

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)

№ 1 (44). 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-57003.
Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор) 25.02.2014г.

ISSN 2304-9235

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)

№ 1 (44). 2021 г.

Научно-технический журнал

Регистрационный номер ПИ № ФС77-57003

Главный редактор

д-р техн. наук, проф.

Шмырин Анатолий Михайлович

Зам. главного редактора

д-р техн. наук, доцент

Ризаева Юлия Николаевна

Редакционная коллегия:

Информатика, вычислительная техника и управление

д-р техн. наук, проф. Погодаев А.К. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Сараев П.В. (Россия)

д-р физ.-мат. наук, проф. Блюмин С.Л. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Кудинов Ю.И. (Россия)

д-р физ.-мат. наук, проф. Пеньков В.Б. (Россия)

Машиностроение

д-р техн. наук, доц. Амбросимов С.К. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Козлов А.М. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Мазур И.П. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Сосенушкин Е.Н. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Хейфец М.Л. (Беларусь)

Металлургия

д-р техн. наук, проф. Кнапински М. (Польша)

д-р техн. наук, проф. Коршиков В.Д. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Михайлов Е. (Болгария)

д-р техн. наук, проф. Найзабеков А.Б. (Казахстан)

д-р техн. наук, проф. Шкатов В.В. (Россия)

Транспорт и логистика

д-р техн. наук, проф. Корчагин В.А. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Клявин В.Э. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Ли Р.И. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Ляпин С.А. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Ризаева Ю.Н. (Россия)

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Учредитель: © ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30. E-mail: kaf-vm@stu.lipetsk.ru

**ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И
УПРАВЛЕНИЕ**

**COMPUTER SCIENCES, COMPUTER
ENGINEERING AND CONTROL**

СТР.

- | | | |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Ю.И. Кудинов, Е.С. Дуванов,
А.А. Пономарев, А.И. Раимжонов
Применение градиентного метода
для определения параметров
пропорционально-интегрально-
дифференциального регулятора | Yu.I. Kudinov, E.S. Duvanov,
A.A. Ponomarev, A.I. Raimjonov
Application of gradient method to
determine the pid regulator parameters |
| 13 | В.Ф.Осинин , Г.С. Строчковский,
С.Е. Строчковская, В.А. Корчагина
Компьютерный контроль качества
цифрового функционирования в
биотехнических системах | V.F. Osinin, G.S. Strokovsky,
S.E. Strokovskaya,
V.A. Korchagina
Computer quality control of digital
functioning in biotechnical systems |
| 16 | Ю.И. Кудинов, Е.С. Дуванов,
П.А. Сизых, А.А. Пономарев,
А.И. Раимжонов
Программная реализация системы
управления тепловым объектом с
использованием контроллера Siemens
SIMATIC S7-1200 | Yu.I. Kudinov, E.S. Duvanov,
P.A. Syzykh, A.A. Ponomarev,
A.I. Raimjonov
A thermal object control system
software implementation using the
Siemens SIMATIC S7-1200 controller |
| 22 | А.М. Шмырин, А.Г. Ярцев,
С.Д. Ефанов
Применение алгоритма редукции для
окрестностных систем на примере
модели печи обжига клинкера | A. M. Shmyrin,
A.G. Yartsev, S.D. Efanov
Application of the reduction
algorithm for neighborhood systems
on the example of a clinker kiln
model |

МАШИНОСТРОЕНИЕ

MACHINE-BUILDING

- | | | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 29 | В.В. Телегин
3D-моделирование и исследование
сварной конструкции рамы
культиватора в Autodesk inventor | V.V. Telegin
An Autodesk inventor 3-D modeling
& research of a cultivator frame
welded structure |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА

TRANSPORT AND LOGISTICS

- | | | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 34 | А.Ю. Кузнецов, А.С. Лукинов
Работа транспортной системы
г. Липецка на газомоторном топливе | Yu. Kuznetsov, A. S. Lukino
Application of natural gas vehicle fuel
in the Lipetsk city transport system |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- | | | |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 39 | <p>Ю.Н. Ризаева, С.Н. Сухатерина, А.Ю. Кузнецов
Государственная политика в области автомобильного транспорта</p> | <p>Yu.N. Rizaeva, S.N. Sukhaterina, A.Yu. Kuznetsov
State policy in the field of road transport</p> |
| 43 | <p>Д.А. Кадасев, Н.В. Воронин
Повышение эффективности работы автомобильной моечной станции самообслуживания методом имитационного моделирования</p> | <p>D.A. Kadasev, N.V. Voronin
Improving the efficiency of the self-service car wash station by simulation modeling</p> |
| 48 | <p>А.Н. Быконя, А.Ю. Мельников
Восстановление корпусных деталей автомобилей полимерными материалами с применением инфракрасной термообработки</p> | <p>A.N. Bykonya, A.Yu. Melnikov.
Restoration of car body parts with polymer materials using infrared heat treatment</p> |

МЕТАЛЛУРГИЯ

METALLURGY

- | | | |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 54 | <p>В.Н. Титов, В.И. Басов, Г.С. Наумова
О длительности обновления коксовой насадки</p> | <p>V.N. Titov, V.I. Basov, G.S. Naumova
On the coke packing renewal period</p> |
| 57 | <p>Е.А. Третьяков, А.Н. Роговский, Т.В. Кравченко, А.О. Кисурина
Совершенствование технологии производства ферросилиция марки ФС65</p> | <p>E.A. Tretyakov, A.N. Rogotovskiy, T.V. Kravchenko, A.O. Kisurina
Improving the FS65 ferrosilicium production technology</p> |
| 61 | <p>Е.А. Третьяков, А.Н. Роговский, Т.В. Кравченко, И.В. Куприянова, А.О. Кисурина
Анализ технологии производства ферросилиция марки ФС65 с использованием Банического кварцита</p> | <p>E.A. Tretyakov, A.N. Rogotovskiy, T.V. Kravchenko, I.V. Kupriyanova, A.O. Kisurina
Analysis of the FS65 ferrosilicium production technology using Banic quartzite</p> |

УДК 681.5

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНОГО МЕТОДА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА**

Липецкий государственный технический университет

Ю.И. Кудинов, Е.С. Дуванов,
А.А. Пономарев, А.И. Раимжонов

В работе рассматриваются особенности применения градиентного метода, которые заключаются в том, что оптимальные значения параметров пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора определяются в программных комплексах MATLAB-SIMULINK (в режиме симуляции), а оценка качества системы управления с этим ПИД регулятором осуществляется на реальном объекте и в режиме реального времени.

1. Описание системы и объекта ПИД управления

ПИД регулятор широко используется в традиционных системах управления с отрицательной обратной связью. Данный тип регулирования используется не только в традиционных, но и в гибридных системах автоматического управления, обеспечивающих выполнение ограничений на такие параметры качества, как время нарастания, перерегулирование и время переходного процесса.

В настоящее время существуют различные версии традиционных ПИД регуляторов (П, ПИ, ПД и ПИД) и методы их синтеза, которые заключаются в выборе таких параметров настройки (изменяющих степень участия в законе регулирования П, И и Д составляющих), при которых обеспечивается требуемое качество регулирования. Математическое описание ПИД регулятора имеет вид

$$u(t) = K_{\text{П}} \left[e(t) + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_{\text{Д}} \dot{e}(t) \right], \quad (1)$$

где $u(t)$ – выход регулятора или вход объекта; $e(t) = y^0(t) - y(t)$ – ошибка регулирования; $y^0(t)$ – заданное значение выхода; $K_{\text{П}}$ – пропорциональный коэффициент; $T_{\text{И}}$ – время интегрирования; $T_{\text{Д}}$ – время дифференцирования; $\dot{e}(t)$ – скорость ошибки.

Замкнутая система автоматического управления с ПИД регулятором и объектом управления (ОУ) изображена на рис. 1

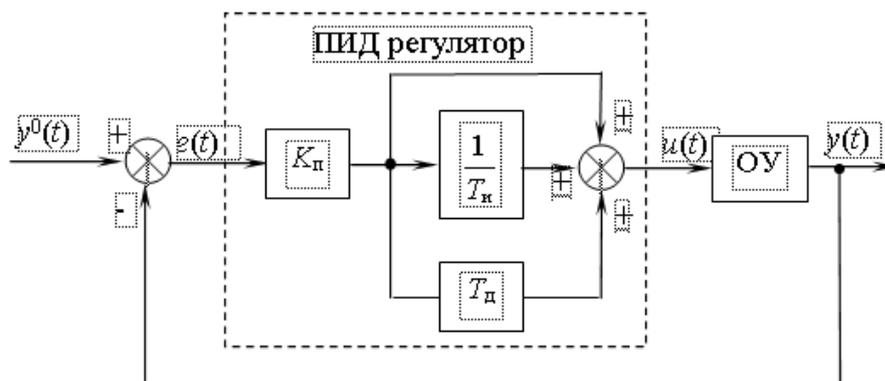


Рис.1. Замкнутая система автоматического управления с ПИД регулятором:
 $y^0(t)$ – задание; $y(t)$ – выходной сигнал системы, $e(t) = y^0(t) - y(t)$ – ошибка регулирования; $u(t)$ – управление

Синтез линейного ПИД регулятора заключается в определении или настройке его параметров K_p , T_i , T_d , обеспечивающих требуемое качество переходного процесса.

В качестве объекта управления выбран учебный стенд «Тепловой объект», состоящий из цилиндрического металлического корпуса с термоизоляцией, вентилятора с тиристорным регулятором, инфракрасной лампы накаливания, двух датчиков температуры и четырехпозиционной ручной заслонки, расположенной между датчиками температуры для качественного контроля температуры. В статье [1] детально описаны элементы учебного стенда «Тепловой объект», а также дается обоснование выбора указанных элементов для качественного управления температурой. В настоящей работе дается описание следующих видов работ, связанных с определением оптимальных параметров ПИД регулятора:

- получение передаточной функции объекта управления;
- расчет параметров ПИД регулятора в режиме симуляции;
- реализация ПИД регулирования на реальном объекте и в режиме реального времени.

2. Получение передаточной функции объекта управления

Для нахождения передаточной функции теплового объекта проводится активный эксперимент. Последовательность получения кривой разгона температуры теплового объекта выглядит следующим образом:

- обеспечение исходного установившегося значения мощности инфракрасной лампы в тепловом объекте;
- величина скачка, равная мощности инфракрасной лампы, составляющей 100 %, выбирается из условия, что получаемая при скачке температура в тепловом объекте не будет превышать 61°C ;
- наносится скачкообразное возмущение по мощности инфракрасной лампы.

На рис. 2 представлен график кривой разгона температуры T в тепловом объекте.

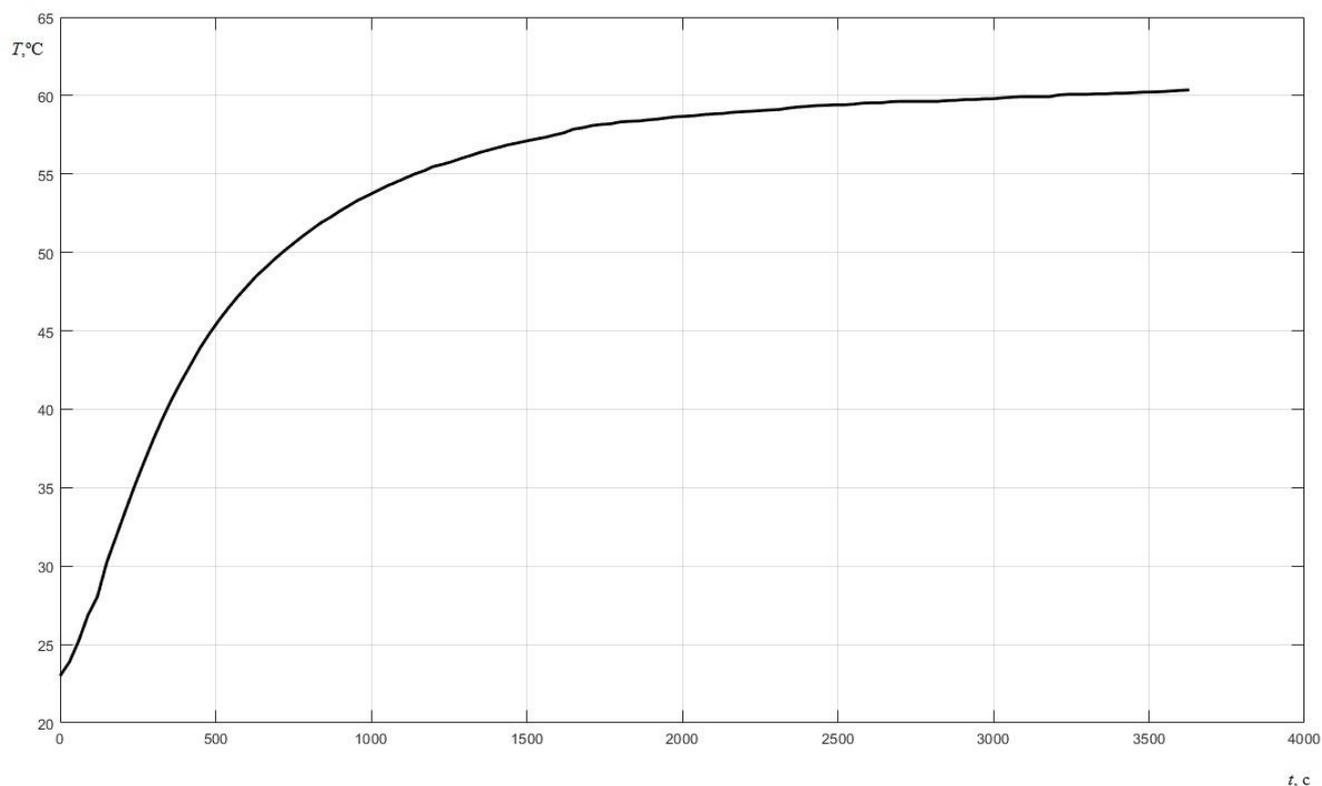


Рис. 2. График кривой разгона температуры в тепловом объекте

Полученные значения температуры представлены в табл.

Таблица

Результаты активного эксперимента

№	Мощность инфракрасной лампы, %	Время активного эксперимента, с	Температура в тепловом объекте, °C
1	2	3	4
1	100	0	23
2	100	30	23.88
3	100	60	25.24
4	100	90	26.89
5	100	120	28.5
6	100	150	30.23
7	100	180	31.87
8	100	210	33.52
9	100	240	35.13
10	100	270	36.63
11	100	300	38.09

Окончание таблицы

1	2	3	4
12	100	330	39.44
13	100	360	40.68
14	100	390	41.8
15	100	420	42.85
.....			
117	100	3480	60.22
118	100	3510	60.23
119	100	3540	60.25
120	100	3570	60.29
121	100	3600	60.33
122	100	3630	60.36

Для получения передаточной функции теплового объекта используется метод площадей Симою. В статье [2] представлен программный код данного метода. Используя код программы и табличные экспериментальные значения, можно получить передаточную функцию второго порядка для теплового объекта, которая имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{37.36}{66.29s^2 + 11.73s + 1}. \quad (2)$$

3. Расчет параметров ПИД регулятора в режиме симуляции

В программной среде MATLAB-SIMULINK создается проект, в который из библиотеки «Library Browser» - *Commonly Used Blocks* добавляется один блок «Step», блок «Transfer Fcn» для записи параметров передаточной функции, блок «PID Controller», в который записываются переменные $P=K_p$, $I=K_p/T_i$, $D=K_p \cdot (K_p=K_p, T_i=T_i, T_d=T_d)$, блок оптимизатора «Check Step Response Characteristics» для поиска неизвестных переменных параметров ПИД регулятора, блок осциллографа «Scope». Соединяются все эти элементы так, как показано на рис. 3.

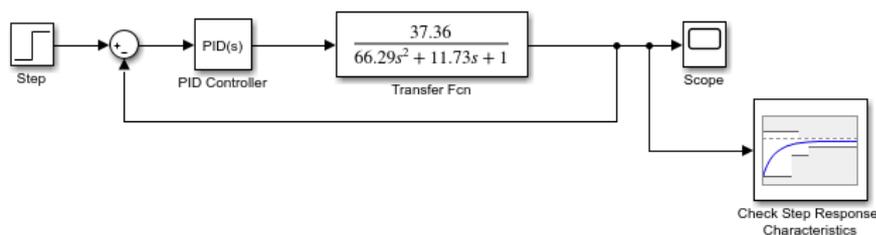


Рис. 3. Система автоматического управления температурой теплового объекта с ПИД регулятором в режиме симуляции

Требуется открыть блок оптимизатора «*Check Step Response Characteristics*» и в окне «*Create Design Variable set*» на рис.4 задать начальные значения, равные единице, и пределы изменения параметров ПИД: нижние пределы равны 0, а верхние – inf.

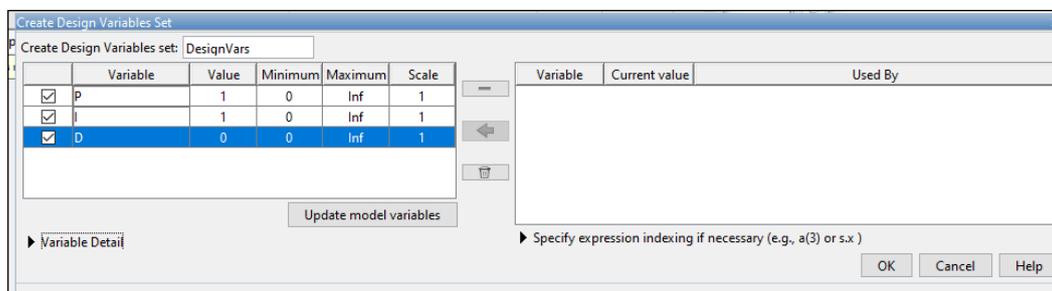


Рис. 4. Окно задания исходных значений и пределов изменения параметров регулятора

На рис. 5 представлено окно выбора метода оптимизации «*Response Optimization Options*». В качестве метода оптимизации выбран градиентный спуск (*Gradient descent*), который обладает высокой сходимостью при небольшом числе итераций и которому присущи все недостатки градиентных методов (зацикливание в локальных экстремумах и «оврагах»). Формулы для расчета параметров ПИД регулятора имеют вид

$$Kp[j+1] = Kp[j] - H[Kp] \cdot \nabla F(Kp[j]);$$

$$Ti[j+1] = Ti[j] - H[Ti] \cdot \nabla F(Ti[j]);$$

$$Td[j+1] = Td[j] - H[Td] \cdot \nabla F(Td[j]).$$

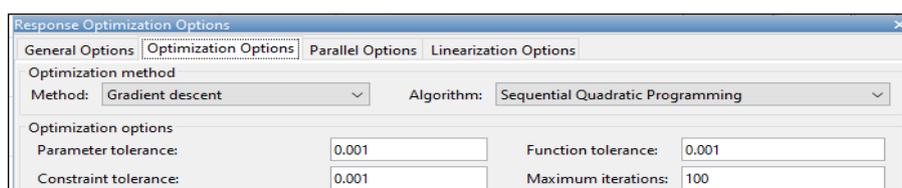


Рис. 5. Окно выбора метода оптимизации

Требуется запустить оптимизатор. В открывшемся диалоговом окне «*Optimization Progress Report*» (рис. 6) отображено количество итераций поиска коэффициентов ПИД регулятора градиентным методом, а надпись «*Optimization converged*» свидетельствует об успешном завершении поиска данных коэффициентов.

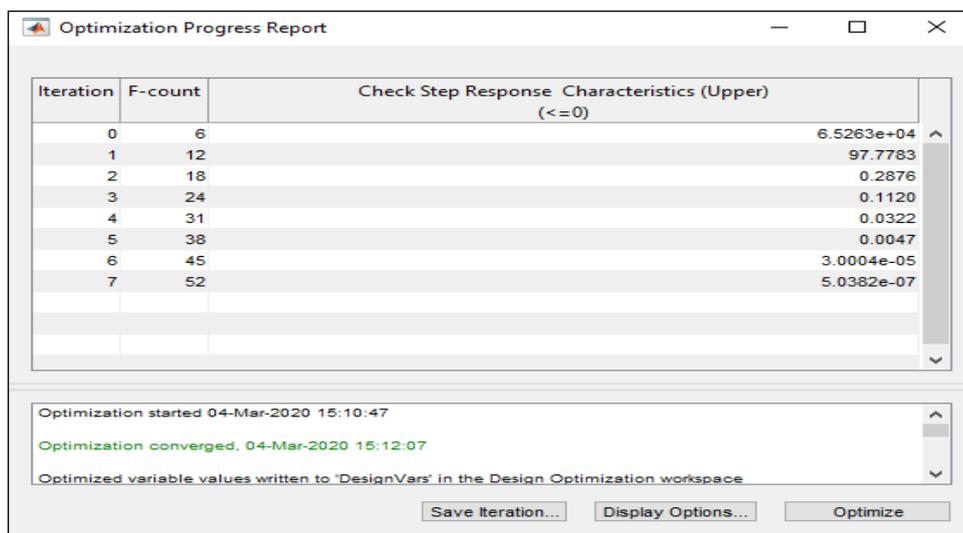


Рис. 6. Диалоговое окно блока оптимизации

В результате оптимизации были получены следующие значения параметров ПИД регулятора: $K_p = 5.5916$, $T_i = 0.0212$, $T_d = 4.6163$. На рис. 7 представлен график переходной функции системы автоматического управления с моделью теплового объекта и ПИД регулятора с найденными оптимальными параметрами в режиме симуляции.

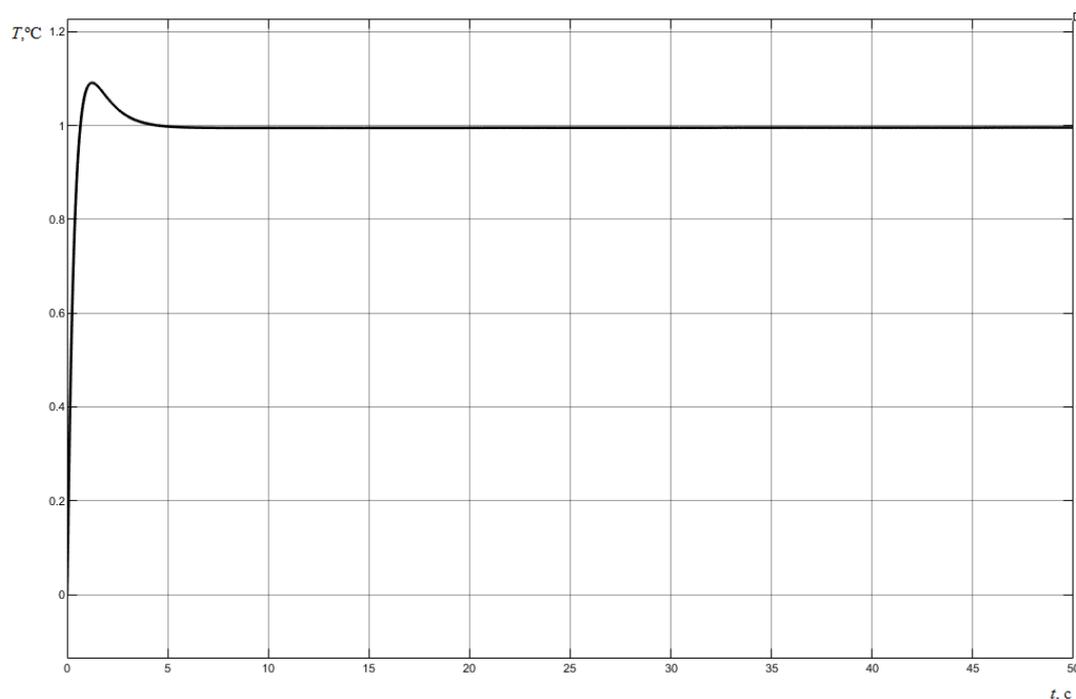


Рис. 7. График переходной функции системы автоматического управления с моделью теплового объекта и оптимальным ПИД регулятором

Теперь необходимо подтвердить оптимальность найденных параметров ПИД регулятора для случая системы с реальным объектом и в режиме реального времени.

