внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Такое представление данных даст поль-

зователю возможность изучения нескольких томографических срезов, получаемых устройством и лежащих в плоскости наложения электродных поясов. Для получения трехмерного изображения модели необходимо выбрать геометрические объекты, с помощью которых возможно построение структуры исследуемого объекта.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения (ПО) мо-

для трехмерной визуализации в составе информационно-измерительной системы электроимпедансной томографии.

Для достижения поставленной цели в рамках данной статьи предлагается разработка принципов построения ПО, алгоритмов функционирования ИИС ЭИТ, трехмерной модели томографического среза исследуемого объекта. В результате предложена разработка программного обеспечения модуля трехмерной визуализации, выполняющего функции приема, обработки, анализа и реконструкции визуализации измерительных данных.

Материалы и методы исследования

В качестве трехмерного конечного элемента выбрана треугольная прямая призма, так как за основу трёхмерной модели взяты треугольные нерегулярные сетки конечных элементов [1], каждая из которых представляет отдельный томографический срез. Соответственно, получение необходимого трехмерного конечного элемента в виде треугольной прямой призмы осуществляется параллельным переносом исходной геометрической фигуры (треугольника) перпендикулярно плоскости, в которой он лежит. Изображение полученного трехмерного конечного элемента показано на рис. 1.

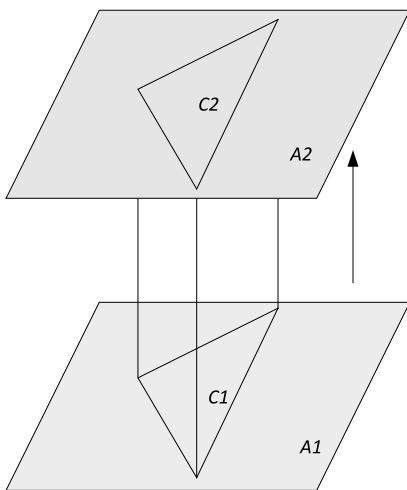


Рис. 1. Изображение конечного элемента томографического среза трехмерной ЭИТ

На рисунке представлен конечный элемент исходного томографического среза *C1*, лежащий в плоскости *A1*, в результате параллельного переноса образована плоскость *A2* и принадлежащий ей элемент томографического среза *C2*, и, соответственно, объемный конечный элемент, применение которого возможно в трехмерной ЭИТ.

Средствами платформы *Java* [2, 3] разработан модуль *monitoring3D*, включающий в себя пакеты, необходимые для работы с геометрическими объектами и отображения графического интерфейса.

На рис. 2 представлена структура организации модуля *monitoring3D*:

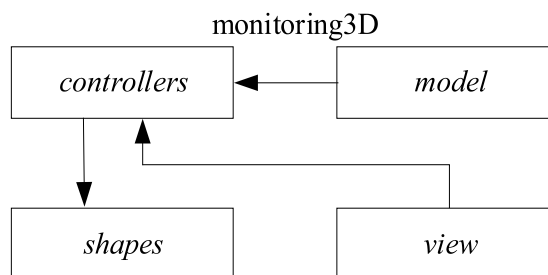


Рис. 2. Структурная схема программного модуля *monitoring3D*

В программный модуль *monitoring3D* входят следующие компоненты:

- 1) пакет *view*, который содержит классы, отвечающие за визуальное отображение данных как результат отслеживания изменения модели;
- 2) пакет *model*, который содержит классы для работы с подключенным устройством, служащим источником измерительных данных;
- 3) пакет *controllers* содержит набор классов, который интерпретирует действия пользователя, оповещая модель о необходимости изменений, а также включает в себя классы, нужные для взаимодействия с пакетом пакетов *view*;
- 4) пакет *shapes* содержит класс для построения 3-мерной фигуры.

Взаимодействие пакетов организовано согласно шаблону проектирования (паттерну) *MVC* [4, 5], или «Модель-Вид-Контроллер», который обеспечивает разделение ПО на три отдельных компонента: модель, вид и контроллер.