4. Реализация ПИД регулирования на реальном объекте и в режиме реального времени

Для реализации традиционного ПИД регулирования в режиме реального времени к предыдущей схеме добавляется один блок «*Saturation*», в который вводится значение 100, ограничивающее выходное значение записи в блок *OPC*-сервера, блок «*Gain*» для усиления входного сигнала и блок «*Set temp*» для записи заданной температуры в тепловом объекте. Схема системы автоматического управления температурой теплового объекта на основе ПИД регулирования в режиме реального времени представлена на рис. 8.

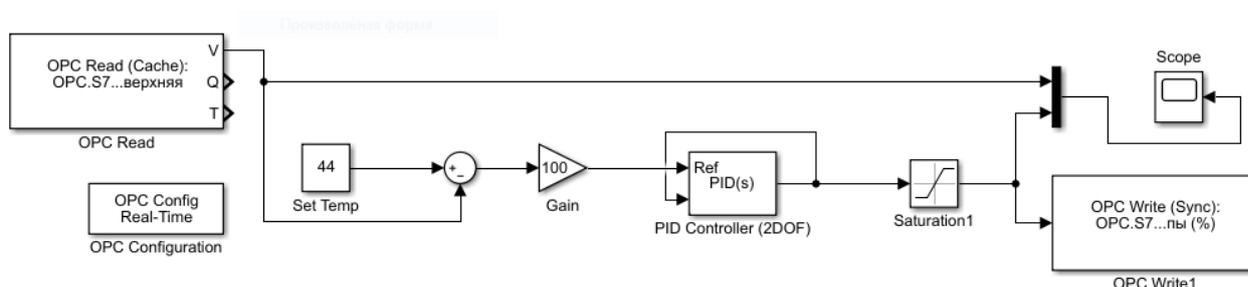


Рис. 8. Схема системы автоматического управления температурой теплового объекта с ПИД регулятором в режиме реального времени

В блок «*Set temp*» задается установившееся значение в тепловом объекте, равное 44 °С и запускается окно осциллографа «*Scope*».

На рис. 9 представлен график переходного процесса системы автоматического управления с оптимальным ПИД регулятором в режиме реального времени.

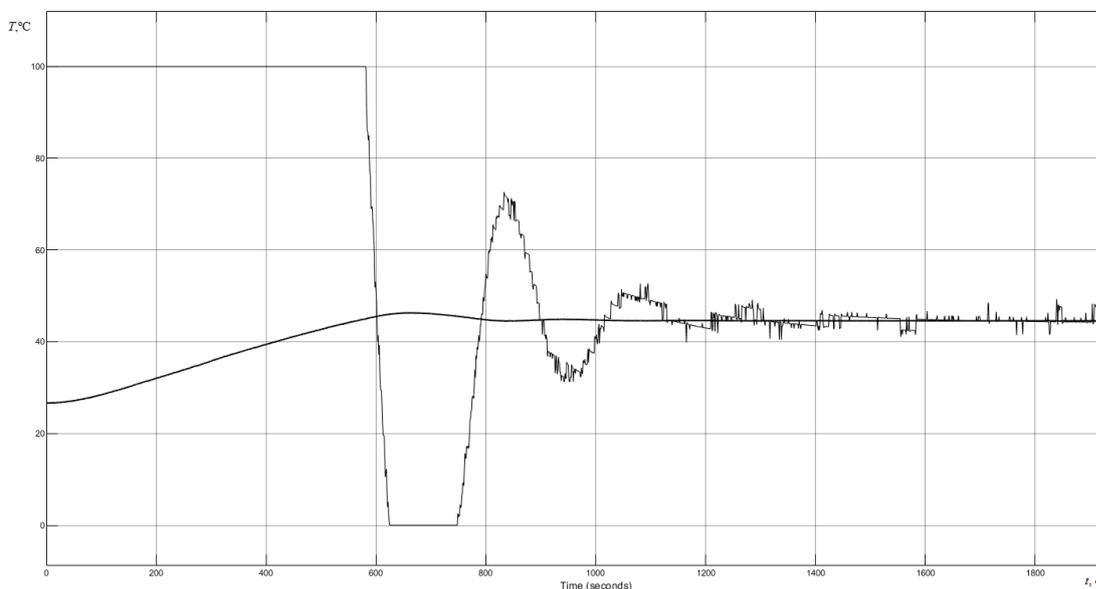


Рис. 9. График переходного процесса системы автоматического управления с оптимальным ПИД регулятором в режиме реального времени

Далее можно записать показатели качества САУ с реальным объектом и с параметрами ПИД регулятора, полученными градиентным спуском в режиме симуляции: время нарастания – 400 с, перерегулирование – 1,5 °С, время переходного процесса – 830 с.

Заключение

Исходя из проведенных экспериментов, можно сделать вывод, что системы автоматического управления с моделью объекта и ПИД регулятором с оптимальными параметрами, найденными градиентным спуском в режиме симуляции, а также с реальным объектом и оптимальным ПИД регулятором в режиме реального времени обладают удовлетворительными показателями качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fuzzy Quadratic Control of Thermal Object / F.F. Pashchenko, Y.I. Kudinov, A.F. Pashchenko, E.S. Duvanov // Proceedings of the 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA 2019). – Lipetsk. – IEEE. – 2019. – P. 288–293. – Text : immediate.

2. Разработка и исследование моделей управления тепловым режимом работы инкубационного шкафа / Ю.И. Кудинов, Е.С. Дуванов, А.Ю. Келина, Н.П. Гвозденко. – Текст : непосредственный. // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2019. – № 2 (40). – С. 10–16.

Ключевые слова: ПИД регулятор, тепловой объект, температура, регулирование, моделирование

Сведения об авторах

Кудинов Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики Липецкого государственного технического университета.

Дуванов Евгений Сергеевич, аспирант кафедры информатики Липецкого государственного технического университета.

Пономарев Александр Александрович, студент кафедры информатики Липецкого государственного технического университета.

Раимжонов Арслонбек Исмоилович, студент кафедры информатики Липецкого государственного технического университета.

E-mail: kudinov.yi@mail.ru, evgenyduvanov@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

APPLICATION OF GRADIENT METHOD TO DETERMINE THE PID REGULATOR PARAMETERS

Yu.I. Kudinov, E.S. Duvanov,
A.A. Ponomarev, A.I. Raimjonov

The paper considers the gradient method application peculiarity consisting in that the optimal PID regulator parameter values are determined in the MATLAB-SIMULINK software complexes (in simulation mode), and the quality of the control system with this PID regulator is evaluated on a real object and in real time.

Keywords: PID regulator, thermal object, temperature, regulation, simulation

КОМПЬЮТЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЦИФРОВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Липецкий государственный технический университет

В.Ф. Осинин, Г.С. Строковский,
С.Е. Строковская, В.А. Корчагина

В статье предложен компьютерный контроль качества функционирования в биотехнических системах. В основу данной работы заложен принцип обобщающей эмпирической модели аналога атмосферного радиошума.

В настоящее время парк биотехнических приборов и систем очень значителен и непрерывно увеличивается. Это связано с появлением новых видов инфекционных заболеваний, требующих более тщательных видов исследования. Одним из необходимых методов, основанных на переходе от аналоговых форм к цифровым, где точность отсчетов при измерениях требуемых параметров за счет использования статистических пороговых уровней, является компьютерный контроль коэффициента защиты, то есть качества работы, как отдельных приборов, так и сложных медицинских биосистем.

Предлагаемая работа посвящена именно этой проблеме и использует в своей основе интегральную функцию распределения (ИФР) вероятностей превышения некоторого порога напряжения измеряемого сигнала. Здесь представляется целесообразным рассмотреть функционирование магниторезонансного комплекса и возможности компьютерного управления его функционированием.

На данный момент наиболее подходящей для выбора ИФР является статистическая обобщающая эмпирическая модель (ОЭМ) Осинина В.Ф. [1], имеющая вид

$$P(E > E_0) = \left\{ \begin{array}{l} \left[1 + \left(\frac{E_0}{10^{b/q_1} E_0'} \right)^{q_1} \right]^{-1}, 0 \leq E_0 < E_0' \\ \left[1 + \left(\frac{E_0}{10^{b/q_2} E_0'} \right)^{q_2} \right]^{-1}, E_0' \leq E_0 < \infty \end{array} \right. \quad (1)$$

где E – напряжение измеряемой величины; q_1, q_2, b, E_0' – некоторые параметры, причем $q_1 < q_2$.

Для определения параметров модели используются специальные координаты

$$\begin{aligned} y &= \lg \frac{P}{1-P} \\ x &= \lg \frac{E_0}{E_{\text{усл}}} \end{aligned} \quad (2)$$

в которых функция (1) линеаризуется (рис. 1). Здесь $q_1 = -tg\varphi_1$, $q_2 = -tg\varphi_2$.

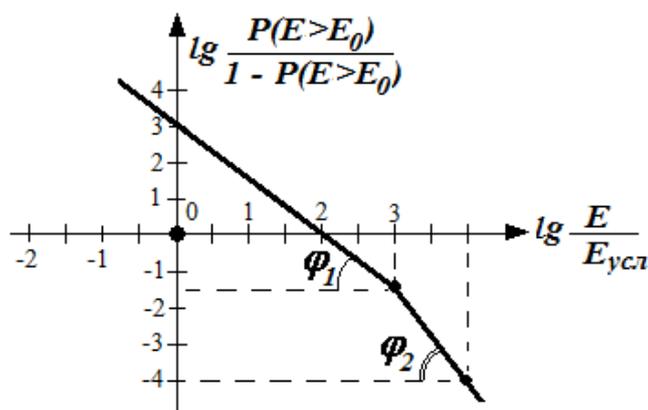


Рис.1. ОЭМ в координатах

Важно отметить, что прибор МРТ работает при малых индуктивностях магнитного постоянного тока, поэтому качество работы его в реальном масштабе времени зависит от отношения интенсивности измеряемого в процессе определения уровня заболевания. Требуется непрерывно контролировать интенсивность полезного отражения по закону Кирхгофа. Для расчета этой интенсивности нужно использовать формулу (2), где применяется выражение без квадрата напряжения

$$E_{CP.KB} = \left[\int_0^{\infty} E^2 \cdot W(E) dE \right]^{0,5} = \left[\int_0^{\infty} E \cdot P(E > E_0) dE \right]^{0,5}. \quad (3)$$

Таким образом, зная аналитический вид формулы (1), параметры которой определяются цифровым методом, можно с высоким качеством определять состояние заболевшего пациента.

На рис. 2 приведена блок-схема оперативного контроля коэффициента защиты (качества) исследования, где в основу заложено сравнение требуемого уровня с реальным. В случае, когда наступает равенство требуемой интенсивности полезного сигнала с измеренным, система через контактное реле отключает установку МРТ и подключает ее через обратный канал связи для продолжения работы для достижения равенства интенсивностей.

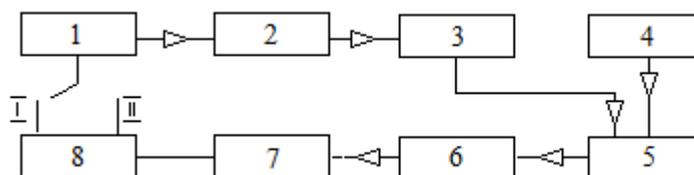


Рис. 2. Блок-схема оперативного контроля коэффициента защиты

Обозначения: блок 1- входная текущая информация об уровне изменения напряжения E, отраженного по закону Кирхгофа от облученного магнитным полем участка тела пациента; блок 2 – расчет на ЭВМ [3] параметров формулы (1); блок 3 – переход от распределения E в блоке 1 в координаты формулы (2); блок 4 – требуемый тестовый уровень интенсивности ($E_{ср.кв.}$ – среднеквадратичный уровень) полезного сигнала E; блок 5 – расчет поправки для отношения сигнала к шуму; блок 6 – определение знака поправки по данным блока 5; блок

7 – отраженный канал связи для передачи данных из блока 6 на управляющее процессом реле 8.

Заключение

Материалы статьи могут быть рекомендованы вузам для включения в учебный курс дисциплин, а также разработчикам более совершенных магнитотерапевтических систем, а также медицинским учреждениям, работающим по поставленной проблеме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Осинин, В.Ф.** КНЧ-излучения Земли и его связь с биоритмами человека: монография/ В.Ф. Осинин, Т.А. Герасименко, Е.Г. Углова. – Государственное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет». – Москва: Спутник+, 2017. – 59 с. – Текст : непосредственный.

2. **Осинин, В.Ф.** Метод преобразования графического семейства функций распределения атмосферного радишума в аналитическое с использованием обобщающей эмпирической модели / В.Ф. Осинин, Д.А. Подлесных. – Текст: непосредственный // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – №10. – С. 20–22.

3. О возможности представления распределения среднего числа выбросов огибающей атмосферного ОНЧ – радишума обобщенной t-моделью 18/ В.Ф. Осинин, С.Ф. Четвериков, Л.Г. Гамова [и др.]. – Текст: непосредственный // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2014. – № 2. – С. 22 –25.

4. Программа проверки верности показаний анализатора в режиме определения среднего числа выбросов / О.В. Цаплин, С.Н. Тарасов. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615786, 30.06.2014. – Электронная программа : электронная.

5. **Тарасов, С.Н.** Преобразование распределения вероятностей огибающей атмосферных радишумов из одной полосы в другую с использованием обобщающей эмпирической модели / С.Н. Тарасов, В.Ф. Осинин, С.Я. Пастухова. – Текст : непосредственный // Вестник РГРТУ. – 2016. – № 57 – С. 35 – 41.

Ключевые слова: функция распределения, огибающая, среднее число импульсов, узкополосный радишум.

Сведения об авторах

Осинин Владимир Федорович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и биомедицинской техники Липецкого государственного технического университета.

Строковский Григорий Семенович, кандидат технических наук, доцент кафедры физики и биомедицинской техники Липецкого государственного технического университета.

Строковская Светлана Евгеньевна, старший преподаватель кафедры физики и биомедицинской техники Липецкого государственного технического университета.

Корчагина Вера Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры физики и биомедицинской техники Липецкого государственного технического университета.

E-mail: lavk.korchagin@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

COMPUTER QUALITY CONTROL OF DIGITAL FUNCTIONING IN BIOTECHNICAL SYSTEMS

V. F. Osinin, G.S. Strokovsky,
S.E. Strokovskaya, V.A. Korchagina

The paper proposes a computer quality control of functioning in biotechnical applications. This work is based on the principle of a generalizing empirical model of an atmospheric radio noise analog.

Keywords: distribution function, envelope, average number of pulses, narrow-band radio noise.

УДК 658.012.011.56

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОМ ОБЪЕКТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРА SIEMENS SIMATIC S7-1200

Липецкий государственный технический университет

Ю.И. Кудинов, Е.С. Дуванов,
П.А. Сизых, А.А. Пономарев, А.И. Раимжонов

В работе рассматривается описание программной реализации системы управления учебным стендом «Тепловой объект» в программируемой среде Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) на основе программируемого логического контроллера (ПЛК) SIMATIC S7-1200 с помощью графического языка программирования Function Block Diagram (FBD).

При разработке системы управления учебным стендом «Тепловой объект» [1] на основе ПЛК SIMATIC S7-1200 в программной среде TIA Portal воспользуемся такими основными элементами, как программные блоки. Программный блок – определенная область, содержащая часть кода программы, вызываемой центральным процессором в заданный момент времени, в зависимости от уровня приоритета данного блока.

Ниже приводится описание основных программных блоков:

организационный блок (OB) – служит для структурирования программы пользователя и управляемый событиями, побуждающими центральный процессор к исполнению;

функциональный блок (FB) – кодовый блок, который выполняет определенные операции и расчеты, использующие данные, хранящиеся в блоке данных (BD);

функция (FC) – кодовый блок, который выполняет многократный набор операций, математических расчетов, вызываемый несколько раз в различных местах программы;

блок данных (BD) – хранилище данных для всех остальных программных блоков. Основным отличием блока FC от FB является возможность использования локальных данных, записанных в стеке для временных данных.

Описание процесса создания блоков программирования и их настройки в среде TIA PORTAL

В качестве языка программирования выбран язык FBD (Function Block Diagram), который представляет собой графическое отображение структуры программы. Главной особенностью данного языка является способность реализовать не только простые алгоритмы, используя логику, но и более сложные задачи непрерывного управления.

Система управления тепловым объектом состоит из пяти главных элементов: контроллера, нагревателя, вентилятора и двух термопар [2].

Программы для линейного управления нагревателем и вентилятором имеют следующую структуру: рабочая область Network 2, содержащая элемент MOVE, который присваивает значения переменных IN всех типов данных длиной 8, 16 и 32 бит значению переменной OUT; элемент NORM_X и SCALE_X (рис. 1), где NORM_X – команда, нормализующая входное значение VALUE внутри интервала, заданного минимальным MIN и максимальным MAX пределами, по формуле

$$OUT = \frac{(VALUE - MIN)}{(MAX - MIN)},$$

где $OUT \in [0.0;1.0]$.

SCALE_X – команда, масштабирующая входное значение VALUE в диапазоне от MIN до MAX по формуле

$$OUT = VALUE \cdot (MAX - MIN) + MAX,$$

где $VALUE \in [0.0;1.0]$.

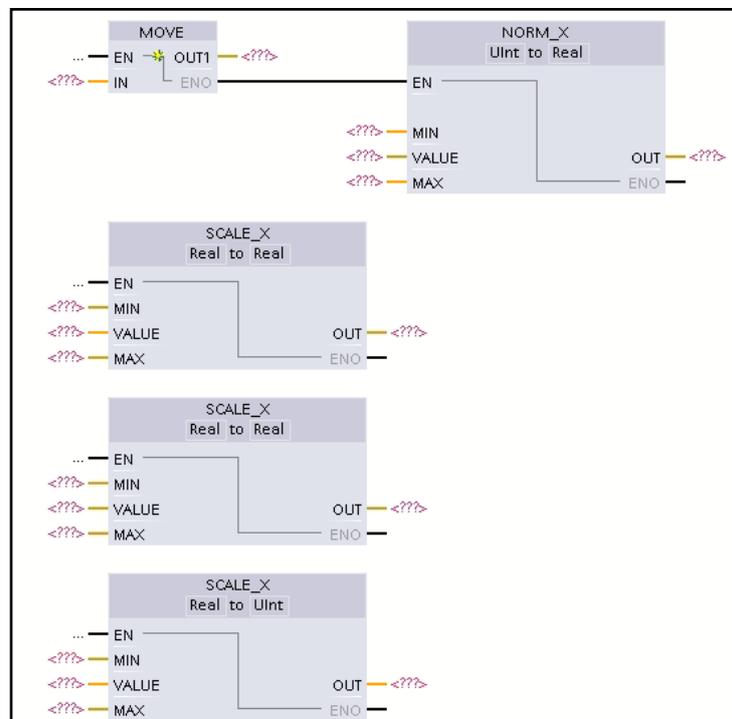


Рис. 1. Блоки NORM_X и SCALE_X в рабочей среде Network 2

Создаются теги, в которых записываются данные, необходимые для расчетов. Тег – метка-идентификатор, связанная с физическим входом или выходом контроллера (данные хранения: значение, тип данных, комментарий) [3].

В дереве проекта создается первый тег, в котором будет сохраняться вводимое значение переменной в процентах, регулирующее напряжение на лампе. Название тега – Control_signal_lamp (рис. 2). Тип данных – UInt, позволяющий выразить целочисленные значения от 0 до 4 294 967 295. Далее определяется виртуальный адрес, где будет храниться переменная. Присваивается тегу адрес «%MW1», показанный на рис. 2.

	Name	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...	Comment
1	Control_signal_lamp	UInt	%MW1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Управляющий сигнал на Лампу. (0-100%)
2	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рис. 2. Окно тега Control_signal_lamp

Далее нормализуется введенное значение управляющего сигнала в диапазоне от 0 до 1 (рис. 3). Следует обратиться к блоку NORM_X, на входе которого имеются три переменные: MAX, MIN и VALUE. VALUE – значение тега Control_signal_lamp, а MAX и MIN равны, соответственно 100 и 0 [4].

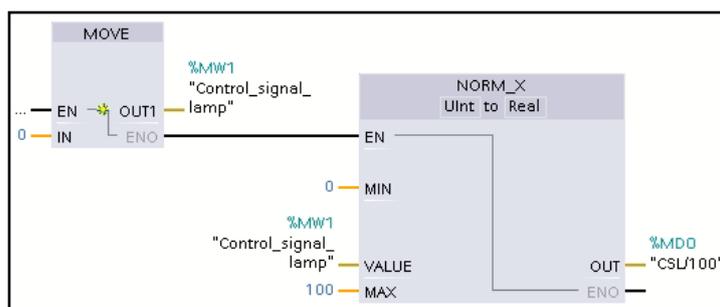


Рис. 3. Нормализация управляющего сигнала, подаваемого на лампу

Далее устанавливается масштаб управляющего сигнала в диапазоне от 0В до 5В и от 0В до 230В для того, чтобы проектировщик смог рассчитать напряжение, вырабатываемое контроллером и напряжение, подаваемое с преобразователя на лампу.

Следует выполнить масштабирование сигнала в диапазоне от 0 до 13824, тем самым представляя его в численном виде аналогового сигнала, где 0 – 0В, 13824 – 5В. Результат вычислений записывается в тег Lamp_output, который связан с физическим выходом контроллера (рис. 4).

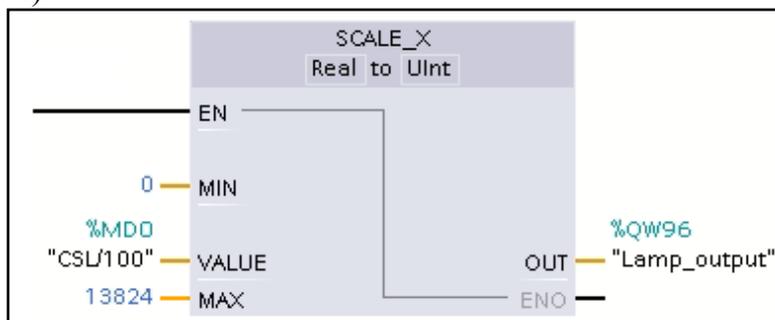


Рис. 4. Расчет численного представления аналогового сигнала

Аналогичным образом создается программа, с помощью которой будет изменяться напряжение, подаваемое на вентилятор. На рис. 5 представлены блоки нормализации значения управляющего сигнала, подаваемого на вентилятор.

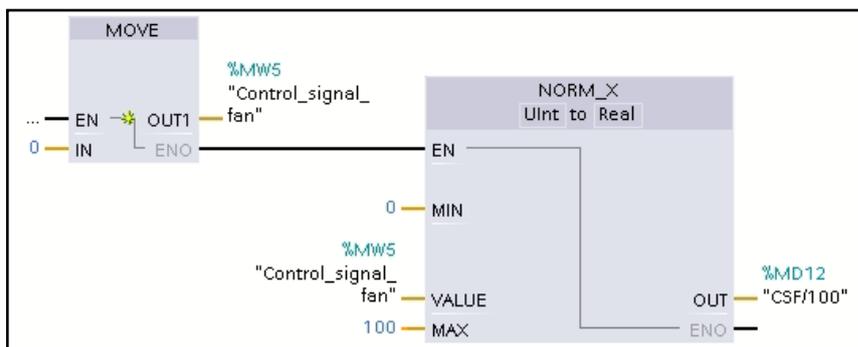


Рис. 5. Нормализация значения управляющего сигнала, подаваемого на вентилятор

В заключении составляется программа, считывающая аналоговые сигналы, поступающие с двух преобразователей ОВЕН НРТ-1. Производится масштабирование этих сигналов в следующем диапазоне: 0 – 0 °С, 27648 – 100 °С.

В рабочей области Network 4 необходимо создать четыре программных блока: два NORM_X и два SCALE_X и связать теги с программными блоками, как это показано на рис. 6 для первого преобразователя.

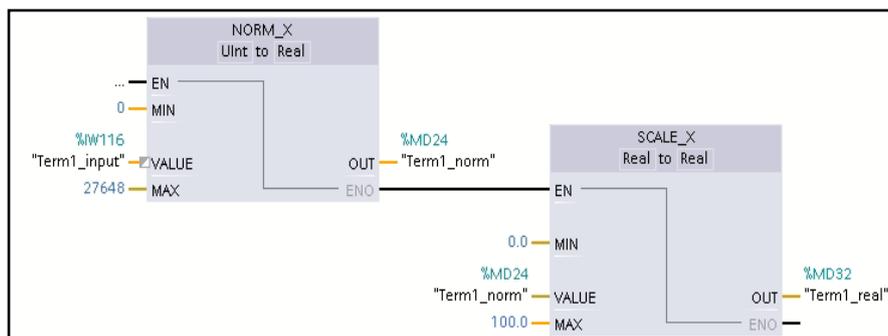


Рис. 6. Масштабирование сигнала с первого преобразователя

Далее требуется связать теги с программными блоками для второго преобразователя, как это показано на рис. 7.

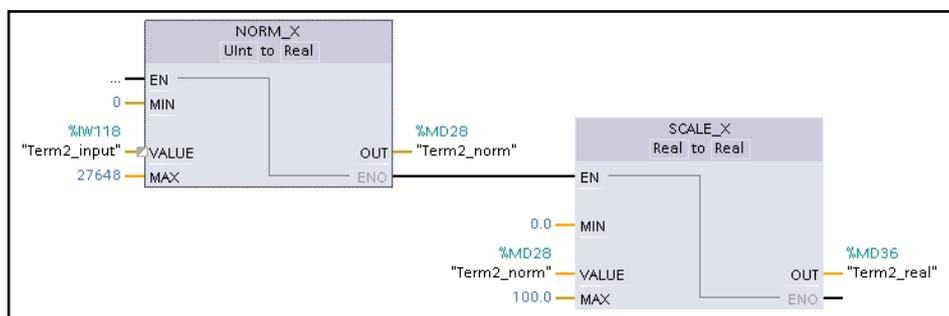


Рис. 7. Масштабирование сигнала со второго преобразователя

Компиляция программы в среде TIA PORTAL

Для компиляции проекта требуется загрузить его в ПЛК с помощью кнопки Download to device (рис. 8).

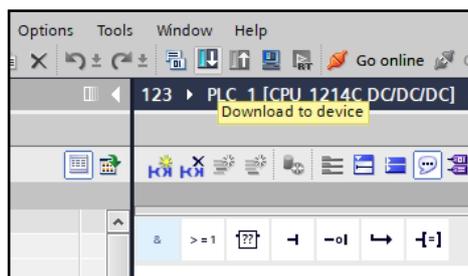


Рис. 8. Загрузка проекта в используемый контроллер

После чего в окне Extended Download To Device выбирается тип соединения PN/IE (рис. 9). Далее, в поле PG/PC Interface выберем сетевой интерфейс, через который будет реализована связь с контроллером [5].

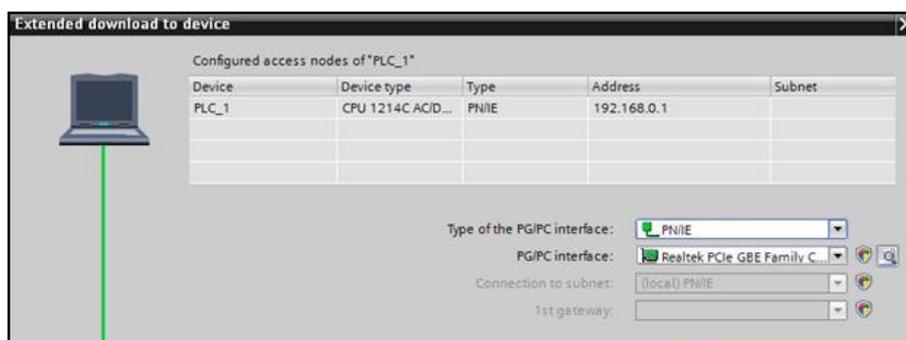


Рис. 9. Выбор типа интерфейса для связи с контроллером

Заключение

В данной работе представлена программная реализация системы управления учебным стендом «Тепловой объект» в программируемой среде Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) с использованием программируемого логического контроллера SIMATIC S7-1200, а также созданы теги для OPC сервера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Duvanov, E.S.** Analysis and Synthesis of the Modified MRAC-MIT System and the MRAC-Lyapunov System / E.S. Duvanov, Y.I. Kudinov, F.F. Pashchenko, A.A. Ponomarev. – Text : immediate // 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk, 2020. – P. 521– 526.
2. **Ponomarev, A.A.** Analysis and Synthesis of Adaptive PID Controller with MRAC-MIT System / A. A. Ponomarev, Y. I. Kudinov, F. F. Pashchenko, E. S. Duvanov. – Text : immediate. // 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk, 2020. – P. 527 – 532.
3. **Пьявченко, Т.А.** Проектирование АСУТП в SCADA-системе: учебное пособие / Т. А. Пьявченко – Таганрог: Изд-во технологического института ЮФУ, 2007. – 84 с. – Текст : непосредственный.
4. **Berger, H.** Automating with SIMATIC S7 –1200 / H. Berger – Berlin: Publicis Publishing, 2013. – 572 p. – Text : immediate.

Ключевые слова: тепловой объект, TIA Portal, Siemens Simatic S7 – 1200, регулирование, программирование

Сведения об авторах

Кудинов Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики Липецкого государственного технического университета.

Дуванов Евгений Сергеевич, аспирант кафедры информатики Липецкого государственного технического университета.

Сизых Павел Андреевич, магистрант кафедры информатики Липецкого государственного технического университета.

Пономарев Александр Александрович, магистрант кафедры информатики Липецкого государственного технического университета.

Раимжонов Арслонбек Исмоилович, магистрант кафедры информатики Липецкого государственного технического университета.

E-mail: kudinov.yi@mail.ru, evgenyduvanov@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

A THERMAL OBJECT CONTROL SYSTEM SOFTWARE IMPLEMENTATION USING THE SIEMENS SIMATIC S7-1200 CONTROLLER

Yu.I. Kudinov, E.S. Duvanov,
P.A. Syzykh, A.A. Ponomarev, A.I. Raimjonov

The paper describes the software implementation of the *Thermal Object* training simulator control system in the Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) programmable environment on the basis of the SIMATIC S7-1200 programmable logic controller (PLC) using the Function Block Diagram (FBD) graphical programming language.

Keywords: thermal object, TIA Portal, Siemens SIMATIC S7-1200, regulation, programming.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА РЕДУКЦИИ ДЛЯ ОКРЕСТНОСТНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ ПЕЧИ ОБЖИГА КЛИНКЕРА

Липецкий государственный технический университет

А.М. Шмырин, А.Г. Ярцев, С.Д. Ефанов

В работе предложен алгоритм редукции числа параметров окрестностной модели к одной диагональной параметрической переменной, позволяющий упростить исходные уравнения системы. Предложенный алгоритм был реализован для билинейной окрестностной модели печи обжига клинкера, для которой были заданы допустимые значения параметров состояния и управления.

Уравнения для узлов окрестностной системы являются многомерными, так как состоят из $L+M$ аргументов, где L – количество параметров состояния; M – параметров управления. Выражения такого вида достаточно сложны с точки зрения задачи оптимизации. В связи с этим актуальной является задача уменьшения числа аргументов в уравнениях окрестностной системы. Это позволит представить уравнения системы в графическом виде, упростит задачу нахождения оптимумов и корней, при которых уравнения равны нулю.

Исходя из производственных инструкций для задач окрестностного моделирования можно указать минимально и максимально допустимые значения для параметров состояния и управления: x_i^{\min} , x_i^{\max} , v_i^{\min} , v_i^{\max} . Выход параметров за указанные пределы можно интерпретировать как возникновение рисков в системе.

Представим, что для каждого параметра существует регулятор P_i , с помощью которого можно менять значения параметра в указанных пределах. Тогда для каждого параметра можно записать следующее выражение:

$$x_i = x_i^{\min} + P_{xi} \cdot (x_i^{\max} - x_i^{\min}), \quad v_i = v_i^{\min} + P_{vi} \cdot (v_i^{\max} - v_i^{\min}).$$

Предположим, что имеется всего один глобальный регулятор P , который синхронно изменяет значения сразу всех параметров. Таким образом, каждый параметр можно записать в виде:

$$x_i = x_i^{\min} + P \cdot (x_i^{\max} - x_i^{\min}), \quad v_i = v_i^{\min} + P \cdot (v_i^{\max} - v_i^{\min}). \quad (1)$$

С геометрической точки зрения введение глобального регулятора означает сужение на диагональ N -мерного куба [1]. В системе осталась одна степень свободы, которая соответствует одновременному изменению всех параметров от минимального до максимального значения и обратно.

Рассмотрим билинейную окрестностную модель [2], которая в общем виде записывается:

$$\sum_{\alpha \in O_x[a]} w_x[a, \alpha] X[\alpha] + \sum_{\beta \in O_v[a]} w_v[a, \beta] V[\beta] + \sum_{\substack{\alpha \in O_x[a] \\ \beta \in O_v[a]}} w_{xv}[a, \alpha, \beta] X[\alpha] V[\beta] = 0, \quad (2)$$

где $X[a], V[a]$ – состояние и управление в узле системы; $w_x[a, \alpha]$, $w_v[a, \beta]$ – матрицы параметров; $w_{xv}[a, \alpha, \beta]$ – блочная матрица параметров; $O_x[a]$, $O_v[a]$ – окрестности узла a по состоянию и управлению; $a, \alpha, \beta \in A$, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – конечное множество узлов системы.

Подставляя зависимости (1) в систему (2) получаем систему параметрических уравнений:

$$\begin{cases} a_1 \cdot P^2 + b_1 \cdot P + c_1 = 0, \\ a_2 \cdot P^2 + b_2 \cdot P + c_2 = 0, \\ \vdots \\ a_N \cdot P^2 + b_N \cdot P + c_N = 0. \end{cases}$$

Для получения общего параметрического уравнения необходимо сложить левые части уравнений системы, возведенные в квадрат:

$$\begin{aligned} & (a_1 \cdot P^2 + b_1 \cdot P + c_1)^2 + \dots + (a_N \cdot P^2 + b_N \cdot P + c_N)^2 = \\ & = \left((a_1)^2 \cdot P^4 + 2a_1b_1 \cdot P^3 + 2a_1c_1 \cdot P^2 + (b_1)^2 \cdot P^2 + 2b_1c_1 \cdot P + (c_1)^2 \right) + \dots \\ & \dots + \left((a_N)^2 \cdot P^4 + 2a_Nb_N \cdot P^3 + 2a_Nc_N \cdot P^2 + (b_N)^2 \cdot P^2 + 2b_Nc_N \cdot P + (c_N)^2 \right) \end{aligned}$$

После раскрытия скобок, приведения подобных и представления полученного выражения к стандартному виду получаем общее параметрическое уравнение билинейной окрестностной системы:

$$P^4 + a \cdot P^3 + b \cdot P^2 + c \cdot P + d = 0.$$

Равенство нулю левой части общего параметрического уравнения достигается в случае, когда значения состояний и управлений равны номинальным значениям. Но в процессе работы данные значения могут изменяться, и правая часть общего параметрического уравнения становится отличной от нуля – появляется отклонение:

$$P^4 + a \cdot P^3 + b \cdot P^2 + c \cdot P + d = Z, \quad (3)$$

где Z – отклонение системы от нуля.

Для определения экстремумов выражения (3) укажем зависимость коэффициентов этого выражения друг от друга.

Разобьём полученное выражение на два:

$$Z_1 = P^4 + b \cdot P^2 + \frac{c}{2} \cdot P, \quad (4)$$

$$Z_2 = a \cdot P^3 + \frac{c}{2} \cdot P + d. \quad (5)$$

Выражение (4) имеет аналогию с функцией для катастрофы сборки $V_{a,b}(x) = x^4 + a \cdot x^2 + b \cdot x$. Критические точки появляются, когда первая производная равна нулю, и эти критические точки совпадают при условии, когда вторая производная равна нулю:

$$\frac{dZ_1}{dP} = 4 \cdot P^3 + 2b \cdot P + \frac{c}{2} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{d^2Z_1}{dP^2} = 12 \cdot P^2 + 2b = 0. \quad (7)$$

Исключая P из уравнений (6) и (7), получим уравнение $8 \cdot b^3 + 27 \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2 = 0$, которое описывает кривую в виде сборки.

При условии $8 \cdot b^3 + 27 \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2 > 0$ (темная зона на рис. 1), функция (4) имеет одну критическую точку минимума, а при условии $8 \cdot b^3 + 27 \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2 < 0$ (светлая зона на рис. 1), функция (4) имеет два минимума и максимум [3].

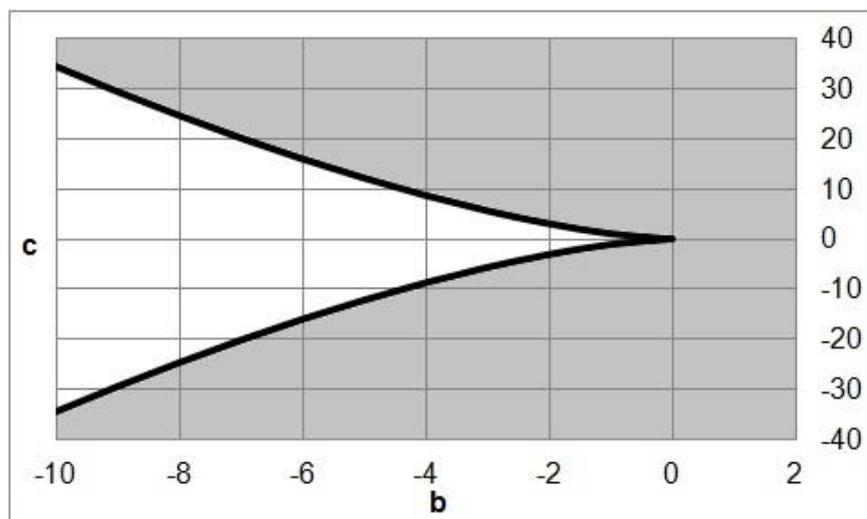


Рис. 1. Поверхность кривой $8 \cdot b^3 + 27 \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2 = 0$

Выражение (5) имеет аналогию с функцией $V_a(x) = x^3 + a \cdot x$ (рис. 2), которая определяет выражение для катастрофы складки.

В данном случае при отрицательных значениях параметра a , функция имеет два экстремума – минимум и максимум. Экстремумы пропадают, если $a=0$ [4, 5]. При $a>0$ экстремумов не существует.

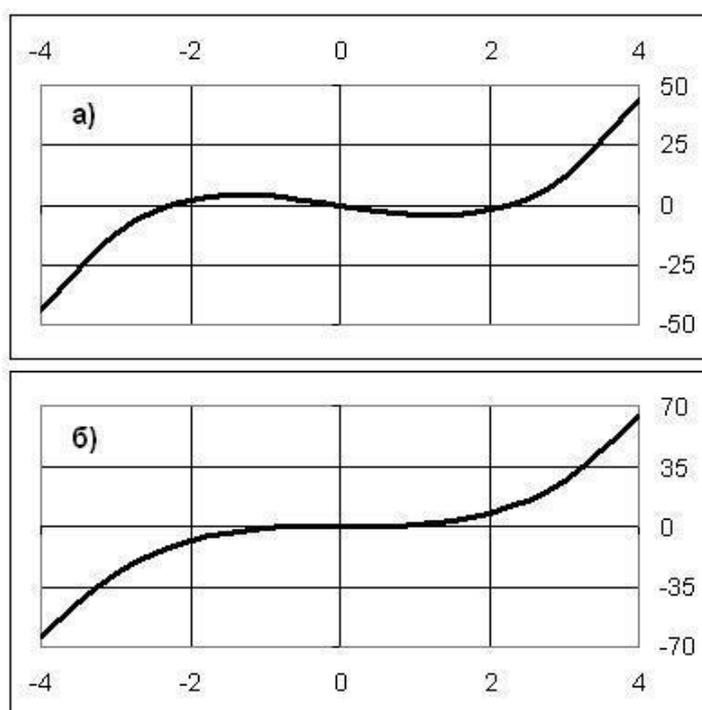


Рис. 2. График функции $x^3 + a \cdot x$: а – при $a=-5$; б – при $a=0$

При определении критических точек общего параметрического уравнения (3) решающую роль играют условия для катастрофы сборки. Из экспериментальных исследований следует, что если функция (4) имеет одну критическую точку – точку минимума, то такой же состав экстремумов должно иметь и уравнение (3).

Рассмотрим описанный выше алгоритм на примере окрестностного моделирования печи обжига клинкера. Данные печи применяются на предприятиях по производству цемента, где обжиг клинкера во вращающихся печах является одним из ключевых этапов процесса [6]. На стадии обжига в зависимости от температуры печь условно разделяют на четыре зоны: зону подогрева исходного сырья, зону декарбонизации, зону появления клинкера и зону охлаждения клинкера.

Связь между зонами представлена в виде графа на рис. 3, где 1 – зона подогрева сырья; 2 – зона декарбонизации; 3 – зона появления клинкера; 4 – зона охлаждения. Пунктирными линиями показаны связи по управлению, сплошными линиями связи по состояниям.

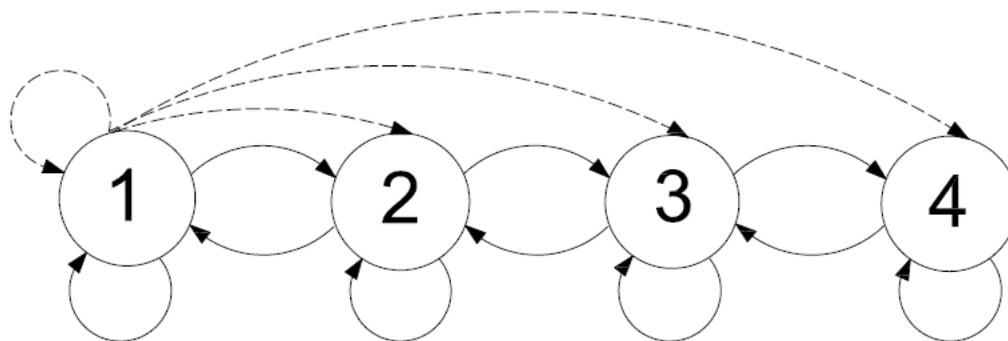


Рис. 3. Граф зон вращающейся печи

Каждую зону печи обжига клинкера принимаем в качестве узла системы, тогда билинейная окрестностная модель примет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} w_x[1,1] \cdot x[1] + w_x[1,2] \cdot x[2] + w_v[1,1] \cdot v[1] + \\ + w_{xv}[1,1,1] \cdot x[1] \cdot v[1] + w_{xv}[1,2,1] \cdot x[2] \cdot v[1] = 0; \\ w_x[2,1] \cdot x[1] + w_x[2,2] \cdot x[2] + w_x[2,3] \cdot x[3] + w_v[2,1] \cdot v[1] + \\ + w_{xv}[2,1,1] \cdot x[1] \cdot v[1] + w_{xv}[2,2,1] \cdot x[2] \cdot v[1] + \\ + w_{xv}[2,3,1] \cdot x[3] \cdot v[1] = 0; \\ w_x[3,2] \cdot x[2] + w_x[3,3] \cdot x[3] + w_x[3,4] \cdot x[4] + w_v[3,1] \cdot v[1] + \\ + w_{xv}[3,2,1] \cdot x[2] \cdot v[1] + w_{xv}[3,3,1] \cdot x[3] \cdot v[1] + \\ + w_{xv}[3,4,1] \cdot x[4] \cdot v[1] = 0; \\ w_x[4,3] \cdot x[3] + w_x[4,4] \cdot x[4] + w_v[4,4] \cdot v[1] + \\ + w_{xv}[4,3,1] \cdot x[3] \cdot v[1] + w_{xv}[4,4,1] \cdot x[4] \cdot v[1] = 0. \end{array} \right. \quad (8)$$

Для печи обжига были выделены существенные компоненты управления и состояния, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Компоненты состояния и управления печи обжига клинкера

$v[1]$	Скорость вращения печи, об/мин
$x[1]$	Температура печи в зоне подогрева, °С
$x[2]$	Температура печи в зоне декарбонизации, °С
$x[3]$	Температура печи в зоне появления клинкера, °С
$x[4]$	Температура печи в зоне охлаждения, °С

Значения состояния и управления в соответствии с технологическими параметрами печей обжига клинкера:

$$\begin{aligned} v[1] &= 1,515 \text{ об/мин}; \\ x[1] &= 830 \text{ }^\circ\text{C}; & x[3] &= 1450 \text{ }^\circ\text{C}; \\ x[2] &= 1100 \text{ }^\circ\text{C}; & x[4] &= 1100 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

В связи с разным порядком входных данных была произведена нормализация параметров состояния, в результате чего получены следующие значения:

$$\begin{aligned} x[1] &= -1,3175; & x[3] &= 1,49923; \\ x[2] &= -0,09086; & x[4] &= -0,09086. \end{aligned}$$

Часть коэффициентов модели были предопределены [7]:

$$\begin{aligned} w_x[1,1] &= 0,93548; & w_x[3,3] &= 1; \\ w_x[2,2] &= -1; & w_x[4,4] &= -0,06452. \end{aligned}$$

В результате идентификации билинейной окрестностной модели (8) были получены следующие значения коэффициентов:

$$\begin{aligned} w_x[1,2] &= -0,018; & w_v[1,1] &= 0,296; & w_{xv}[1,1,1] &= -0,39; \\ w_{xv}[1,2,1] &= -0,027; \\ w_x[2,1] &= 0,00775; & w_x[2,3] &= -0,00882; & w_v[2,1] &= -0,00891; \\ w_{xv}[2,1,1] &= 0,012; & w_{xv}[2,2,1] &= 0,00081; & w_{xv}[2,3,1] &= -0,013; \\ w_x[3,2] &= 0,018; & w_x[3,4] &= 0,018; & w_v[3,1] &= -0,302; \\ w_{xv}[3,2,1] &= 0,027; & w_{xv}[3,3,1] &= -0,454; & w_{xv}[3,4,1] &= 0,027; \\ w_x[4,3] &= -0,00047; & w_v[4,1] &= -0,00047; & w_{xv}[4,3,1] &= -0,00195; \\ w_{xv}[4,4,1] &= 0,00012. \end{aligned}$$

Получим общее параметрическое уравнение билинейной модели, для чего получим зависимость параметров состояния и управления от значения глобального регулятора P , используя минимально и максимально допустимые значения параметров:

$$\begin{aligned} v[1]_{\min} &= 1,4 \text{ об/мин}; & v[1]_{\max} &= 1,63 \text{ об/мин}; \\ x[1]_{\min} &= 100 \text{ }^\circ\text{C}; & x[1]_{\max} &= 830 \text{ }^\circ\text{C}; \\ x[2]_{\min} &= 830 \text{ }^\circ\text{C}; & x[2]_{\max} &= 1100 \text{ }^\circ\text{C}; \\ x[3]_{\min} &= 1100 \text{ }^\circ\text{C}; & x[3]_{\max} &= 1450 \text{ }^\circ\text{C}; \\ x[4]_{\min} &= 1100 \text{ }^\circ\text{C}; & x[4]_{\max} &= 1450 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Подставляя минимально и максимально допустимые значения параметра управления и нормализованные значения параметров состояния в выражение (1), получаем:

$$\begin{aligned} v[1] &= 1,4 + P \cdot (1,63 - 1,4); \\ x[1] &= -4,63397 + P \cdot (-1,3175 + 4,63397); \\ x[2] &= -1,3175 + P \cdot (-0,09086 + 1,3175); \\ x[3] &= -0,09086 + P \cdot (1,49923 + 0,09086); \\ x[4] &= 1,49923 + P \cdot (-0,09086 - 1,49923). \end{aligned}$$

Так как в зоне охлаждения (№ 4) температура уменьшается, в отличие от остальных зон, то для верного моделирования характеристики процесса для параметра $x[4]$ минимальное и максимальное значение температуры были поменяны местами.