С помощью *MVC* происходит разделение вида и модели, между ними устанавливается протокол взаимодействия «подписка/оповещение». Вид должен гарантировать, что внешнее представление отражает состояние модели. При каждом изменении внутренних данных модель оповещает все зависящие от нее виды, в результате чего вид обновляет себя. Такой подход позволяет присоединить к одной модели несколько видов, обеспечив тем самым различные представления. Также преимуществом используемого является возможность создания нового вида без необходимости изменения модели. Данные решения позволяют повысить гибкость данных

модулей и сделать их максимально независимыми от других частей системы. Отдельные модули в дальнейшем можно будет использовать и в других системах. Таким образом, снижается проблема масштабируемости системы. В итоге использование выбранного шаблона проектирования позволило достичь следующих результатов:

- универсальность создаваемых модулей;
- упрощение процесса разработки программного обеспечения;
- гибкость проектирования;
- надежность, отказоустойчивость создаваемого программного продукта;

– масштабируемость выбранных технических решений.

Работа данного модуля происходит по следующему алгоритму: для отображения объекта визуализации в программе создается окно, содержащее трехмерную сетку конечных элементов, затем производится инициализация устройства – источника измерительных данных, которые по мере их получения реконструируются и визуализируются с помощью вышеуказанной трехмерной сетки в соответствии с расположением поясов пациента i . Блок-схема алгоритма показана на рис. 3.

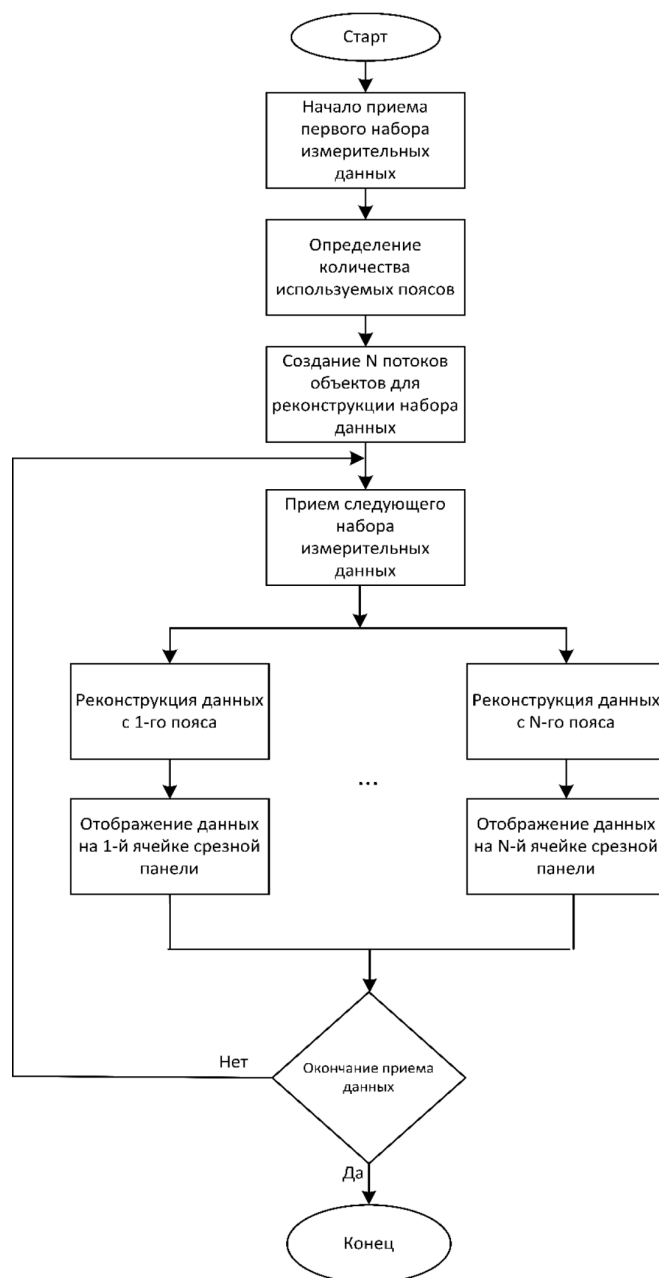


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы модуля *monitoring3D*

Создание треугольной прямой призмы

Построение трехмерного конечного элемента в виде прямой треугольной призмы реализовано с помощью платформы *JavaFX*, поддерживающей трехмерную компьютерную графику [6, 7], с использованием треугольной полигональной сетки. Трехмерная модель строится в прямоугольной декартовой системе координат.