Подставляя полученные зависимости и коэффициенты модели в систему (8), складывая уравнения системы, возведенные в квадрат, получаем общее параметрическое уравнение модели:

$$0,12143 \cdot P^4 - 1,22628 \cdot P^3 + 5,61027 \cdot P^2 - 7,84752 \cdot P + 3,36374 = 0. \quad (9)$$

Приведем уравнение (9) к стандартному виду:

$$P^4 - 10,09837 \cdot P^3 + 46,20025 \cdot P^2 - 64,6238 \cdot P + 27,70014 = 0. \quad (10)$$

Проверим уравнение (10) на соответствие условию $8 \cdot b^3 + 27 \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2 = 0$:

$$b = 46,20025; c = -64,6238.$$

$$8 \cdot 46,20025^3 + 27 \cdot \left(\frac{-64,6238}{2} \right)^2 = 817091 > 0, \text{ следовательно, общее параметрическое}$$

уравнение (10) имеет одну точку минимума, который достигается при значении $P=0,967$. Значение минимума общего параметрического уравнения (10) равно 0,153.

Так как точка минимума P соответствует допустимому диапазону от 0 до 1, то состояние минимума является достижимым. Это позволяет сделать вывод о наличии области гарантированной устойчивости системы [4, 5].

Значения окрестностных переменных, при которых общее параметрическое уравнение билинейной модели печи обжига клинкера достигает минимума, следующие:

$$\begin{aligned} v[1] &= 1,622 \text{ об/мин;} \\ x[1] &= 806 \text{ }^\circ\text{C;} & x[2] &= 1091 \text{ }^\circ\text{C;} \\ x[3] &= 1438 \text{ }^\circ\text{C;} & x[4] &= 1112 \text{ }^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

Заключение

В данной работе представлен алгоритм редукции числа окрестностных параметров к одной диагональной параметрической переменной и описана методика получения общего параметрического уравнения билинейной окрестностной модели. Предложенный алгоритм позволяет упростить исходные уравнения, что даёт возможность визуализировать области состояний и управлений модели.

В зависимости от соотношения коэффициентов полученного общего параметрического уравнения можно сделать вывод о наличии экстремумов. Набор окрестностных параметров, при которых общее параметрическое уравнение достигает экстремума, можно считать точкой устойчивости системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сергеев, Я.Д.** Диагональные методы глобальной оптимизации / Я.Д. Сергеев, Д.Е. Квасов. – Москва: Физматлит, 2008. – 352 с. – Текст : непосредственный.
2. **Блюмин, С.Л.** Билинейные окрестностные системы: монография / С. Л. Блюмин, А.М. Шмырин, О.А. Шмырина. – Липецк: ЛГТУ. – 2006. – 130 с. – Текст : непосредственный.
3. **Shmyrin, A.M.** Research of the general parametrical equation of four-linear neighborhood model / A.M. Shmyrin, A.G. Yartsev // Modern informatization problems in simulation and social technologies: Proceedings of the XXI-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA). – 2016. – P. 201 – 205. – Text : immediate.
4. **Арнольд, В.И.** Теория катастроф / В.И. Арнольд. – Москва: Наука. – 1990. – 128 с. – Текст : непосредственный.
5. **Эндрюс, Дж.** Математическое моделирование / Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лоун. – Москва: Мир. – 1979. – 282 с. – Текст : непосредственный.
6. **Голованова, Л.В.** Общая технология цемента / Л.В. Голованова. – Москва: Стройиздат. – 1984. – 118 с. – Текст : непосредственный.
7. **Shmyrin, A.M.** Effect of number of data tuples on results of mixed control of the neighborhood model / A.M. Shmyrin, A.G. Yartsev // 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – 2018. – P. 1-5. – Text : immediate.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта №19-48-480007 p_a.

Ключевые слова: окрестностная модель, коэффициенты модели, редукция переменных.

Сведения об авторах

Шмырин Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики Липецкого государственного технического университета.

Ярцев Алексей Геннадьевич, старший преподаватель кафедры промышленной теплоэнергетики Липецкого государственного технического университета.

Ефанов Сергей Дмитриевич, студент кафедры оборудования и процессов машиностроительных производств Липецкого государственного технического университета.

E-mail: yartsevlakha@mail.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

APPLICATION OF THE REDUCTION ALGORITHM FOR NEIGHBORHOOD SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF A CLINKER KILN MODEL

A. M. Shmyrin, A.G. Yartsev, S. D. Efanov

The paper proposes an algorithm for reducing the number of parameters of a neighborhood model to one diagonal parametric variable, which makes it possible to simplify the initial equations of the system. The proposed algorithm was implemented for the bilinear neighborhood model of the clinker kiln, for which the permissible values of the state and control parameters were set.

Keywords: neighborhood model, model coefficients, reduction of variables.

УДК 621.08; 621.81

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ РАМЫ КУЛЬТИВАТОРА В AUTODESK INVENTOR

Липецкий государственный технический университет

В.В. Телегин

В статье рассматриваются вопросы снижения веса рам культиваторов без потери их работоспособности. Результаты исследований базируются на методах 3D-моделирования сварных конструкций рам и их прочностных расчётах методом конечных элементов. Твёрдотельное моделирование и статический анализ напряжений в раме культиватора выполнены в среде Autodesk Inventor Professional. Статья может быть полезна инженерам-конструкторам, занимающимся проектированием рамных конструкций различного назначения, а также студентам различных направлений подготовки, изучающим методы расчёта и конструирования изделий машиностроения.

Одно из основных требований, предъявляемых к проектируемым изделиям машиностроения, – их минимальная металлоёмкость и стоимость [1, 2]. Металлоёмкость рамной конструкции, рассматриваемой в данной работе, напрямую зависит от геометрии профиля (труба, швеллер, двутавр и т.п.) и размеров его сечения. Стоимость, кроме того, связана со стоимостью материала – марки стали, из которого рама изготовлена.

Прочность конструкции [2, 3], её показатель – коэффициент запаса прочности (КЗП). Этот показатель рассматривается в данной работе в качестве единственного, определяющего работоспособность изделия. На практике это, конечно, не так. Способность изделия выполнять свои функции зависит от её геометрии, величины упругих деформаций, динамических и статических процессов, возникающих вследствие этого при работе изделия, и многих других факторов.

Традиционный способ расчёта коэффициента запаса прочности – методы сопротивления материалов [1, 2]. Методы в общем случае достаточно трудоёмкие и не отличающиеся точностью. Современный способ – метод конечных элементов (МКЭ) [4]. В сочетании с твёрдотельным проектированием, МКЭ (и его модификации) является основой современного проектирования.

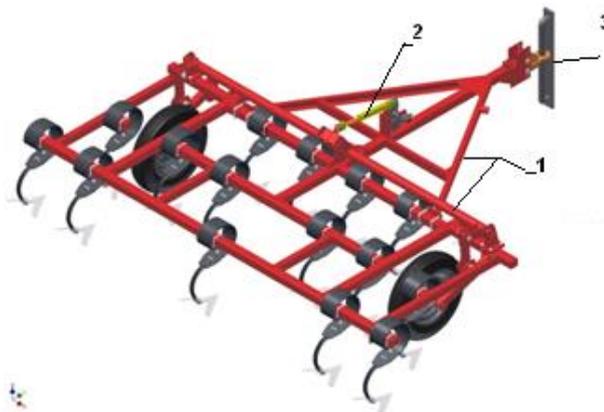


Рис. 1. Твёрдотельная модель культиватора: 1 – рама; 2 – подвеска; 3 – тяговое устройство

Твердотельная модель культиватора изображена на рис. 1. Его рама представляет собой сварную конструкцию, выполненную из труб квадратного сечения (ГОСТ 8645-68). Задача – рассмотреть возможность применения в конструкции рамы других балок других профилей, меньшей массы и изготовленных из более дешёвых марок сталей.

Autodesk Inventor Professional [5, 6], используемый в данной работе для расчёта рам культиваторов, является одним из самых известных программных продуктов, объединяющих методы твердотельного моделирования, разработки конструкторской документации и прочностных расчётов на основе МКЭ.

При работе культиватора в элементах его рамы возникают напряжения, значения которых различны в разных частях конструкции. В этой связи предлагаются следующие этапы модернизации конструкции рамы:

- исследование напряжённо-деформируемого состояния рамы культиватора при различных схемах приложения сил с целью выявления наименее нагруженных деталей;
- оценка возможности замены отдельных малонагруженных элементов рамы на более дешёвые профили или исключения этих элементов из конструкции рамы;
- изменение конструкции рамы и исследование её работоспособности.

На рис. 2 приведены расчётные модели рамы культиватора. В отличие от реальной конструкции, приспособление для сцепки рамы и тягового устройства (трактора) упрощено и служит только для корректного приложения тяговой силы.

Вместо реальной подвески применена её упрощённая модель, позволяющая смоделировать приложение силы к лапе подвески со стороны грунта под любым углом или наложить зависимость защемления. Эти элементы не являются объектами исследования. В представленных результатах моделирования рамы методом конечных элементов их отображение, как и отображение приложенных сил, скрыто.

В процессе комплексного исследования прочности рамы культиватора исследованы несколько (более десяти) вариантов её нагрузки, отличающихся углом приложения тяговой силы (0 или 30°), выбором подвески для наложения зависимости фиксации и направлением сил, действующих на подвеску (0 или 180°).

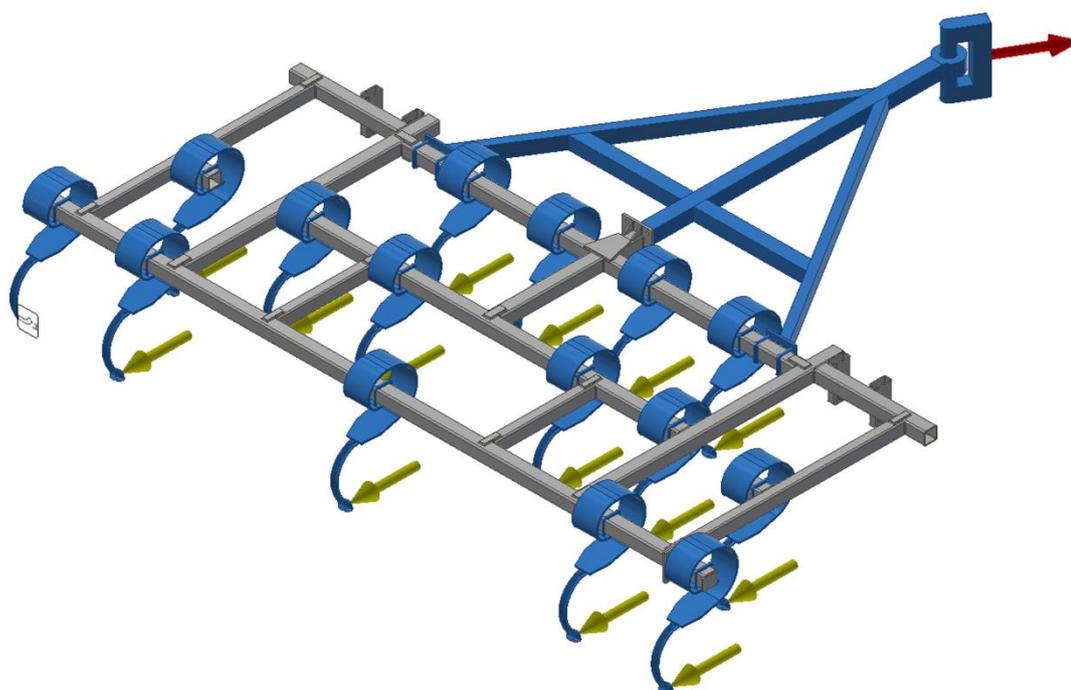


Рис. 2. Расчётная модель рамы культиватора

Тяговая сила во всех вариантах исследования принята равной 60 кН. В реальности её значение составляет от 18 до 27 кН. Сила, действующая на подвеску, – 3 кН. При отсутствии зацепления лапы подвески за какое-то препятствие это значение максимально возможное.

В статье в качестве примера представлен вариант с минимальными расчётными значениями КЗП в балках рамы и их соединениях (см. рис. 2 и 3).

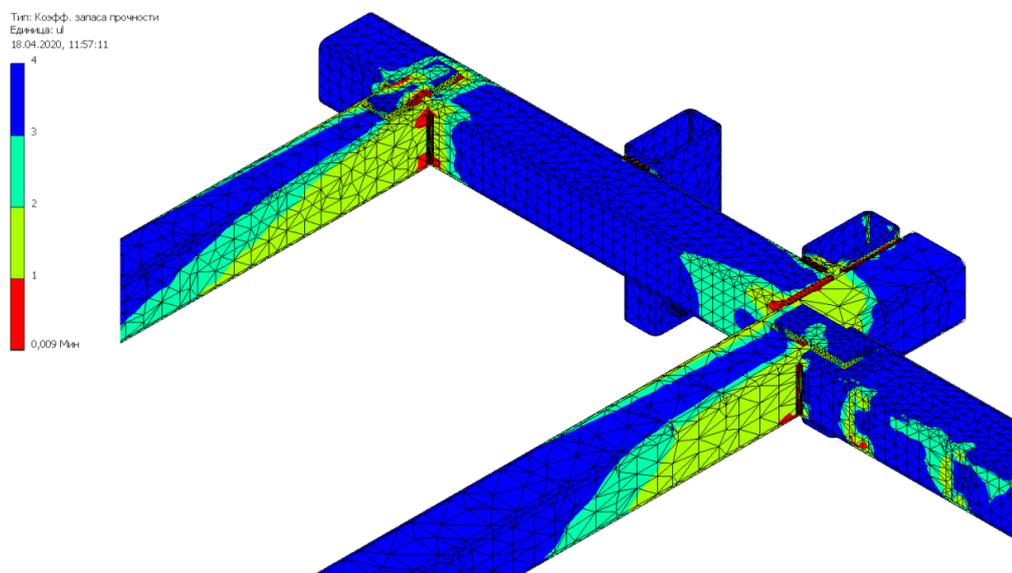


Рис. 3. Расчёт коэффициента запаса прочности

Как следует из приведённых результатов исследования, базовая конструкция рамы культиватора имеет запас прочности, значительно превышающий необходимый. Исключение – сварные швы. Объясняется это особенностью расчётной твердотельной модели рамы. При её разработке исключено непосредственное воздействие балок и накладок, образующих сварную конструкцию рамы, друг на друга. Взаимосвязь элементов рамы между собой осуществляется только через валики сварных швов. Данная особенность позволяет дополнительно выявить проблемные места, связанные с соединением деталей с помощью сварки.

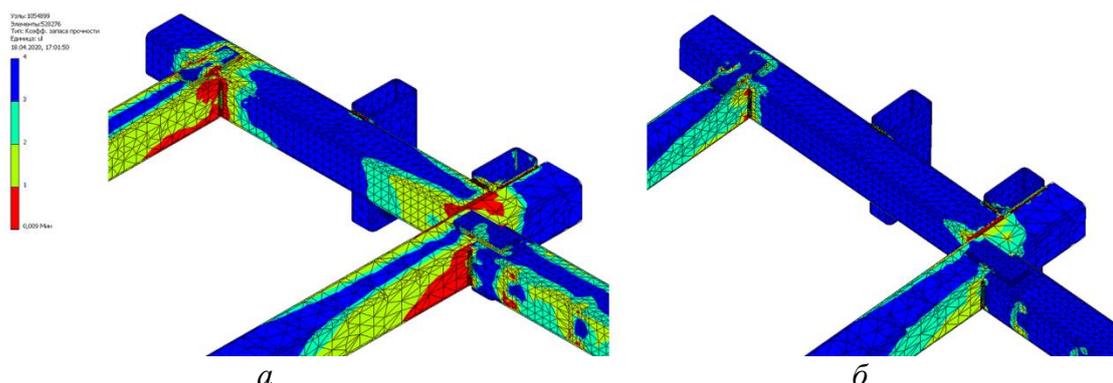


Рис. 4. Расчёт коэффициента запаса прочности конструкции рамы, изготовленной из стали марки Ст5пс. Значение тяговой силы: *а* – 60 кН, *б* – 30 кН

Анализ результатов исследования позволяет предложить с целью удешевления конструкции рамы использовать балки, выполненные из более дешёвого материала. На рис. 4 приведены результаты анализа прочности конструкции рамы, выполненной из стали

марки – СтЗпс (ГОСТ 380-2005). Тяговая сила в этом случае принята равной 30 кН. Её максимальное значение, рекомендуемое предприятием изготовителем, – 27 кН.

На рис. 5 показан фрагмент рамы культиватора, изготовленный из швеллеров (ГОСТ 8278-83), и результат расчёта прочности при значении тяговой силы – 30 кН. В отличие от предыдущих рисунков, для более наглядного представления рама развёрнута на 180° (вид снизу).

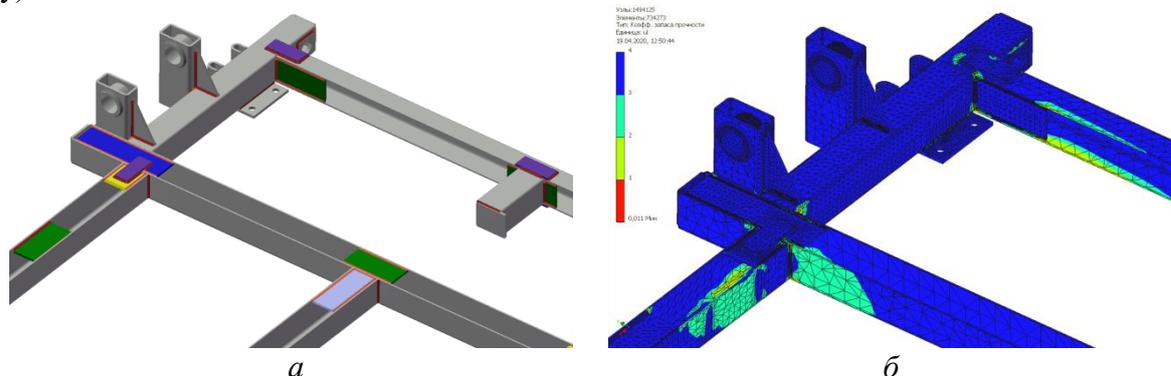


Рис. 5. Расчёт коэффициента запаса прочности конструкции рамы, изготовленной из швеллеров: *а* – конструкция, *б* – результаты расчёта

Если сравнить представленные результаты расчётов на рис. 3 и 5, то, несмотря на явное «ослабление» конструкции рамы, напряжения в её элементах при одинаковых нагрузках оказались приблизительно равными. Объясняется это снижением жёсткости рамы. Деформации рамы, возникающие при работе культиватора, увеличились приблизительно в два раза, оставаясь в зоне упругих деформаций. Однако это обстоятельство никак не влияет на её работоспособность.

Вместе с тем заметно снижена масса рамы. Вес рамы в базовом исполнении составляет 270,5 кг, в новом исполнении – 175,8 кг.

Есть и негативные моменты. Заметно увеличилась трудоёмкость изготовления рамы, а значит, и её стоимость.

Заключение

Предложенная в статье методика конструирования сварных рамных конструкций, реализуемая на основе Autodesk Inventor Professional, позволяет не только повысить производительность проектных работ, но и увеличить их качество.

На примере моделирования рамы культиватора в Autodesk Inventor Professional продемонстрированы возможности данной программы по оптимизации проектируемых конструкций объектов машиностроения.

Данная работа является частью учебного процесса [7 – 10], реализуемого на кафедре технологии машиностроения ЛГТУ, в рамках подготовки будущих специалистов для машиностроительных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Устинов, А.Н.** Сельскохозяйственные машины / А.Н. Устинов. – 2-е изд. – Москва: ИРПО; Академия, 2010. – 264 с. – Текст : непосредственный.
2. **Дунаев, П.Ф.** Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для технических специальных вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – Москва: Высшая школа, 1998. – 447 с. – Текст : непосредственный.
3. **Биргер, И.А.** Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1993. – 640 с. – Текст : непосредственный.
4. **Овчаренко, В.А.** Расчёт задач машиностроения методом конечных элементов: учебное пособие / В.А. Овчаренко. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 128 с. – Текст :

непосредственный.

5. **Зиновьев, Д.В.** Основы проектирования в Autodesk Inventor 2016 / Д.В. Зиновьев. – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 256 с. – Текст : непосредственный.

6. **Концевич, В.Г.** Твёрдотельное моделирование машиностроительных изделий в Autodesk Inventor / В.Г. Концевич. – Москва: ДМК Пресс. – 2007. – 670 с. – Текст : непосредственный.

7. **Telegin, V.V.** Solid-state modeling and basic training of specialists in the field of mechanical engineering / V.V. Telegin, I.V. Telegin, A.V. Kirichek. – Text : immediate // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 483 012004. – 2019. – P. 1 – 3.

8. **Telegin, V.V.** 3D-Forming and Autodesk Autocad at the Initial Stage of Engineering Training of Specialists in Technical Areas / V.V. Telegin, I.V. Telegin, A.S. Stepanov. – Text : immediate // International Journal of Engineering and Technology(UAE) . – 2018. – Vol. 7 (3.5). – P. 1 – 3.