С учетом того, что двухмерная модель строится на основе массива, хранящего координаты вершин треугольников [1], возможно использование данных координат для задания основания призмы. Высота призмы определяется координатой *height*, а соответственно, с ее помощью определяется высота и всего томографического среза.

Для создания прямой треугольной призмы осуществляется вызов соответствующей функции разработанного модуля – *createTriangularPrism*, в качестве аргументов указываются координаты основания призмы и её высота в прямоугольной декартовой системе координат.

Возможно задание дополнительных параметров визуализируемого трехмерного конечного элемента, таких как цвет и прозрачность, соответствующие результатам измерений для данного элемента.

Построение 3D модели

Таким образом, для перевода двухмерной модели, основанной на треугольной сетке конечных элементов, в трехмерную предлагается вместо построения двухмерных треугольников создание прямых треугольных призм на основе исходных данных координат. Полученная модель визуализирует внутренние структуры исследуемого объ-

екта как множество сегментов – призм, цвет которых изменяется в зависимости от значения изменения электрической проводимости в каждом сегменте, полученного в результате проведенных измерений и реконструкции их результатов. На рис. 4, а, показана исходная двухмерная модель, на рис. 4, б, и 4, в, показана трехмерная модель, построенная по алгоритму, описанному выше.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных работ разработан программный модуль, позволяющий построить трёхмерный объект исследования в окне интерфейса, в реальном времени отображающий изменение электрических свойств внутренних структур исследуемого объекта на основе реконструкции результатов измерений. В лабораторных условиях проведено тестирование программного обеспечения на искусственном макете (фантоме), подключённом к аппаратно-программному комплексу электроимпедансной томографии посредством двух поясов (показан на рис. 5, а).

Результаты работы разработанного приложения показаны на рис. 6, а–г.

В проведенном исследовании пригодности применения разработанного ПО в задачах трехмерной ЭИТ производилось перемещение неоднородности в фантоме в горизонтальной и вертикальной плоскости, показанное на рис. 5, б–г. В результате проводимых измерений и реконструкций измерительных данных на экране персонального компьютера наблюдались соответствующие перемещения конечных элементов построенной трехмерной модели (показаны на рис. 6, а–г).

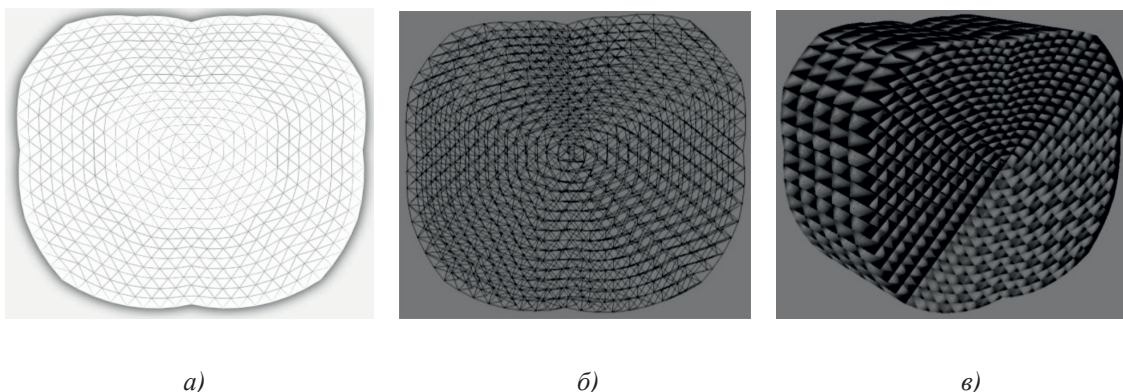
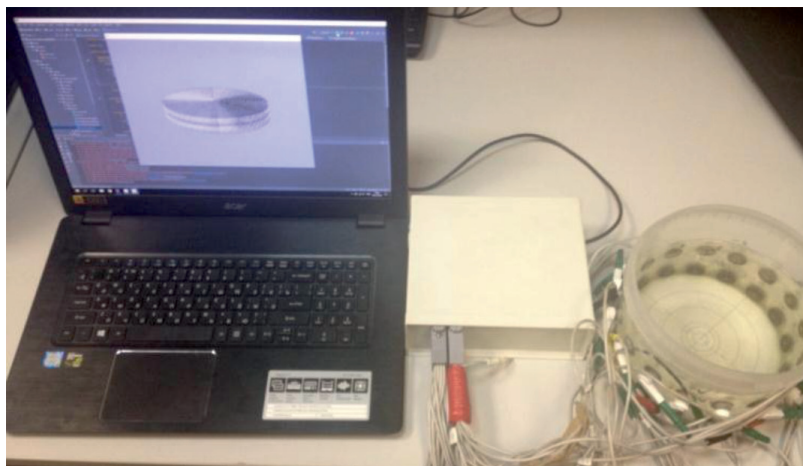