9. **Telegin, V.V.** Solid Modeling in Professional Training of Specialists for Machine-Building Enterprises / V.V. Telegin, I.V. Telegin. – Text : immediate // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2019. – Vol. 8 (9S3). – P. 7 – 9.

10. **Телегин, В.В.** 3D-моделирование как один из базовых элементов профессиональной подготовки специалистов машиностроительных предприятий / В.В. Телегин, И.В. Телегин. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета . – 2018. – № 2 (36). – С. 44 – 49.

Ключевые слова: 3D-моделирование, Autodesk Inventor, рама культиватора, учебный процесс

Сведения об авторах

Телегин Виктор Валериевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Липецкого государственного технического университета.

e-mail: vv.telegin@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

AN AUTODESK INVENTOR 3-D MODELING & RESEARCH OF A CULTIVATOR FRAME WELDED STRUCTURE

V.V. Telegin

The article discusses the issues of reducing the weight of cultivator frames without losing their performance. The research results are based on the methods of 3D modeling of welded frame structures and their strength calculations by the finite element method. Solid modeling and static analysis of stresses in the cultivator frame were performed in the Autodesk Inventor Professional environment. The article can be useful to design engineers engaged in the design of frame structures for various purposes, as well as to students of various fields of training, studying methods of calculation and design of mechanical engineering products.

Key words: 3D Modeling, Autodesk Inventor, cultivator frame, training process.

УДК 656.016

РАБОТА ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ Г. ЛИПЕЦКА НА ГАЗОМОТОРНОМ ТОПЛИВЕ

Липецкий государственный технический университет

А.Ю.Кузнецов, А.С. Лукинов

В работе приведены результаты исследования работы транспортной системы, выполненного при сотрудничестве с департаментом транспорта администрации города Липецка. Авторами рассмотрены достоинства и недостатки перевода транспортной системы города Липецка на газовое оборудование с учетом государственной политики в области транспорта.

Негативная экологическая обстановка городов и влияние автомобильного транспорта на экологическую обстановку заставляет специалистов автомобильного транспорта искать пути выхода из сложившейся ситуации, поэтому актуальность проведенного исследования не вызывает сомнения.

В послании Президента Федеральному Собранию от 20.02.2019 г. отражено, что «Необходимо переводить на более чистые экологические решения предприятия ЖКХ, энергетики, транспорта. В том числе призываю бизнес активно участвовать в проектах по развитию рынка газомоторного топлива, инвестировать в создание сети заправок и топливных систем...», а также на основании распоряжения Правительства РФ от 13.05.2013 г. № 767-р «О регулировании отношений в сфере использования газового моторного топлива, в том числе природного газа в качестве моторного топлива» предусматривается достижение достаточно серьезных целей по переводу общественного транспорта и транспорта дорожно-коммунальных служб в городах на газовое моторное топливо. Согласно указанному распоряжению органам государственной власти субъектов Российской Федерации поручена разработка комплекса мер, направленных на создание условий для доведения уровня использования природного газа в качестве моторного топлива на общественном автомобильном транспорте и транспорте дорожно-коммунальных служб до 30 % общего количества единиц техники в городах с численностью населения более 300 тыс. человек.

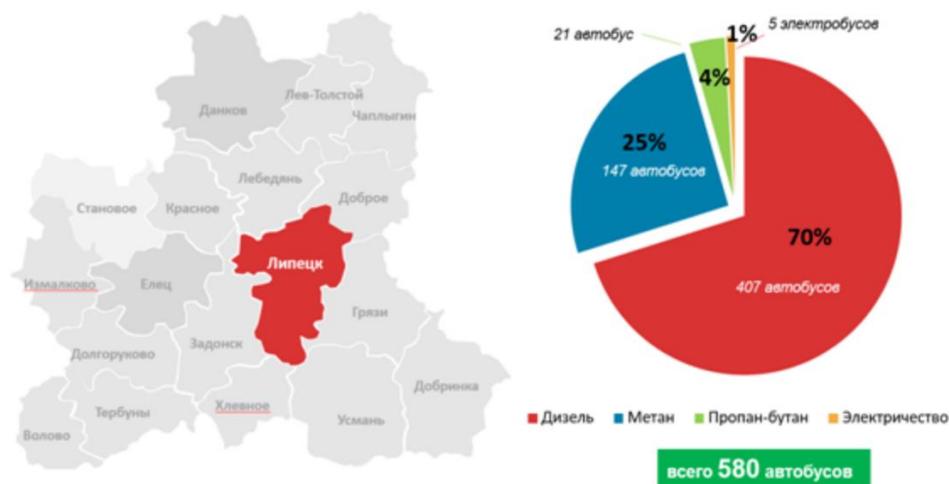


Рис. 1. Использование видов топлива на автомобильном пассажирском транспорте

Были созданы акты, стимулирующие перевозчиков приобретать газомоторный транспорт. Производителям газомоторной техники предоставляется субсидия Минпромторга РФ в размере 1,96 млн. руб. за автобус большого класса (длиной более 10 м, но не более 16 м). Также Липецкая область готова компенсировать часть затрат (от 10 до 15 % от стоимости) при условии соответствия нового автобуса экологическому стандарту не ниже ЕВРО-5.

С каждым днем число потенциальных пассажиров и водителей растет. Кто-то находит возможность приобрести личное транспортное средство, а кто-то считает общественный транспорт куда более выгодным. Транспортная система города расширяется и улучшается.

Помимо всем известного и вполне логичного фактора – увеличения числа пассажиров, нуждающихся в общественном транспорте, власти стремятся повлиять на давно стоящую экологическую проблему.

Как многим известно, основным загрязнителем окружающей среды в современных городах является автомобильный транспорт. По данным экологов на долю автотранспорта приходится порядка 80 % загрязнений воздушного бассейна городов. В связи с этим во всех развитых странах мира ужесточаются требования к экологической безопасности автомобилей и вводятся жесткие экологические стандарты.

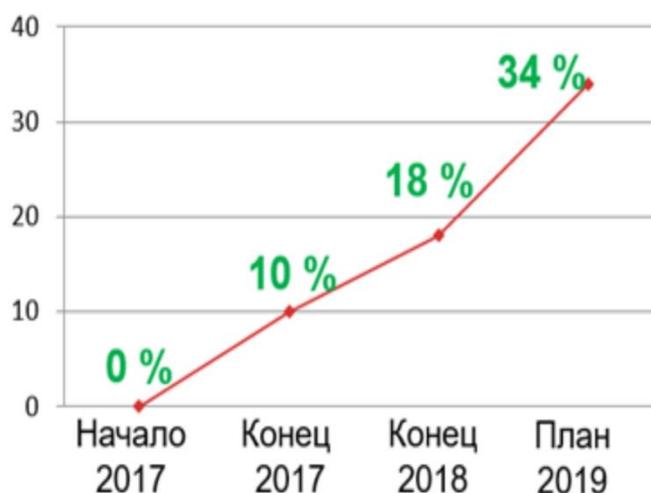


Рис. 2. Доля автобусов, соответствующих стандарту ЕВРО-5

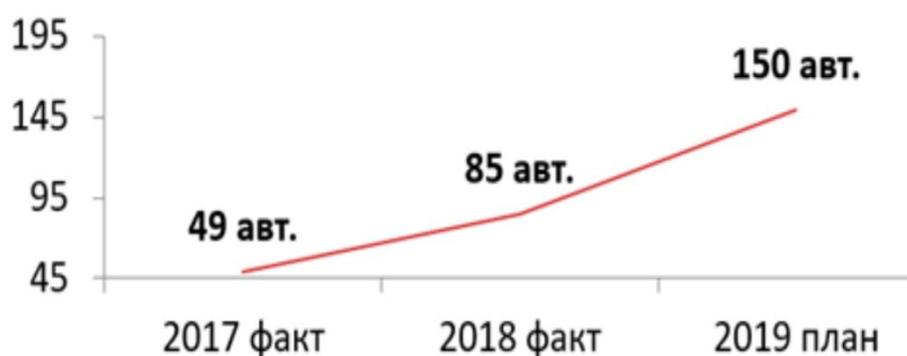


Рис. 3. Динамика расширения использования КПГ

Также не стоит забывать про экономические проблемы. Если речь идет об автобусах, работающих на дизельном топливе, экологическая проблема далеко не последняя. Содержание даже новых дизельных автобусов – дело не легкое. А заправка транспорта, с учетом стоимости топлива, загруженности дорог и количества проходимых за год километров, явный повод задуматься об потенциальных модернизациях.

В связи с этим первым шагом к серьезному влиянию на транспортную систему города Липецка стал ввод автобусов, использующих в качестве топлива сжиженный (компримированный) газ. Если быть точнее, метан (CH₄), который предварительно сжимают на компрессорной станции до давления порядка 200 – 250 бар (196 – 245 кг/см²).

На территории Липецка работают уже более 150 автобусов с предустановленным газобаллонным оборудованием. Количество газовых заправочных станций в разы выросло. В связи с этим в сотрудничестве с МУП «Липецкий пассажирский транспорт» были проведены некоторые расчеты, позволяющие наглядно заметить пользу использования автобусов с ГБО.

Эффект от перехода на компримированный природный газ, при следующих предоставленных данных (экономия на топливе) приведен в табл. 1.

Таблица 1

Данные для вычисления эффекта от перехода на компримированный природный газ

Количество закупаемых газомоторных автобусов (списание дизельных)	50 шт.
Среднегодовой пробег одного автобуса	85 тыс. км
Приведенные затраты на топливо для газомоторных автобусов	7,36 руб/км
Приведенные затраты на топливо для дизельных автобусов	17,74 руб/км

Итого среднегодовой пробег:

$$85 \text{ тыс. км} \times 50 \text{ шт.} = 4250 \text{ тыс. км.}$$

Цена на топливо с учетом среднегодового пробега дизельных автобусов:

$$4250 \text{ тыс. км} \times 17,74 \text{ руб./км} = 75495 \text{ тыс. руб.}$$

Цена на топливо с учетом среднегодового пробега газомоторных автобусов:

$$4250 \text{ тыс. км} \times 7,36 \text{ руб./км} = 31280 \text{ тыс. руб.}$$

Эффект от замены 50 дизельных автобусов на газомоторные:

$$75495 \text{ тыс. руб} - 31280 \text{ тыс. руб} = 44115 \text{ тыс. руб/год.}$$

Эффект от перехода на компримированный природный газ, составил 44115 тыс. руб./год.

Сравнение влияния исследуемых видов топлива на загрязнение окружающей среды представлено в табл. 2.

Таблица 2

Выбросы вредных веществ на КПГ и дизельном топливе нескольких экологических стандартов

Выбросы, г/км	Дизель			КПГ
	Евро 1	Евро 3	Евро 5	
СН	0,72	0,2	0,15	0,15
СО	2,72	2,3	0,9	1
NO	0,27	0,15	1,15	0,7
Сумма	3,71	2,65	2,2	1,85

В проекте произведено сравнение выбросов вредных веществ отработавших газов дизельного топлива экологического класса ЕВРО-5 и 3В отработанного КПГ.

Данные для вычисления экологического эффекта от перехода на сжатый природный газ

Среднесуточный пробег 1 автобуса	248 км
Расход дизельного топлива	42 л/100 км
Расход газа (КПГ)	35 м ³ /100 км
Плотность ДТ	0,84 кг/л
Плотность КПГ	0,717 кг/м ³

Экологический эффект от перехода на сжатый природный газ высчитывался следующим образом.

Количество загрязняющих веществ за один день, вырабатываемое дизельным автобусом:

$$\frac{42 \text{ л}}{\text{км}} \times 248 \text{ км} \times 0,717 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times \frac{2,2}{1000} = 0,00016 \text{ т/день.}$$

Количество выбросов загрязняющих веществ за год, вырабатываемое дизельным автобусом:

$$0,00016 \text{ т/день} \times 365 = 0,059 \text{ т/год.}$$

Среднегодовые показатели выбросов на примере 100 дизельных автобусов (ЕВРО-5):

$$0,059 \times 100 \text{ шт} = 5,9 \text{ т/год.}$$

Количество загрязняющих веществ за один день, вырабатываемое автобусом на КПГ:

$$\frac{35 \text{ м}^3}{100 \text{ км}} \times \frac{248 \text{ км}}{100 \text{ км}} \times \frac{0,717 \text{ м}^3/\text{кг}}{1000} \times 1,85 \times 1000 = 0,00016 \text{ т/день.}$$

Количество выбросов загрязняющих веществ за год, вырабатываемое автобусом, работающим на КПГ:

$$0,00016 \text{ т/день} \times 365 = 0,042 \text{ т/год.}$$

Среднегодовые показатели выбросов на примере 100 газовых автобусов:

$$0,042 \text{ т/год} \times 100 \text{ шт} = 4,2 \text{ т/год.}$$

Теоретическое сокращение выбросов в атмосферу за счет замены 100 дизельных автобусов на газомоторные:

$$5,9 \text{ т/год} - 4,2 \text{ т/год} = 1,8 \text{ т/год.}$$

Сравнение влияния дизельного топлива и сжатого газа на загрязнение окружающей среды показало, что теоретическое сокращение выбросов в атмосферу за счет замены 100 дизельных автобусов на газомоторные может составить 1,8 т/год.

Ознакомившись с данными наблюдениями, можно сделать вывод, что перевод общественного транспорта на газомоторное топливо приносит пользу экономике и экологии города Липецка. Автобусы – это не последнее изменение системы транспорта. В связи с ростом доступности автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), большее количество людей в недалеком будущем будут интересоваться газобаллонным оборудованием, но пока, к сожалению, такой вид топлива еще не завоевал доверия на территории Липецка. Результаты исследования достаточно универсальны и могут быть использованы работниками департаментов транспорта регионов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Корчагин, В.А.** Биосферно-совместимый критерий оценки и сравнения экологической опасности автомобилей / Ю.Н. Ризаева, С.Н. Сухатерина. – Текст : непосредственный // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 8. – С. 51– 53.
2. **Липецкая область. Закон.** Стратегия социально-экономического развития Липецкой области на период до 2020 года (с изменениями на 14 декабря 2011 года), № 10-

ОЗ от 25 декабря 2006 года : [принят постановлением Липецкого областного Совета депутатов № 60–пс. от 19 декабря 2006 г.] – URL: <https://admlip.ru/activities/docs/> (дата обращения: 25.02.2017). – Текст : электронный.

3. **Жанказиев, С.В.** Современные тенденции развития автомобильно-дорожной инфраструктуры / С.В. Жанказиев. – Текст : непосредственный // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: материалы международной научной конференции. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2016. – С. 43 – 50.

4. **Волков, В.С.** Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспорта по концентрации СО / В.С. Волков, Е.В. Тарасова. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе: Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж : Изд-во Автомобильно-транспортного института, 2018. – С. 264 – 268.

5. Оптимизация работы общественного транспорта / А.С. Бодров, Д.О. Ломакин, Е.О. Фабричный [и др.]. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 4 (55). – С. 74 – 81.

6. **Афанасьев, А.С.** Состояние и перспективы автомобильных перевозок / А.С. Афанасьев, И.В. Таневицкий, Т.А. Менухова. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского горного университета, 2017. – С. 5 – 12. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах

Кузнецов Андрей Юрьевич, студент кафедры управления автотранспортом Липецкого государственного технического университета.

Лукинов Александр Сергеевич, начальник отдела развития транспортной отрасли Департамент транспорта администрации города Липецка.

Ключевые слова: топливо, дизель, газ, общественный транспорт, экология, экономика.

e-mail: undeckoff@gmail.com.

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

APPLICATION OF NATURAL GAS VEHICLE FUEL IN THE LIPETSK CITY TRANSPORT SYSTEM

A.Yu. Kuznetsov, A.S. Lukinov

In this article, together with the Transport Department of the city of Lipetsk, the advantages and disadvantages of the transition of the Lipetsk city transport system to natural gas equipment are considered.

Keywords: fuel, diesel, natural gas, public transport, ecology, economy.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Липецкий государственный технический университет

Ю.Н. Ризаева, С.Н. Сухатерина, А.Ю. Кузнецов

Государство ставит перед специалистами автотранспортной отрасли масштабную задачу совершенствования автотранспортной системы. Для проведения научных исследований на транспорте необходимо четко прослеживать основные ориентиры государственной политики в области транспорта, представлять направления развития транспортной отрасли. В работе рассмотрена государственная политика автотранспортной отрасли.

Сегодня наблюдается бурное развитие технологий, продуктов, услуг по многим направлениям «Транспортное машиностроение», «Телематические транспортные и информационные системы», «Интеллектуальная городская мобильность», «Транспортно-логистические услуги», «Развитие беспилотного транспорта» и других направлений.

Для понимания направления проведения научных исследований в области автомобильного транспорта авторами рассмотрены основные стратегические ориентиры государственной политики в области автотранспорта. Цели, задачи, индикаторы четко прописаны в соответствующих приказах, указах и другой нормативной документации. Исследователям необходимо понять, какие направления выбрать для своей работы, что в приоритете у государства в области функционирования автомобильного транспорта.

Государственная политика в области автомобильного транспорта четко обозначена в стратегических документах. Актуальные и важные задачи, продиктованные научно-техническим прогрессом и выходом большого числа все новых и новых технологий, могут решить только подготовленные кадры, обладающие инженерным творчеством, креативностью и стремлением изучать и внедрять новые механизмы для повышения эффективности работы автомобильного транспорта.

Транспортные и космические системы – это приоритетное направление развития науки, техники и технологий согласно указу Президента РФ, что является общепринятым в технологически развитых странах мира и продиктовано российскими особенностями [1].

Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации определены приоритеты и перспективы научно-технологического развития России, одним из которых является развитие интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для обеспечения связанности территории России [2]. Сегодня наблюдается бурное развитие цифровых технологий на транспорте, что обуславливает их использование при оказании транспортно-логистических услуг, при внедрении механизмов для повышения безопасности грузовых и пассажирских перевозок. При принятии управленческих решений и для управления транспортной инфраструктурой большую роль играет применение механизмов и возможностей искусственного интеллекта.

Государством выделяется финансирование в рамках национального проекта «Безопасные качественные автомобильные дороги». Субъекты Российской Федерации формируют региональные программы внедрения интеллектуальных транспортных систем. В связи с широким распространением ИТС, Министерством транспорта РФ особо пристальное внимание уделяется данному направлению, которое активно внедряется в регионах. Ключевыми показателями эффективности ИТС являются повышение безопасности транспортного процесса, рост средней скорости движения транспорта на улично-дорожной сети при одновременном снижении аварийности на дорогах общего пользования, увеличение количества перевозимого груза и рост числа пассажиропотока на автомобильном транспорте, а также снижение негативного влияния автомобильного транспорта на дорогах России.

Государство ставит перед транспортниками масштабную задачу по созданию и развитию беспилотного транспорта. Активно обсуждаются проблемы, связанные с внедрением беспилотников; ставятся и постепенно решаются задачи, направленные на использование беспилотного транспорта для технологических перевозок.

В дорожной карте рынка «Автонет» Национальной технологической инициативы (НТИ) говорится о необходимости выйти на лидирующие позиции в области беспилотных автотранспортных средств. В дорожной карте НТИ «Автонет» четко прописаны основные направления развития транспорта на ближайшие 10 – 15 лет. Большая роль отводится внедрению беспилотного транспорта в пилотируемый и беспилотный транспортный поток.

В настоящее время на рынок выводятся новые продукты и услуги, предлагаются новые технологические решения по различным направлениям. В направлении «Телематические транспортные и информационные системы» выводятся на рынок новые продукты и услуги в области навигации, мониторинга транспортной системы; услуги по сбору, обработке и анализу данных, применение механизмов искусственного интеллекта, кибербезопасность. Особенно остро стоит вопрос с обеспечением использования и хранения персональных данных участников транспортного потока. Нормативно-правовая база должна обеспечивать полную сохранность и надежность всех операций, связанных с данным видом деятельности.

В направлении «Интеллектуальная городская мобильность» новыми продуктами и услугами становятся онлайн-бронирование и организация маршрутов, перенесение нагрузки с индивидуального транспорта на использование пассажирами городского транспорта посредством повышения качества предоставляемых транспортных услуг городом и другие услуги. Новые технологические решения в данном направлении следующие: анализ данных транспортного процесса и системы помощи принятия решений и конструирования мультимодальных маршрутов, система транспортной инфраструктуры, мобильные платформы и прочее, что должно помогать пользователям (участникам дорожного движения) ориентироваться в маршруте, загруженности улично-дорожной сети, возможных маневрах.

В направлении «Транспортно-логистические услуги» новыми продуктами и услугами являются услуги складской логистики с применением интеллектуальных и инфокоммуникационных систем, услуги агрегации транспортно-логистических процессов и услуги оптимизации, совершенствования транспортно-логистических цепочек, услуги мультимодальных логистических центров и прочее. Актуальным технологическим решением в данном направлении является применение IT-технологий для планирования, организации, контроля организации доставки грузов и пассажиров, управления складами и другими операциями транспортного процесса.

В «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» [3] четко указаны цели, задачи, ориентиры, которые являются первостепенными для государства. Эффективная реализация транспортной стратегии РФ невозможна без квалифицированных кадров, без сохранения и развития региональных научных школ, без создания научно-исследовательских лабораторий, центров, без взаимодействия науки и производства.

Сегодня одними из стратегических целей и задач государственной политики в области транспорта являются сохранение и развитие кадрового потенциала транспортной отрасли, подготовка высококвалифицированного специалиста, который в состоянии будет решать серьезные задачи, которые ставит государство перед специалистами транспорта.

В представленных ниже приказах [4 – 7] Министерства транспорта и Министерства промышленности и торговли четко говорится о необходимости, актуальности, целесообразности увеличения и улучшения подготовки специалистов для автотранспортной отрасли. В этих приказах прямо предписывается на соответствующие должности принимать специалистов укрупненной группы специальностей и направлений подготовки 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта». Сегодня необходимо сохранить и развить тот потенциал, который имеется в настоящее время, и создать условия для

подготовки необходимых специалистов, способных комплексно решать серьезные транспортные задачи с учетом достижений науки и технологий, с учетом выхода новых требований, предъявляемых к протеканию транспортного процесса и качеству предоставляемых услуг на транспорте.

В настоящее время активно обсуждаются государственные вопросы информационной безопасности на транспорте: раскрыта государственная политика РФ в области регулирования информационной безопасности на международном уровне, определены угрозы в данном направлении; цель, задачи, приоритетные направления политики России, предложены механизмы реализации представленных задач [8].

Концепция федерального закона РФ «Интеллектуальная транспортная система Российской Федерации» направлена на решение задачи по нормативно-правовой регламентации хранения и использования данных о параметрах транспортного процесса, с учетом интересов потребителя транспортных услуг; формирование механизмов интеграции и/или унификации инженерно-организационных предложений при информатизации и автоматизации процессов, необходимых для эффективного функционирования транспортной отрасли. Данные задачи должны быть поддержаны на законодательном уровне, не нарушая при этом утвержденных ведомственных и отраслевых стандартов и норм [9].

Разработанный проект «Концепция развития интеллектуальных транспортных систем в РФ» говорит о необходимости создания зоны единого информационного пространства (ЕИП) для эффективного функционирования транспортной системы и апробации данной инициативы как пилотного проекта; разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем (ИТС); создания федерального закона, подзаконных актов для регламентации функционирования ЕИП, правах и обязанности участников транспортного процесса в рамках функционирования интеллектуальных транспортных систем. В проекте говорится о необходимости взаимодействия ИТС-сервисов и ИТС-систем, важности обмена информацией о транспортном процессе, о необходимости создания ЕИП для беспрепятственного доступа к информации [10]. Данные задачи позволят разгрузить улично-дорожную сеть, снизить время проезда по автомобильным дорогам, сократить выбросы вредных веществ отработавших газов автомобильным транспортом, повысить эффективность работы всей транспортной системы.

Таким образом, государство ставит перед научными кадрами автотранспортной отрасли масштабную задачу совершенствования транспортной системы Российской Федерации. Развитие технологий диктует необходимость проведения крупных научных исследований в области автомобильного транспорта. Исследователям в области автотранспорта необходимо четко понимать и отслеживать стратегические ориентиры государственной политики в области транспорта в России и за рубежом, при проведении актуальных и значимых для Российской Федерации направлений развития автомобильного транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Российская Федерация. Указ Президента РФ.** Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации : [утвержден указом Президента РФ № 899 от 07 июля 2011 г.]. – URL : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/33514> (дата обращения: 28.12.2020). – Текст : электронный.

2. **Российская Федерация. Указ Президента РФ.** О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : [утвержден указом Президента РФ от 01 декабря 2016 г.]. – URL : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 28.12.2020). – Текст : электронный.

3. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года : [утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1734-р от 22 ноября 2008 г.]. – URL : <http://government.ru/docs/22047> (дата обращения: 28.12.2020) . – Текст : электронный.

4. **Российская Федерация. Приказ.** Об утверждении перечня профессий и должностей, связанных с организацией дорожного движения, и квалификационных требований к ним. [утвержден приказом Минтранса России № 487 от 29 декабря 2018 г. : зарегистрировано в Минюсте России 04 марта 2019 № 53936].

– URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319414 (дата обращения: 28.12.2020). – Текст : электронный.

5. **Российская Федерация. Приказ.** Об утверждении порядка мониторинга дорожного движения. [утвержден приказом Минтранса России № 114 от 18 апреля 2019 г. : зарегистрировано в Минюсте России 18 июня 2019 г. № 54951]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_327065/ (дата обращения: 28.12.2020). – Текст : электронный.

6. **Российская Федерация. Приказ.** Об утверждении Квалификационных требований к техническим экспертам : [Приказ Министерства промышленности и торговли России № 918 от 20 марта 2020 г. : зарегистрировано в Минюсте России 3 июля 2020 г. № 58825]. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74235770/> (дата обращения: 28.12.2020). – Текст : электронный.

7. **Российская Федерация. Указ Президента РФ.** Основы государственной политики Российской Федерации в области международной информационной безопасности. [утверждены указом Президентом РФ 24.07.2013 № Пр-1753]. – URL: <http://www.scrf.gov.ru/security/information/document114/> (дата обращения: 28 декабря 2020). – Текст : электронный.

8. Интеллектуальная транспортная система Российской Федерации: концепция Федерального закона РФ. – URL: <http://www.tpsa.ru/files/Koncepcia%20Intellektualnie%20transportnie%20systemi.pdf> (дата обращения: 28 декабря 2020). - Текст : электронный.

9. Концепция развития интеллектуальных транспортных систем в Российской Федерации: проект от 13 апреля 2015 г. – URL: http://its-russia.ru/news/deyatelnost-ekspertnogosoveta/opublikovan_proekt_kontseptsii_razvitiya_intellektualnykh_transportnykh_sistem_v_rossiyskoj_federats/ (дата обращения: 28.12.2020). – Текст : электронный.

Сведения об авторах

Ризаева Юлия Николаевна, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления автотранспортом Липецкого государственного технического университета.

Сухатерина Светлана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры управления автотранспортом Липецкого государственного технического университета.

Кузнецов Андрей Юрьевич, студент кафедры управления автотранспортом Липецкого государственного технического университета.

Ключевые слова: государственная политика, автомобильный транспорт, Стратегия развития транспортной отрасли на период до 2030 г.

e-mail: rizaeva.u.n@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

STATE POLICY IN THE FIELD OF ROAD TRANSPORT

Yu.N. Rizaeva, S.N. Sukhaterina, A.Yu. Kuznetsov

The paper considers the state policy of the transport industry. To conduct scientific research on transport, it is necessary to clearly trace the main guidelines of state policy in the field of transport, to understand the development trends of the transport sector and the world economy as a whole, since the state sets before us a large-scale task of improving the transport system.

Key words: public policy, road transport, Strategy for the development of the transport industry for the period up to 2030.

УДК 656.016

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ МОЕЧНОЙ СТАНЦИИ САМООБСЛУЖИВАНИЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Липецкий государственный технический университет

Д.А. Кадасев, Н.В. Воронин

В работе рассмотрено создание имитационной модели в программе AnyLogic автомобильной моечной станции самообслуживания и критерии повышения эффективности ее функционирования. Моделирование работы моечной станции выполнено на основе методов и алгоритмов построения систем массового обслуживания. Выполнен анализ производительности объекта транспортной инфраструктуры в зависимости от времени выполнения операции и спроса на услугу моечной установки в текущий момент времени.

Современные тенденции развития транспортного комплекса затрагивают различные сегменты деятельности по оказанию услуг на автомобильном транспорте, в том числе по эффективной организации структуры автосервисных предприятий, автозаправочных станций, автомоечных станций самообслуживания, являющихся вспомогательным механизмом в обслуживающем секторе автотранспортной отрасли. Основные критерии модернизации обслуживаемых объектов автотранспортной отрасли включают в себя формирование многопоточной системы управления ресурсами на предприятиях, создание условий для реализации непрерывного конвейерного алгоритма оказания услуг, применение интермодальных технологий, способствующих повышению качества обслуживания, а также достижению высоких экономических и социальных показателей [1].

Объектом исследования является автомобильная моечная станция самообслуживания расположенная на Липецкой кольцевой автодороге (рис. 1). Размещение моечной станции самообслуживания вне населенного пункта на автомобильной дороге с высокой интенсивностью движения транспортных потоков позволяет обслужить транзитные транспортные средства, а находящаяся в непосредственной близости автозаправочная станция позволяет потребителю выполнить полный спектр услуг, необходимый в пути дальнего следования [2].

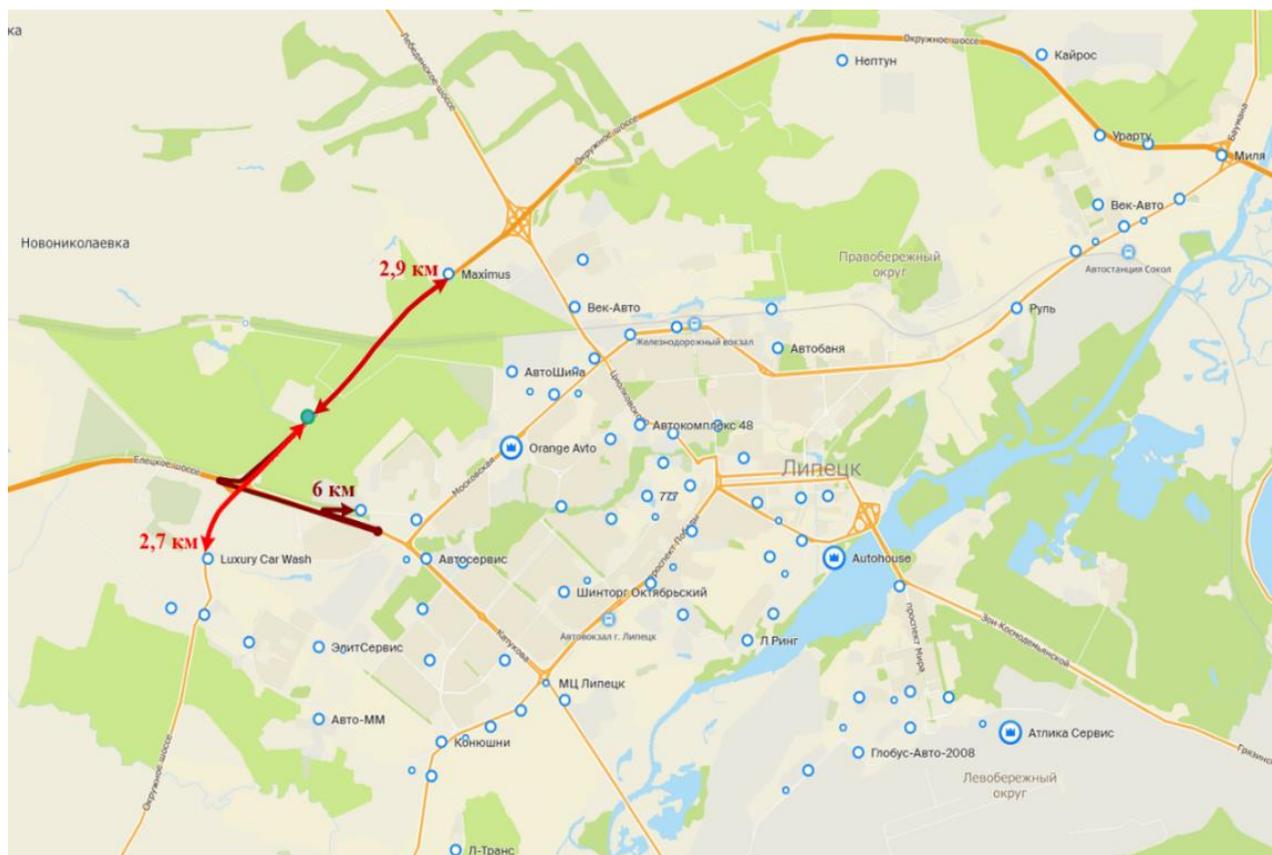


Рис. 1. Предлагаемое место размещения автомобильной моечной станции самообслуживания

Основной целью представленного исследования является создание имитационной модели автомобильной моечной станции самообслуживания, отражающей структуру объекта транспортной инфраструктуры, схему движения автомобилей на ней, алгоритмы управления и распределения транспортных средств как в зоне ожидания, так и в зоне обслуживания.

Реализация поставленной цели возможна посредством выполнения следующих определенных в ходе исследования задач:

- 1) определение технико-эксплуатационных параметров автомобильной моечной станции самообслуживания, включающих в себя задание количества технических постов, анализ среднего времени нахождения транспортных средств в зоне обслуживания, количества автомобилей, находящихся в очереди;
- 2) разработка территориального плана-конфигурации автомобильной моечной станции самообслуживания;
- 3) повышение эффективности работы автомобильной моечной станции самообслуживания применением алгоритмов, сокращающих время ожидания автомобилей в очереди.

Практическая значимость исследования заключается в проведении предварительной оценки планируемой конфигурации и подборе производственных параметров, что позволит не только обосновать эффективность конкретного разрабатываемого варианта, но и увеличить производительность уже действующих автомобильных моечных станций самообслуживания.

Логический алгоритм управления работой автомобильной моечной станции самообслуживания представлен на рис. 2. Представленный алгоритм основывается на теории массового обслуживания, создании терминально-логистических связей, учитывающих технико-эксплуатационные характеристики обслуживающего комплекса [3]. Приоритетной задачей представленного модуля является формирование сбалансированной

системы, включающей надежное и устойчивое взаимодействие инфраструктурно-функциональных объектов, обеспечивающих технологическое взаимодействие потребителей транспортных услуг и объектов инфраструктуры [4].

Логические операции выполняются в следующей последовательности: транспортное средство въезжает на территорию объекта → водитель выбирает свободный пост обслуживания → при отсутствии свободного поста водитель находится в очереди и ожидает его появления → подача транспортного средства на обслуживающий пост → выполнение мойки автомобилей с учетом времени выполнения всех необходимых операций → завершение процедуры обслуживания и покидание зоны → транспортное средство выезжает с территории объекта.

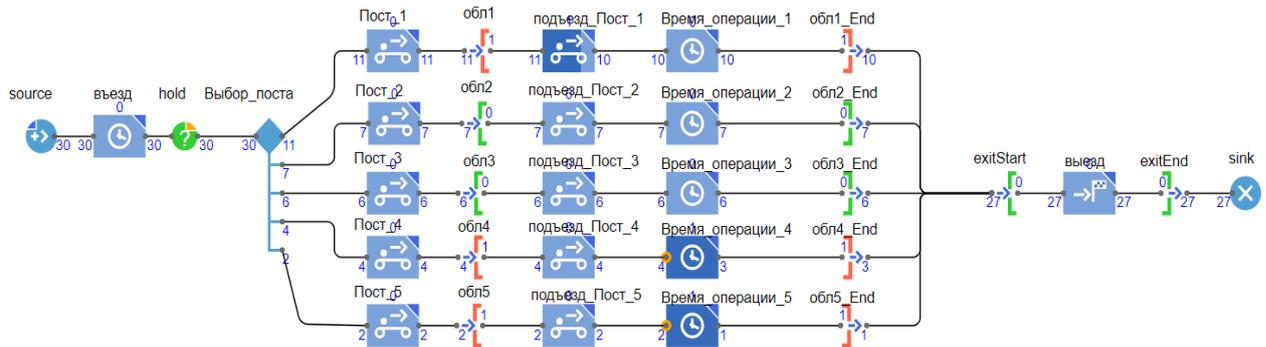


Рис. 2. Логический алгоритм управления автомобильной моечной станцией самообслуживания

Теория массового обслуживания (теория очередей) входит в укрупненную группу экономико-математических методов анализа. Преимуществом использования данного метода является не только проведение анализа процессов в системе обслуживания, но и разработка рекомендаций, касающихся рационального использования таких систем и повышения эффективности их функционирования [5].

Представленная на рис. 3 система массового обслуживания является многоканальной с условием ожидания. Все поступающие требования для обслуживания представляют собой очередь, а каждый агент имеет характеристику «время ожидания». Все поступающие заявки должны быть обслужены. Повышение эффективности производительности автомобильной моечной станции самообслуживания целесообразно проводить, предварительно построив имитационную модель системы. Исследуя имитационную модель автомобильной моечной станции самообслуживания можно найти оптимальные параметры функционирования реальной системы [6].

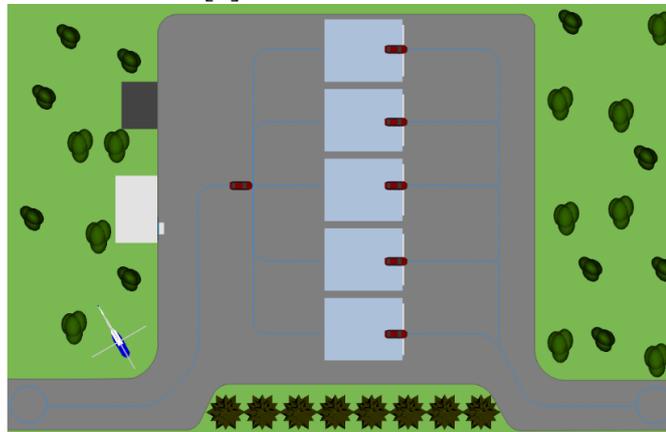


Рис. 3. Графическое представление имитационной модели автомоечной станции самообслуживания

Перспективным концептуальным направлением в рамках данной работы является создание информационной системы с возможностью сбора, накопления и обработки статистических данных, на основании которых на информационное табло выводится информация о приблизительном времени ожидания в очереди. Таким образом удастся повысить эффективность автомобильной моечной станции самообслуживания, а также повысить качество принимаемых решений непосредственно потребителю услуги. Прикладная область теории массового обслуживания основывается на вероятностных моделях реальных систем обслуживания и предназначена для сокращения издержек, оптимизации различных процессов и их реструктуризации в сфере материального производства, в том числе в сфере услуг.

Исходными данными, вносимыми в модель, являются вероятностные характеристики входящего потока заявок и продолжительность обслуживания. На основании моделирования работы модель позволяет определить параметры качества обслуживания: среднее время ожидания обслуживания и время, затрачиваемое для выполнения различных вариантов совмещенных операций, непосредственно связанных с оказываемой услугой. Результаты моделирования работы автомобильной моечной станции самообслуживания приведены на рис. 4.

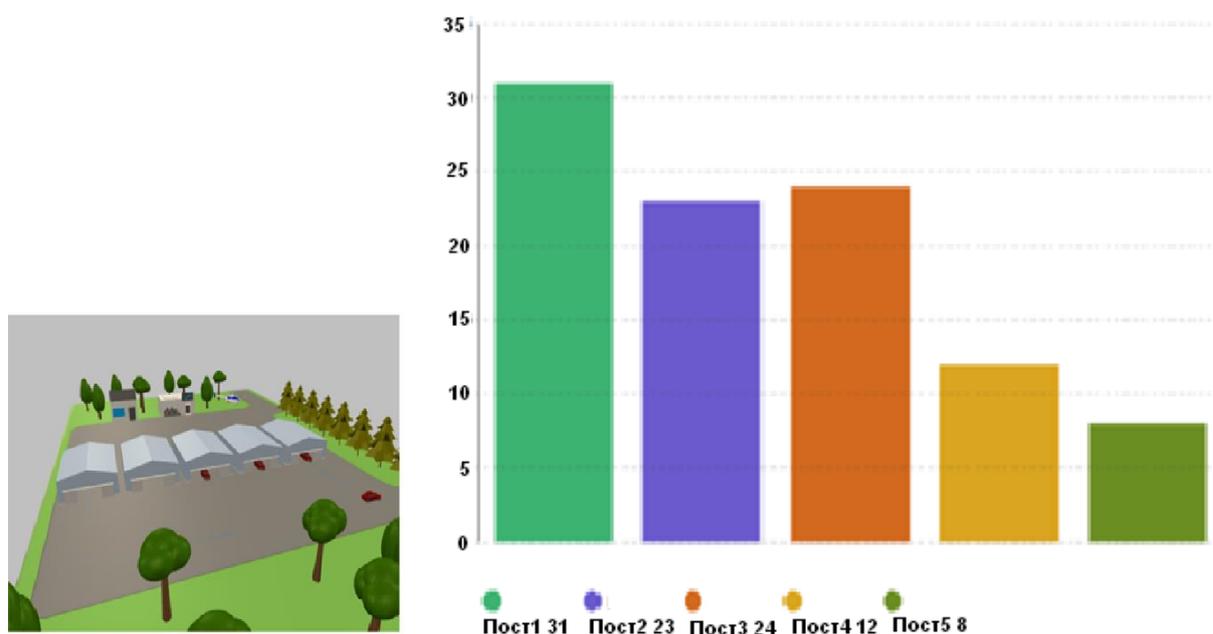


Рис.4. Мониторинг заполняемости автомобильной моечной станции самообслуживания в режиме реального времени

Предлагаемая имитационная модель функционирования автомобильной моечной станции самообслуживания является инструментом помощи в области принятия управленческих решений, а также средством оценки эффективности работы за счет автоматизированного управления электронной очередью. Представленный набор модулей требует минимальных затрат на разработку и внедрение, но при этом создает условия для проведения различных аналитических экспериментов, что является эффективным инструментом в оптимизации процессов обслуживания, связанных с простоем технологических устройств [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Цыганов, А.В.** Параметры предприятий автотранспортного обслуживания в терминально-логистических центрах / А.В. Цыганов. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – Самара, 2020. – № 3 (81). – С. 81 – 88.
2. 2ГИС. Россия. Липецкая область. Липецк. Автомойки. URL: <https://2gis.ru/lipetsk/search/Автомойки> (дата обращения: 09.01.2021). – Текст : электронный.
3. **Бейсенов, М.А.** Современные стандарты организации деятельности автомойки / М.А. Бейсенов. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт: материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО "СибАДИ"). – Омск, 2015. – С. 1553 – 1558.
4. **Дырдасова, А.С.** Применение теории массового обслуживания для анализа эффективности функционирования автомойки / А.С. Дырдасова, К.А. Фролова. – Текст : непосредственный // Лучшая студенческая статья 2017: сборник статей VIII Международного научно-практического конкурса: в 2 частях. – Пенза, 2017. – С. 13 – 18.
5. **Беляев, А.В.** Разработка концептуальной модели базы данных автоматизированной подсистемы учета трафика автомойки / А.В. Беляев, С.Е. Играков, Н.П. Орлянская. – Текст : непосредственный // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития: сборник материалов X международного студенческого форума. – Краснодар, 2018. – С. 242 – 244.
6. **Ерина, Т.А.** Моделирование автоматизированной системы массового обслуживания / Т.А. Ерина, Н.Е. Цейтлина, Т.А. Карпенко // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты: сборник научных статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей . Под общей редакцией Т.М. Сигитова. – Пермь, 2017. – С. 74 – 76. – Текст : непосредственный.
7. Применение имитационного моделирования для совершенствования функционирования модуля интеллектуальной транспортно-логистической системы / С.А. Ляпин, Ю.Н. Ризаева, Д.А. Кадасев, Н.В. Воронин. – Текст : непосредственный // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XXI Международной конференции. В 2-х томах. Под редакцией С.А. Никитова, Д.Е. Быкова, С.Ю. Боровика, Ю.Э. Плешивцевой. – Самара, 2019. – С. 272 – 277.

Ключевые слова: система массового обслуживания, имитационное моделирование, автомоечная станция самообслуживания.

Сведения об авторах

Кадасев Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры управления автотранспортом Липецкого государственного технического университета.

Воронин Никита Владимирович, магистрант кафедры управления автотранспортом Липецкого государственного технического университета.

e-mail: kadasev@mail.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE SELF-SERVICE CAR WASHING STATION BY SIMULATION MODELING

D.A. Kadasev, N.V. Voronin

The paper considers the creation of an AnyLogic simulation model of a self-service car washing station and criteria for improving the efficiency of its operation. The washing station operation is simulated on the basis of methods and algorithms for building queuing systems. The transport infrastructure object performance is analyzed depending on the current operation time and the demand for the washing station service.

Key words: queuing system, simulation modeling, self-service car washing station.

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ

Липецкий государственный технический университет

А.Н. Быконя, А.Ю. Мельников

В статье описаны технология и компьютерная программа расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасного излучения для сушки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автомобилей типа II. Приведены сравнительные расчетные и экспериментальные данные параметров инфракрасного нагрева корпусных деталей автомобилей.

Корпусные детали автомобилей являются наиболее дорогостоящими базисными деталями и определяют срок службы механизмов и автомобиля в целом. Износ посадочных мест под подшипники качения является наиболее распространенной причиной выбраковки корпусных деталей автомобилей [1...4]. Причиной этого является фреттинг-коррозия [5]. При восстановлении изношенных посадочных мест под подшипники качения корпусных деталей автомобилей полимерными нанокompозитами исключается фреттинг-коррозия за счет деформации наружного кольца подшипника, приводящая к перераспределению нагрузки с центрального наиболее нагруженного тела качения на соседние с ним. Это приводит также к снижению контактных напряжений в подшипнике, вследствие чего значительно возрастает долговечность работы подшипникового узла и увеличивается ресурс работы корпусной детали автомобиля (рис. 1). В сравнении с другими способами восстановления корпусных деталей автомобилей способ восстановления полимерными покрытиями технологически проще и сравнительно дешевле [6, 7]. Наиболее высокую эффективность восстановления обеспечивают эластомеры ГЭН-150(В), герметик 6Ф, лак Ф-40, которые наносят в виде покрытия на изношенную поверхность посадочного отверстия [4].