Рис. 4. а) сходная двухмерная модель томографического среза исследуемого объекта, б) полученная с помощью разработанного программного обеспечения трехмерная модель томографического среза исследуемого объекта, вид сверху, в) полученная с помощью разработанного программного обеспечения трехмерная модель пяти томографических срезов исследуемого объекта



a)



б)

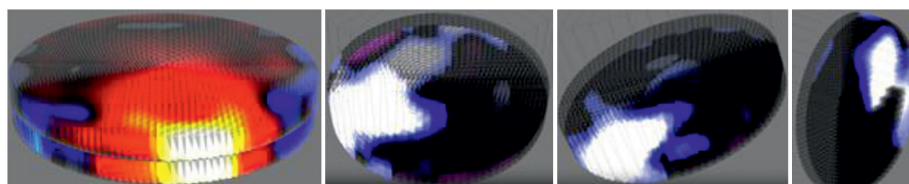


в)



г)

Рис. 5. а) аппаратно-программный комплекс электроимпедансной томографии с подключенным фантомом, б–г) перемещения неоднородности в фантоме



а)

б)

в)

г)

Рис. 6. а–г) Результаты работы разработанного программного обеспечения

Каждому элементу двухмерной матрицы ставятся в соответствие элементы соответствующего отдельного томографического среза. Программное обеспечение позволяет задание пользовательской цветовой палитры для визуализации изменения свойств каждого из конечных элементов в сетке. Цветовая

палитра может быть модифицирована, к отображаемым элементам модели может быть применено свойство «прозрачность» для более наглядного представления.

На показанном примере белым цветом обозначены области с более низкой электропроводностью.

Выводы

В результате выполненной работы была осуществлена разработка принципов построения программного обеспечения информационно-измерительной системы трехмерной электроимпедансной томографии. Были разработаны алгоритмы функционирования ИИС ЭИТ, построена трехмерная модель томографического среза исследуемого объекта.

В результате разработки программного обеспечения получено представление внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Полученное представление предоставляет пользователю новую функциональность в виде возможности изучения нескольких томографических срезов, соответствующих изменению электрических параметров внутренних структур, расположенных в плоскости размещения электродных поясов, подключенных к аппаратно-программному комплексу электроимпедансной томографии. Также разработанный программный модуль позволяет задавать пользовательскую цветовую палитру и уровни прозрачности для визуализируемых томографических срезов

для повышения информативности их отображения.

Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-196.2017.8.

Список литературы

1. Кучер А.И., Алексанян Г.К. Определение алгоритма реконструкции и параметров реконструирования для электроимпедансной томографии // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22751> (дата обращения: 19.12.2018).
2. Герберт Шилдт. Полный справочник по Java SE 6 = Java: The Complete Reference. 7-е изд. М.: «Вильямс», 2007. С. 1040.
3. Эккель Б. Философия Java. М.: Питер, 2016. 809 с.
4. Адам Фримен. ASP.NET MVC 4 с примерами на C# 5.0 для профессионалов, 4-е изд. = Pro ASP.NET MVC 4, 4th edition. М.: «Вильямс», 2013. С. 688.
5. Чедвик Дж., Снайдер Т., Панда Х. ASP.NET MVC 4: разработка реальных веб-приложений с помощью ASP.NET MVC. М.: «Вильямс», 2013. С. 432.
6. JavaFX Developer Home // Oracle | Integrated Cloud Applications and Platform Services [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/javafx-overview-2158620.html> (дата обращения: 06.11.2018).
7. Шилдт Г. Java 8. Полное руководство. 9 изд. М.: Вильямс, 2015. 1376 с.