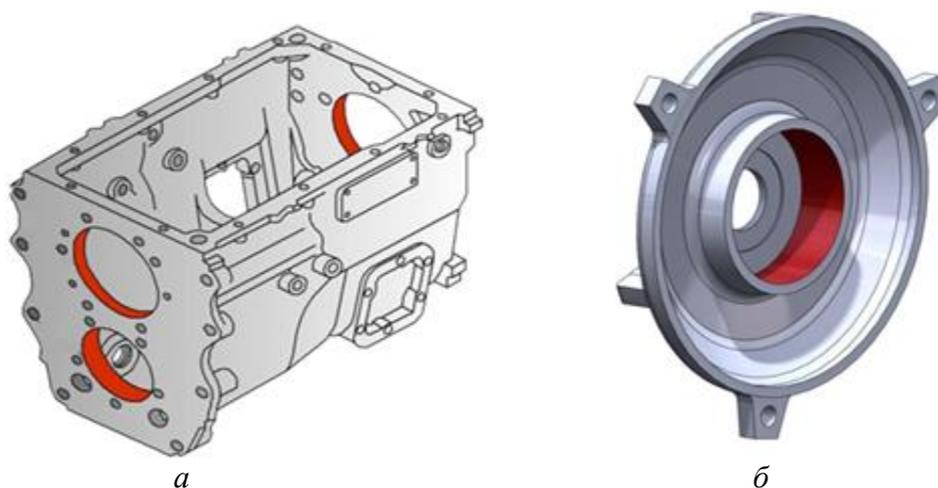


Рис. 1. Посадочные отверстия в корпусных деталях автомобиля, восстановленные нанесением полимерного покрытия: *а* – корпус коробки передач автомобиля; *б* – подшипниковый щит генератора автомобиля

Введение в раствор эластомера наноразмерных частиц алюминия и меди повышает деформационно-прочностные свойства покрытия из нанокompозита и обеспечивает лучший теплоотвод от подшипникового узла в процессе эксплуатации. Полимерные покрытия перед калиброванием под размер подшипника подвергаются термической обработке до полного отверждения. В настоящее время существуют два способа термообработки: конвективный и терморadiационный (инфракрасный). При конвективном способе существует возможность обработки нескольких корпусных деталей автомобилей одновременно, но при этом конвективный способ имеет существенный недостаток - возникает значительная пористость отверждаемого полимерного покрытия, что приводит к снижению его деформационно-прочностных свойств, а также к снижению ресурса работы подшипникового узла [8...10].

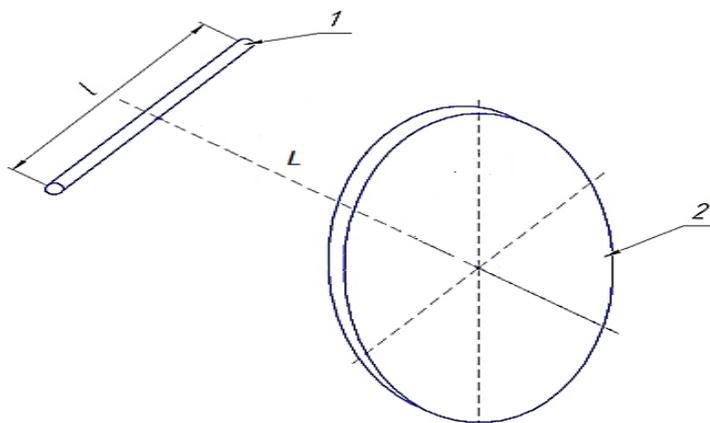


Рис. 2 Схема установки инфракрасного нагрева:
1 – инфракрасный излучатель; 2 – подшипниковый щит

Пористость полимерного покрытия из нанокompозита, обработанного инфракрасной сушкой, значительно снижается, а качество покрытия становится лучше. Это является следствием лучших условий выхода паров растворителя при инфракрасной сушке покрытия. Инфракрасное излучение почти не поглощается воздухом, а нагревается корпусная деталь. Появляется температурный градиент от металлической подложки к окружающей воздушной среде, что приводит к первоначальному отверждению внутренних слоев нанокompозита и беспрепятственному выходу паров ацетона в окружающую атмосферу. Далее происходит отверждение вышележащих слоев, в результате чего

пористость в сравнении с конвективной сушкой и качество поверхности нанокompозита улучшаются.

К преимуществам установок инфракрасной сушки можно отнести следующее: сравнительно небольшие размеры, легкость в настройке мощности излучателей в зависимости от габаритов нагреваемой корпусной детали, мобильность и меньшее, в отличие от конвективного способа, энергопотребление.

Дальнейшие исследования инфракрасного способа сушки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автомобилей позволят эффективнее восстанавливать корпусные детали автомобилей с меньшими затратами на ремонт и увеличить срок службы техники.

Сотрудниками кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность» ЛГТУ предложена технология восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными нанокompозитами, отверждаемыми инфракрасной сушкой. Также были разработаны математические модели процесса инфракрасного (терморadiационного) нагрева корпусных деталей типа I, II, наиболее часто используемых в автомобилях.

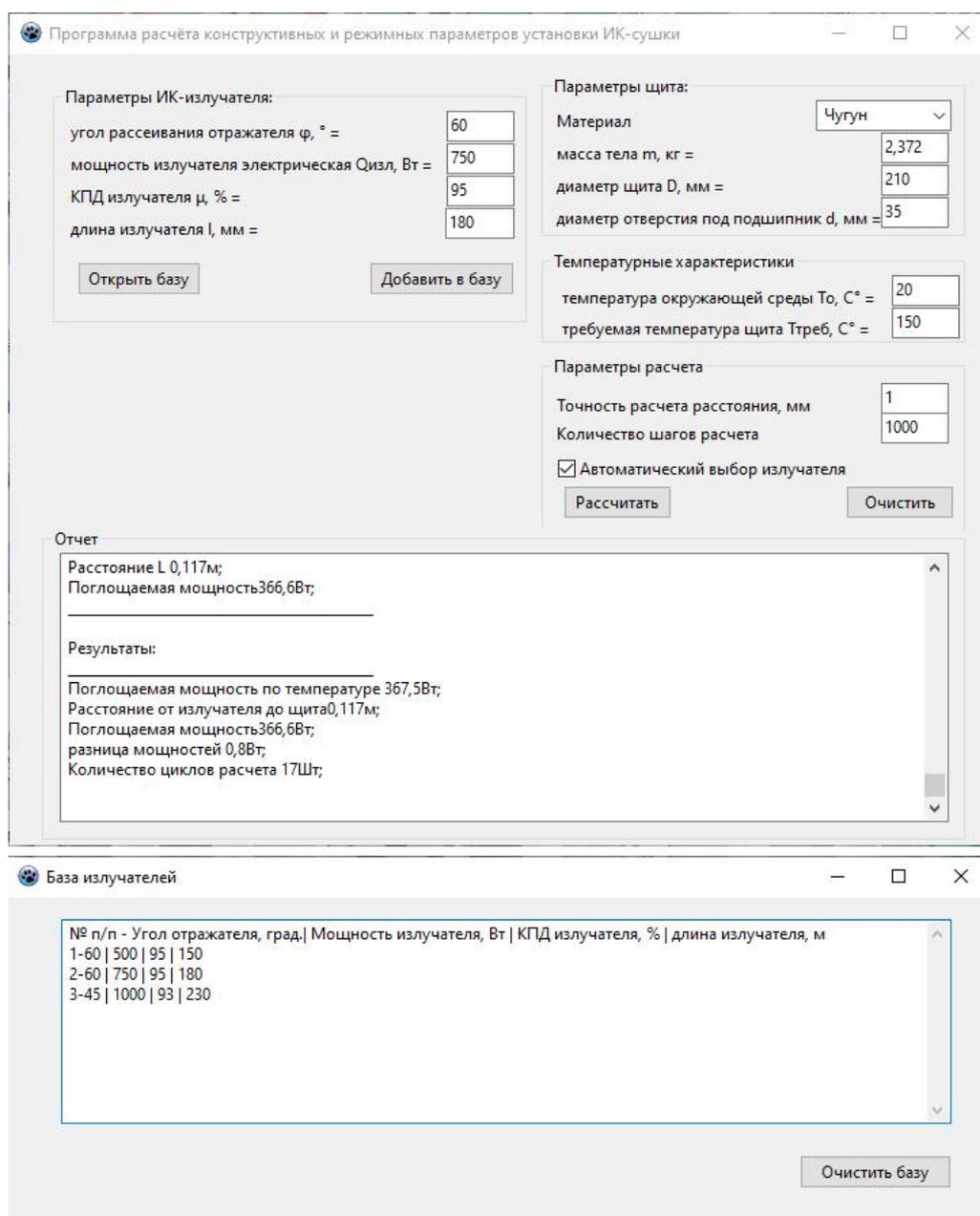


Рис.3 Интерфейс программы расчета

Технология включает подготовку поверхности отверстий (очистка и обезжиривание поверхности отверстия), нанесение полимерного покрытия, его термическую инфракрасную обработку до полного отверждения при заданной технологической температуре и последующее калибрование под заданный размер и форму.

При использовании разработанной математической модели инфракрасного нагрева корпусной детали типа II была разработана программа расчета параметров термообработки полимерного покрытия [11]. Выходными технологическими данными являются расстояние от излучателя до корпусной детали (подшипникового щита), требуемая электрическая мощность излучателя, количество излучателей и время нагрева до заданной установившейся (технологической) температуры.

Рассчитывается допустимый поглощаемый тепловой поток корпусной деталью $[q_{\text{изл}}]$, при достижении установившейся температуры $T_{\text{уст}}$ по формуле

$$[q_{\text{изл}}] = \frac{C_v m (T_{\text{уст}} - T_0)}{H_{\text{эксп}}},$$

где C_v – теплоемкость материала корпусной детали, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; m – масса детали, кг;

T_0 – температура окружающей среды, К; $H_{\text{эксп}}$ – экспериментальное значение константы нагрева, с.

Программа рассчитывает расстояние, на котором надо установить инфракрасные излучатели, чтобы обеспечить допустимый тепловой поток в условиях неограниченного пространства, время выхода на установившийся режим инфракрасного нагрева. Программа расчета режимных параметров инфракрасной сушки полимерного покрытия разработана в среде Lazarus (Free Pascal). Интерфейс программы представлен на рис. 3.

В базе данных программы содержатся сведения об инфракрасных излучателях, такие как потребляемая электрическая мощность, геометрические размеры излучателей, углы отражения рефлекторов, выпускаемых промышленностью. Существует возможность ввода вручную параметров излучателей, которые есть в наличии на предприятии, осуществляющем восстановление корпусных деталей.

Контрольные эксперименты показали корректность программы расчета режимов инфракрасной сушки полимерных покрытий в изношенных отверстиях под подшипники качения корпусных деталей автомобилей. В экспериментах корпусными деталями были подшипниковые щиты электродвигателей серии 4А различных типоразмеров, которые нагревали инфракрасными излучателями QTS электрической мощностью 750 Вт с рефлекторами типа QTSR.

В табл. приведены результаты контрольных экспериментов.

Таблица

Расчетные и экспериментальные значения параметров нагрева подшипниковых щитов электродвигателей серии 4А

№ п/ п	Диаметр щита D, мм	Расстояние L, м	Мощность излучателя электрическая, $Q_{\text{изл}}$	Температура T, °C		Время нагрева τ , мин	
				расчетная	экспериментальная	расчетное	экспериментальное
1	145	0,125	750	150,0	148,2	41,6	42,0
2	185	0,115	750	150,0	149,3	45,5	46,0
3	210	0,110	750	150,0	147,4	47,3	48,0

Из табл. видно, что экспериментальные значения установившейся температуры отличаются от теоретических значений менее чем на 2 %, время выхода на установившийся

режим нагрева менее чем 1,5 %, что свидетельствует об адекватности полученной математической модели нагрева и корректности программы расчета установки инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях типа II.

Заключение

1. Подтверждена адекватность теоретических предпосылок инфракрасного нагрева корпусных деталей автомобилей при их восстановлении, на основе которых разработана программа расчета режимных параметров термообработки
2. Контрольным экспериментом установлена высокая сходимость расчетных и экспериментальных значений параметров нагрева корпусных деталей тип II автомобилей и подтверждена работоспособность разработанной компьютерной программы расчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования / А.В. Коломейченко, И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков [и др.] . – Текст : непосредственный // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 10. – С. 16–21.
2. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий / С.Ю. Жачкин, М.Н. Краснова, Н.А. Пеньков, А.И. Краснов. – Текст : непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 130 – 134.
3. **Кононенко, А.С.** Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов / А.С. Кононенко, К.Г. Дмитраков. – Текст : непосредственный // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 1. – С. 89 – 94.
4. **Ли, Р.И.** Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники / Р.И. Ли. – Липецк: ЛГТУ, 2014. – 379 с. – Текст : непосредственный.
5. **Ли, Р.И.** Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография / Р.И. Ли ; Липецкий государственный технический университет. – Липецк: ЛГТУ, 2017. – 224 с. – Текст : непосредственный.
6. **Ли, Р.И.** Технология производства металлополимерных подшипников качения / Р.И. Ли, М.Р. Киба. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2016. – № 1. – С. 29–33.
7. **Lee, R.I.** Promising Nanocomposite Based on Elastomer F-40 for Repairing Base Members of Machines / R.I. Lee, D.N. Psarev, M.R. Kiba. – Text : immediate // ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019 – Vol. 12. – No. 2. – pp. 128–132.
8. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов, А.Н. Батищев ; под редакцией В.В. Курчаткина. – Москва: Колос, 2000. – 776 с. – Текст : непосредственный.
9. **Колесников, А.А.** Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Колесников Александр Анатольевич ; Липецкий государственный технический университет. – Липецк, 2017. – 179 с. – Библиогр.: с. 146–158. – Текст : непосредственный.
10. **Машин, Д.В.** Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники композицией на основе эластомера Ф-40: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Машин Дмитрий Владимирович; Мичуринский государственный аграрный университет. – Мичуринск, 2013. – 149 с. – Библиогр.: с. 131–143. – Текст : непосредственный.

11. **Ли, Р.И.** Математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2019. – № 9. – С. 38–43.

Сведения об авторах

Быконя Андрей Николаевич, аспирант кафедры транспортных средств и техносферной безопасности Липецкого государственного технического университета.

Мельников Антон Юрьевич, аспирант кафедры транспортных средств и техносферной безопасности Липецкого государственного технического университета.

Ключевые слова: восстановление, корпусная деталь, полимер, инфракрасная сушка.

e-mail: kaf-ts@stu.lipetsk.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

A.N. Bykonya, A.Yu. Melnikov

RESTORATION OF CARCASE PARTS WITH POLYMER MATERIALS USING INFRARED HEAT TREATMENT

The article describes the technology and computer program for calculating the design and operating parameters of infrared radiation installations for drying polymer coatings during the restoration of body parts of type II cars. Comparative calculated and experimental data on the parameters of infrared heating of car body parts are presented.

Key words: restoration, body part, polymer, infrared drying.

УДК 669.162

О ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОБНОВЛЕНИЯ КОКСОВОЙ НАСАДКИ

Липецкий государственный технический университет
Новолипецкий металлургический комбинат

В.Н. Титов, В.И. Басов, Г.С. Наумова

Приведена обзорная информация о длительности обновления коксовой насадки в доменной печи и обуславливающих её факторов.

Коксовая насадка представляет собой массив кокса, который расположен в нижней части доменной печи (от уровня лещади до распара). Формирование коксовой насадки обусловлено такими факторами как: качество кокса, условия работы доменной печи, параметрами фурменной зоны, режимом загрузки и газораспределения. Структура коксовой насадки неоднородна в своем объеме. Так в работе [1] приводится описание коксовой насадки ДП-4 фирмы Кукиока (Япония), выделено 10 зон. Структура коксовой насадки представлена на рис. 1.

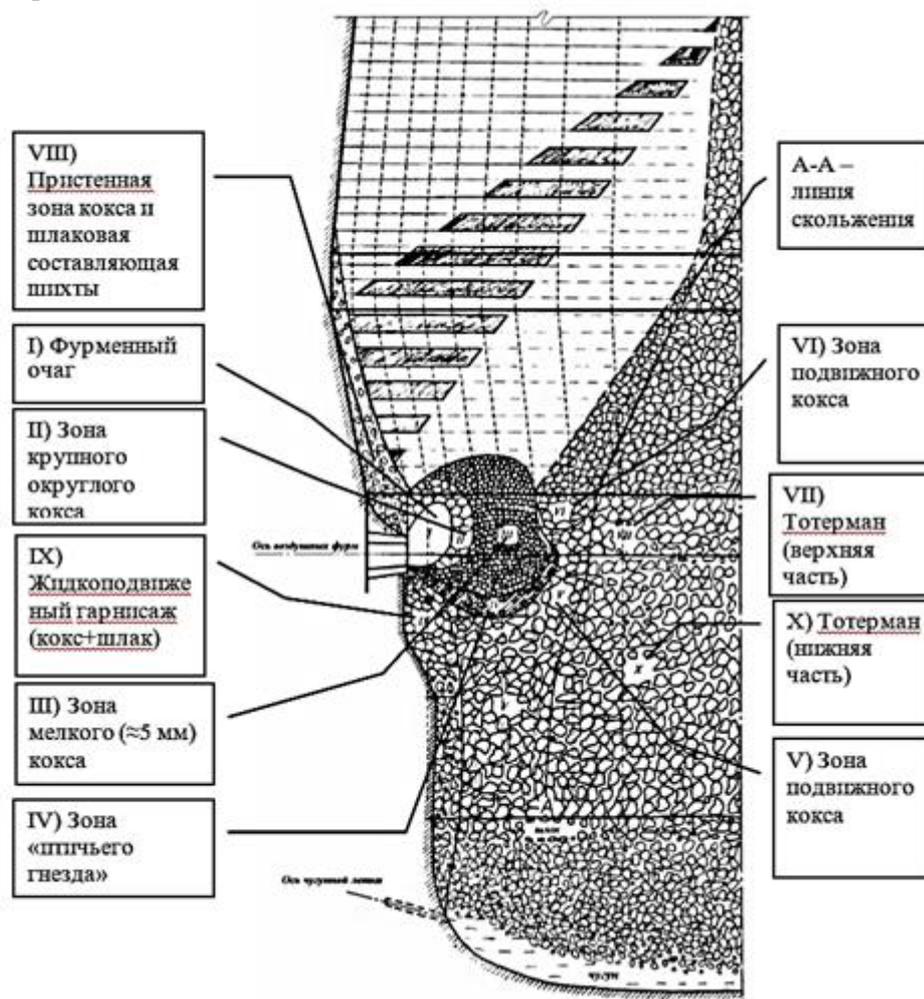


Рис. 1. Структура нижней части столба материалов в доменной печи [1]

Коксовая насадка состоит из подвижных зон кокса (II, III, IV, V, VI) и тотермана (VII, X). Тотерман отделяется от зон активного кокса линией скольжения (А-А). При этом авторы работы [1] отмечают важную взаимосвязь малоподвижного тотермана и динамических зон кокса в формировании направленных потоков в фурменную зону, а также газа и жидких фаз в нижней части доменной печи.

Помимо обеспечения дренажа продуктов плавки, формирование их конечного состава и газораспределение коксовой насадки играет особую роль в концентрации тепла ввиду значительных размеров и количества накопленного тепла. В соответствии с выполненными расчетами авторов работы [2] **теплосодержание коксовой насадки доменных печей объемом 2000-5000 м³ изменяется в диапазоне от 100 до 900 ГДж. Причем при переходе с W-образной на Л – образную форму зоны когезии теплосодержание коксовой насадки увеличивается из-за роста ее объема.**

Учитывая значение коксовой насадки в обеспечении эффективной работы доменной печи, актуальным является информация о времени ее обновления, что наиболее важно в условиях работы на коксе разного качества. Данная информация позволяет осуществлять прогнозирование изменений в работе доменной печи при изменении качества поступающего кокса.

В работе [3] приведены результаты экспериментов по определению характера движения кокса в зоне тотермана. При реализации этого проекта был произведен кокс нескольких сортов, помеченный ZrO_2 и Cr_2O_3 , для того, чтобы в дальнейшем можно было взять пробы этого кокса и четко отличить от помеченного, который был загружен до и после помеченного кокса. По результатам проведенного эксперимента было отмечено следующее:

- примерно через четыре дня после загрузки кокс не достиг или лишь частично достиг уровня фурм;
- через 5 дней после загрузки кокс достиг уровня фурм;
- через 6 дней после загрузки часть кокса находится на расстоянии примерно 3,5 м ниже уровня фурм;
- через 8,5 суток после загрузки весь кокс прошел уровень фурм, и его можно было обнаружить только в зоне горна (на расстоянии примерно 5 м ниже уровня фурм);
- через 11,5 суток после загрузки кокс достиг нижней части горна.

Схематично движение кокса представлено на рис. 2.

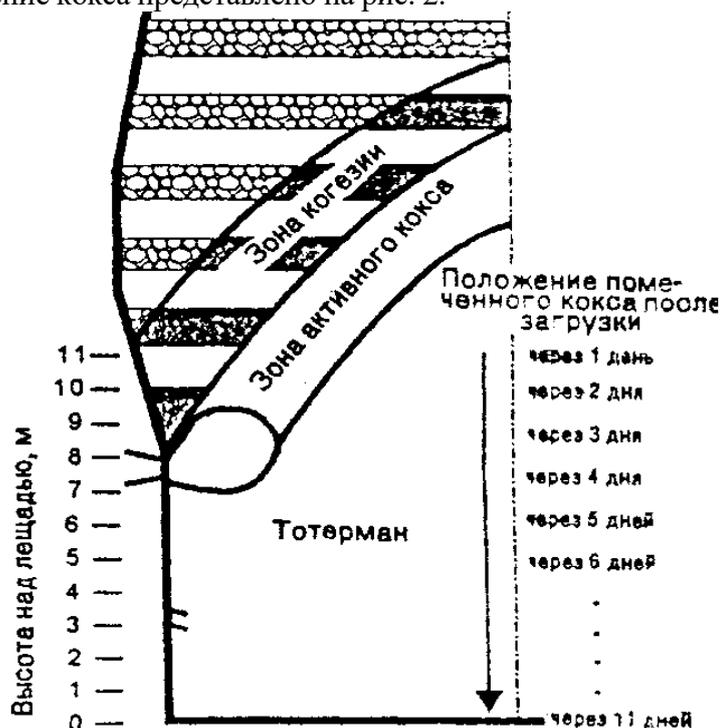


Рис. 2. Движение кокса в горне доменной печи

В среднем по результатам данного исследования можно отметить, что средняя скорость движения кокса в коксовой насадке составляет 1 метр в сутки.

Результаты аналогичного исследования представлены в работе [4], где в качестве индикатора использовался радиоактивный Sc_2O_3 . Результаты представлены в таблице .

Таблица

Период обновления коксовой насадки,
определенный с использованием радиоактивного кокса [4]

Тест	Изменение точки радиоактивного кокса		Период
1	Периферия	1,5 м от стен	10 часов
2	Периферия	1,7 м от стен	2,5 суток
3	Промежуточная зона	3,6 м от стен	18,5 суток
4	Центр	7,9 м от стен	15,5 суток

По результатам проведенного эксперимента авторы [4] делают заключение, что кокс в периферийной зоне расходуется за 2 - 3 дня из-за большого потока чугуна, растворяющего углерод кокса, а кокс в промежуточной и центральной зонах расходуется очень медленно - в течение 15-19 дней. К сожалению авторы [4] не дают пояснения о причинах более медленного обновления коксовой насадки в промежуточной зоне относительно центральной зоны коксовой насадки.

Ссылаясь на результаты проведенных в Германии экспериментов, авторы работы [5] указывают, что что время обновления кокса в коксовой насадке (тотермане) составляет от 10 до 14 суток.

Обновление коксовой насадки происходит за счет расходования углерода кокса на прямое восстановление железа и науглероживание чугуна. При этом как отмечают авторы работы [6], в процессах обновления сильно преобладают поток жидкости и теплопередача, которые в силу неравномерности их протекания в объеме коксовой насадки способствуют созданию неоднородной её структуры.

На время обновления коксовой насадки также оказывает влияние форма зоны когезии. Для V-образной зоны когезии кокс в центре расходуется быстрее, а всплывание кокса вверх по направлению к фурменному очагу также обновляет кокс на периферии [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Структура нижней части столба шихты и роль ее элементов в организации процессов плавки / В.И. Большаков, Н.А. Гладков, И.Г. Муравьева, [и др.]. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сборник научных трудов ИЧМ – 2004. – Вып. 8. – С. 112 – 119 .
2. **Грячко, Г.Ю.** О роли тепловых конденсаторов в доменной плавке / Г.Ю. Грячко, С.Ю. Андриенко, О.С. Похил. – Текст : непосредственный // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 1–2. – С. 14 – 19.
3. **Беппер, Э.** Влияние качества кокса на газопроницаемость нижней части доменной печи / Э. Беппер, К. Ланге, К. Мультхаймс. – Текст : непосредственный // Новости черной металлургии за рубежом. – 2001. – № 2. – С. 42 – 45.
4. **Omori, Y.** Blast Furnace Phenomena and Modelling / Y.Omori Elsevier ISIJ 1987. 631 pages p. 561. – Text : immediate.
5. Современный доменный процесс. Введение. / М. Геердес, Р.Ченюо, И. Курунов, [и др.]. – Москва. Металлургиздат. – 2016. – 280 с. – Текст : непосредственный.
6. Dead-man behavior in the blast furnace hearth – a brief review / L. Shao, Q. Xiao, Ch. Zhang, [et al] // Processes. – 2020, 8, 1335. – Text : immediate.

Сведения об авторах

Титов Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий Липецкого государственного технического университета, главный специалист Управления развития технологий ПАО «НЛМК»

Басов Вадим Игоревич, главный специалист отдела технологий чугуна и слябов Управления развития технологий ПАО «НЛМК»

Наумова Галина Сергеевна, магистрант кафедры металлургических технологий Липецкого государственного технического университета

Ключевые слова: коксовая насадка, время обновления, кокс.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

ON THE COKE PACKING RENEWAL PERIOD

V.N. Titov, V.I. Basov, G.S. Naumova

A review is provided of the renewal period for coke packing in the blast furnace and the factors that determine it.

Keywords: coke packing, renewal period, coke.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСИЛИЦИЯ МАРКИ ФС65

Новолипецкий металлургический комбинат
Липецкий государственный технический университет

Е.А. Третьяков, А.Н. Роговский,
Т.В. Кравченко, А.О. Кисурина

В статье рассмотрены результаты исследований различных составов шихты, с применением кварцита разных месторождений и восстановителей при производстве ферросилиция марки ФС65.

С целью преодоления технологической зависимости от сырья в промышленных условиях проводились работы по испытанию технологии производства ферросилиция ФС65 I сорта с использованием кварцита, древесного угля, длиннопламенного угля, полукокса. В более ранних исследованиях по отработке технологии производства ферросилиция уже были проанализированы эффективные меры борьбы с дезинтеграцией или самопроизвольным рассыпанием ферросилиция [1].

В процессе проработки вопроса об альтернативных поставщиках кварцита установлено, что химический состав исследуемого кварцита соответствует требованиям предприятия для

выплавки ферросилиция ФС65 I сорта. Но требования, предъявляемые ферросплавными заводами-производителями ферросилиция, не ограничиваются только высоким содержанием SiO₂ и низкой концентрацией примесных оксидов. Различные типы кварцитов, даже при одинаковом химическом составе, отличаются друг от друга поведением в процессе плавки – в стадии как нагревания, так и восстановления при высоких температурах. Эти различия зависят от характера и содержания примесей, структуры кристаллических фаз и других факторов, обусловленных генезисом кварцитов [2,3].

Весьма важно, чтобы вся совокупность факторов, характеризующих технологическую пригодность кварцита, в наибольшей мере соответствовала конкретным условиям выплавки ферросилиция как можно меньшим удельным расходом электроэнергии и материалов при обеспечении содержания в сплаве регламентируемых стандартами примесей.

Ранее исследуемый кварцит опробовался для производства ферросилиция марки ФС 65 I сорта, при этом в качестве восстановителя использовалась смесь пекового кокса и орешка коксового в соотношении 4:1, как и при работе на Баническом кварците.

В процессе испытаний выявлены существенные отклонения в режиме работы печей и ухудшение технико-экономических показателей по сравнению с текущим производством: снижение производительности печей в среднем до 20 %, увеличение удельного расхода электроэнергии на 22,8 %, кварцита – на 10,5 %, в связи с этим эксперимент был прекращен.

Далее опробовали восстановители с более высокими показателями по реакционной способности и удельному электросопротивлению – древесный уголь, длиннопламенный уголь, полукокс. В таблице приведены сравнительные характеристики используемых восстановителей.

Таблица

Сравнительные показатели исследуемых восстановителей

Показатели	Пековый кокс	Орешек коксовый	Древесный уголь	Длиннопламенный уголь	Полукокс
Реакционная способность, мл/(г·с)	0,34	0,5-0,6	11,1	0,51-5,8	3,55
Удельное электросопротивление, Ом·см	3,2	3,3-3,6	2,1·10 ⁶	45	3,1·10 ³
Массовая доля влаги, %	3,5-4,0	11-14	2,2-4,3	10-12	8,1-9,3
Массовая доля золы, %	0,3-0,5	11-12	1,6-1,77	1,5-3,5	5,3-6,1
Выход летучих веществ V ^a , %	0,8	0,9	10,4-10,84	47,0-48,4	4,8-8,5
Массовая доля Al ₂ O ₃ в золе	21-23	21-24	< 10	23-27	24,2
Массовая доля TiO ₂ в золе	0,8-1	0,9-1,1	< 0,5	0,65	1,00
Массовая доля CaO в золе	4,2-9,8	4-5,3	>10	>10	>10
Размер кусков, мм	5-15	5-20	0-150 Менее 12 мм 5,1%	20-50	10-25

Применялся исследуемый кварцит фракции 20-100 мм со следующим химическим составом: SiO_2 – 99,0 %, Al_2O_3 – 0,25 %, TiO_2 – 0,008-0,014 %, CaO – 0,020-0,022 %.

На первом этапе опробовалась шихта со следующим составом:

- исследуемый кварцит – 230 кг;
- длиннопламенный уголь – 60-105 кг;
- древесный уголь – 60-95 кг;
- стальная стружка – 50-53 кг.

Наблюдения за ходом печи были охарактеризованы положительно и реакционная зона существенно расширилась по сравнению с действующей технологией. Переходный период от выплавки 4 сорта ферросилиция до 1 сорта составил менее суток, как при стандартной технологии. Надо заметить, что процесс проходил горячее, температура газов повысилась в среднем на 10°C до $90 - 95^\circ\text{C}$.

На втором этапе был опробован следующий состав шихты:

- исследуемый кварцит – 230 кг;
- пековый кокс – 25 – 40 кг;
- древесный уголь – 90 – 95 кг;
- стружка стальная – 50 – 53 кг.

На третьем этапе опробовался полукокс со следующим составом шихты:

- исследуемый кварцит – 230 кг;
- полукокс – 35 – 55 кг;
- древесный уголь – 80 – 95 кг;
- стальная стружка – 50 – 53 кг.

Положительное влияние полукокса на показатели процесса было не существенно, так как его доля в составе восстановителя мала из-за повышенной массовой доли золы (5,3 %), также зола в восстановителях вносила примеси Al_2O_3 , TiO_2 , CaO . Кроме того в поступившей партии исследуемого кварцита массовая доля Al_2O_3 была достаточно высокой – 0,25 %.

После поступления новых партий экспериментальных восстановителей испытания были возобновлены, но с применением Банического кварцита. Применялся следующий состав шихты:

- Банический кварцит – 200 кг;
- длиннопламенный уголь – 80– 90 кг;
- древесный уголь – 65 – 80 кг;
- стальная стружка – 38 – 45 кг.

По итогам исследований технологии производства ферросилиция были получены следующие результаты:

1. Лучшие результаты по производительности печи достигнуты на смеси древесного угля и длиннопламенного угля 1:1 с использованием исследуемого кварцита.

2. Применение восстановителей с высоким содержанием летучих повышает температуру на колошнике печей.

3. Из-за более высокого содержания Al_2O_3 в испытываемой партии кварцита в сравнении с Баническим (0,25 % и 0,08-0,2 % соответственно) массовая доля алюминия в сплаве держалась на верхнем пределе – 0,35-0,5 %.

4. При технологии производства ферросилиция марки ФС65 с использованием древесного угля применение древесной щепы не требуется.

Таким образом, установлена гарантированная возможность производства ферросилиция марки ФС65 I сорта по технологии с применением в качестве восстановителей древесного угля, длиннопламенного угля, полукокса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способы снижения дезинтеграции ферросилиция при хранении и доставке / Е.А. Третьяков, А.Н. Роговский, Т.В. Кравченко, А.О. Кисурина. – Текст: непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2020. – №2. – С. 70 –73.
2. **Еднерал, Ф.П.** Электрометаллургия стали и ферросплавов / Ф.П. Еднерал. – Москва: Metallurgy, 1977. – 488 с. – Текст: непосредственный.
3. **Рысс, М.А.** Производство ферросплавов / М.А. Рысс.– Москва: Metallurgy, 1985. – 344 с. – Текст: непосредственный.

Ключевые слова: ферросилиций, кварцит, древесный уголь, длиннопламенный уголь, полукокс, восстановитель, печь, технология.

Сведения об авторах

Третьяков Евгений Александрович, главный специалист ферросплавного цеха ПАО «НЛМК».

Роговский Александр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой металлургических технологий Липецкого государственного технического университета.

Кравченко Татьяна Викторовна, старший преподаватель кафедры металлургических технологий Липецкого государственного технического университета.

Кисурина Анжелика Олеговна, магистрант кафедры металлургических технологий Липецкого государственного технического университета.

E-mail: arogotovskij@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

IMPROVING THE FS65 FERROSILICIUM PRODUCTION TECHNOLOGY

E.A. Tretyakov, A.N. Rogotovskiy,
T.V. Kravchenko, A.O. Kisurina

The article discusses the results of research of various charge compositions using quartzite from different deposits and reducing agents in the production of FS65 ferrosilicium.

Keywords: ferrosilicium, quartzite, charcoal, candle coal, semi-coke, reducing agent, furnace, technology.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСИЛИЦИЯ МАРКИ ФС65 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАНИЧЕСКОГО КВАРЦИТА

Новолипецкий металлургический комбинат
Липецкий государственный технический университет

Е.А. Третьяков, А.Н. Роговский,
Т.В. Кравченко, И.В. Куприянова, А.О. Кисурина

В статье рассмотрены вопросы совершенствования технологии производства ферросилиция марки ФС65 с применением Банического кварцита.

В рамках совершенствования технологии производства ферросилиция в промышленных условиях и продолжения исследований [1], были проведены работы по освоению технологии производства ферросилиция ФС65 I сорта для преодоления технологической зависимости от поставок пекового кокса. Испытания заключались в отработке технологии производства ферросилиция I сорта с использованием Банического кварцита, древесного и длиннопламенного углей, орешка коксового. Необходимость в таких исследованиях возникла в связи с риском прекращения поставок пекового кокса, с возможным прекращением производства пекового кокса с технологически пригодными для выплавки ферросплавов свойствами.

В качестве восстановителя использовали древесный уголь, длиннопламенный уголь и орешек коксовый, основные показатели которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные показатели восстановителей

Показатели	Пековый кокс	Орешек коксовый	Древесный уголь	Длиннопламенный уголь
Реакционная способность, мл/(г·с)	0,34	0,5-0,6	11,1	0,51-5,8
Удельное электросопротивление, Ом·см	3,2	3,3-3,6	$2,1 \cdot 10^6$	45
Массовая доля влаги, %	3,5-4,0	11-14	2,2-4,3	10-14*
Массовая доля золы, %	0,3-0,5	11-12	1,6-1,77	1,5-3,9*
Выход летучих веществ V^a , %	0,8	0,9	10,4-10,84	44,4-48,4*
Массовая доля Al_2O_3 в золе	21-23	21-24	< 10	23-27
Массовая доля TiO_2 в золе	0,8-1	0,9-1,1	< 0,5	0,65
Массовая доля CaO в золе	4,2-9,8	4-5,3	>10	>10
Размер кусков, мм	5-15	5-20	0-150 Менее 12 мм 5,1 %	20-50

*-фактическое содержание.

Примечание. Угли использовались с массовой долей золы на сухое состояние не более 6 %, выход летучих веществ на сухое беззольное состояние 40 – 49 %.

На этапе опробования технологии с применением восстановителей, обладающих высокими технологическими характеристиками (реакционной способностью и удельным электросопротивлением) производства ферросилиция марки ФС65 1 сорта, ход печи характеризовался положительно. Реакционная зона расширилась по сравнению с существующей технологией.

Далее по этой же технологии на печах РКО-10,5 МВ·А, 11,0 МВ·А получен ферросилиций марки ФС65 I сорта. Весь ферросилиций по химическому составу соответствовал требованиям к марке ФС65 I сорта. В таблице 2 приведен химический состав полученного сплава.

Таблица 2

Химический состав ферросилиция при работе по традиционной технологии и с использованием углей

Массовая доля элементов в ферросилиции, %		Варианты технологий при работе на Баническом кварците	
		с использованием пекового кокса	с использованием углей
Si	min	65,3	65,4
	max	67,6	67,3
	средний	66,5	66,6
Al	min	0,23	0,24
	max	0,41	0,43
	средний	0,30	0,32
Ti	min	0,02	0,02
	max	0,03	0,03
	средний	0,028	0,026
Ca	min	0,09	0,09
	max	0,13	0,16
	средний	0,11	0,13

В ходе испытаний отклонений от нормального режима работы печей не наблюдалось. Ход печи характеризовался положительно. Реакционная зона расширилась по сравнению с существующей технологией. Был отработан состав шихты на 1 колошу:

- кварцит – 250 кг;
- древесный уголь – 100 – 120 кг;
- шубаркольский уголь – 90 – 110 кг;
- орешек коксовый – 0 – 15 кг;
- стальная стружка – 45 – 50 кг.

Изменение содержания золы в Шубаркольском угле от 1,5 до 3,9 % не обеспечивает возможность стабильного применения орешка коксового с зольностью 11-12 % в качестве подшихтовки.

Проблема высокой запыленности на всех этапах пересыпки по тракту шихтоподачи, повышенной запыленности в рабочей зоне при применении древесного угля решалась локальным поливом водой древесного угля в приемном бункере шихтового двора, так как в этот период не наблюдалось замерзания воды.

Установлено, что высокое удельное электросопротивление древесного угля позволяет осуществлять режим работы печей на повышенных ступенях напряжения [2,3]. Это приводит к расширению реакционных тигельных зон и росту производительности печей, но сопровождается уменьшением защитного слоя гарнисажа на футеровке. Применение восстановителей с высоким содержанием летучих повышает температуру на колошнике печей и увеличивает тепловую нагрузку на элементы оборудования.

В таблице 3 приведены сравнительные технико-экономические показатели работы печей при использовании Банического кварцита с использованием углей и по традиционной технологии (с пековым коксом).

Таблица 3

Сравнительные технико-экономические показатели работы печей по традиционной технологии и с использованием углей

Показатели работы печи	Варианты состава шихты	
	Банический кварцит (традиционная технология)	Банический кварцит с использованием углей
Производительность печи, б.т/с	25-26	27-29
Расход электроэнергии кВтч/б.т	8150	7970
Расход материалов, кг/б.т:		
Банического кварцита	1788	1770-1785
Шубаркольского угля	–	620-640
древесного угля	–	640-660
пекового кокса	430	–
орешка коксового	200	0-50
стальной стружки	328	325-340
древесной щепы	760	–

Внедрение технологии с использованием в качестве восстановителей древесного и Шубаркольского углей вместо пекового кокса не требует применения древесной щепы.

Таким образом, в ходе проведенных испытаний можно заключить следующее:

1. Для преодоления технологической зависимости от поставок пекового кокса были проведены испытания по отработке технологии производства ферросилиция I сорта с использованием банического кварцита, древесного и длиннопламенного углей, орешка коксового.

2. Установлена возможность использования длиннопламенного и древесного углей вместо пекового кокса для производства ферросилиция марки ФС65 I сорта. Отработан состав шихты и электрический режим плавки. Техничко-экономические показатели лучше, чем при работе по традиционной технологии. Увеличена производительность каждой печи за счет расширения реакционных тигельных зон.

3. Переход на технологию с использованием в качестве восстановителей древесного и Шубаркольского углей вместо пекового кокса не требует применения древесной щепы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способы снижения дезинтеграции ферросилиция при хранении и доставке / Е.А. Третьяков, А.Н. Роговский, Т.В. Кравченко, А.О. Кисурина. – Текст: непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2020. - №2. – С. 70 –73.

2. **Еднерал, Ф.П.** Электрометаллургия стали и ферросплавов / Ф.П. Еднерал.– Москва: Metallurgy, 1977. – 488 с. – Текст: непосредственный.

3. **Рысс, М.А.** Производство ферросплавов / М.А. Рысс.– Москва: Metallurgy, 1985. – 344 с. – Текст: непосредственный.

Ключевые слова: ферросилиций, кварцит, традиционная технология, древесный уголь, длиннопламенный уголь, пековый кокс.

Сведения об авторах

Третьяков Евгений Александрович, главный специалист Ферросплавного цеха ПАО «НЛМК».

Роговский Александр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой металлургических технологий Липецкого государственного технического университета.

Кравченко Татьяна Викторовна, старший преподаватель кафедры металлургических технологий Липецкого государственного технического университета.

Куприянова Ирина Вячеславовна, старший преподаватель кафедры металлургических технологий Липецкого государственного технического университета.

Кисурина Анжелика Олеговна, магистрант кафедры металлургических технологий Липецкого государственного технического университета.

E-mail: arogotovskij@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

ANALYSIS OF THE FS65 FERROSILICIUM PRODUCTION TECHNOLOGY USING BANIC QUARTZITE

E.A. Tretyakov, A.N. Rogotovskiy,
T.V. Kravchenko, I.V. Kupriyanova, A.O. Kisurina

The article discusses the issues of improving the FS65 ferrosilicium production technology with the use of Banic quartzite.

Keywords: ferrosilicium, quartzite, traditional technology, charcoal, candle coal, pitch coke.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Липецкого государственного технического университета» публикуются статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера.

Статья должна поступить на электронный адрес kaf-vm@stu.lipetsk.ru и сохранена в версии Microsoft Word 2003. Рукопись статьи (1 экземпляр) и сопроводительные документы должны быть высланы в редакцию. К сопроводительным документам относятся:

– рецензия, отражающая следующие пункты: актуальность представленной работы; характеристика объекта исследования; качество постановки целей работы и задач исследования; степень научной новизны исследования, практическая значимость работы; учебно-методическая ценность исследования, стиль изложения; степень разработанности темы научного исследования; структурность работы. (В случае, если один из авторов является доктором наук, рецензия должна быть подписана доктором соответствующего профиля.);

– выписка из протокола заседания кафедры, на котором было принято решение о рекомендации публикации статьи в журнал «Вестник Липецкого государственного технического университета»;

– согласие на публикацию и гарантии того, что статья не будет больше нигде опубликована, подписанные автором.

Оформление статьи должно соответствовать следующим требованиям:

1. На первой странице должны быть указаны: УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, название учреждения, представляющего рукопись для опубликования.

2. Текст статьи набирается в формате *.doc шрифтом Times New Roman размером 12 pt через одинарный интервал, без отступов, отступ красной строки 0,5 см, выравнивание по ширине, без уплотнения. Поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2 см. Не использовать табуляций, автоматических списков. Не использовать курсив, жирный текст и подчеркивания.

Между цифровым значением величины и ее размерностью следует ставить знак неразрывного пробела. Переносы в словах не употреблять. Не использовать в тексте для форматирования знаки пробела.

3. Для набора формул применять редактор Microsoft Equation 3.0. Формулы должны быть оформлены шрифтом Times New Roman, без курсива, размером 12 pt, одинарным интервалом.

Большие формулы необходимо разбивать на отдельные части. Фрагменты формул должны быть независимы (при использовании редактора формул каждая строка – отдельный объект).

Нумерацию и знаки препинания следует ставить отдельно от формул обычным текстом. Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

4. Таблицы должны быть оформлены шрифтом Times New Roman, размером 12 pt, одинарным интервалом. В случае, если в тексте есть ссылка на таблицу, то пишется слово «табл.».

5. Перечень литературных источников приводится общим списком в конце статьи. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Библиографический список должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.0.100-2018. Ссылки на библиографический список в тексте приводятся в квадратных скобках.

6. Обозначения, термины и иллюстративный материал должны соответствовать действующим государственным стандартам.

7. К статье прилагаются: аннотация; ключевые слова (не менее трех); имена и фамилии авторов, ученые звания, должности и адрес места работы, электронный адрес; отдельным файлом на английском языке название статьи, аннотация, ключевые слова, имена и фамилии авторов.

УДК 519.854

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПЕЧИ ОБЖИГА КЛИНКЕРА С УЧЕТОМ ДОПУСТИМЫХ
ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ**

Липецкий государственный технический университет

А.М. Попов, С.Л. Васильев

Рассматривается идентификация модели печи обжига клинкера, управление с учетом допустимых значений параметров.

Модель печи обжига клинкера, которая является...

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Васильев, С.Л.** Математическое моделирование систем / С.Л. Васильев, А.М. Попов. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 130 с. – ISBN ... – Текст : непосредственный.

2. **Петров, С.Л.** Моделирование нейронных сетей / С.Л. Петров, А.М. Попов. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2010. – 124 с. – ISBN ... – Текст : непосредственный.

3. Программа проверки верности показаний анализатора в режиме определения среднего числа выбросов. / О.В. Цаплин, С.Н. Тарасов. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615786, 30.06.2014. – Электронная программа : электронная.

Ключевые слова: математическая модель, печь обжига клинкера.

Сведения об авторах

Попов Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики Липецкого государственного технического университета.

Васильева Инна Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Липецкого государственного технического университета.

E-mail: kaf-vm@stu.lipetsk.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

**RESEARCH OF MODEL OF THE FURNACE OF ROASTING OF CLINKER TAKING INTO
ACCOUNT ADMISSIBLE VALUES OF PARAMETERS**

A.M. Popov, I.A. Vasilyeva

Identification of model of the furnace of roasting of clinker, management taking into account admissible values of parameters is considered.

Keywords: mathematical model, clinker roasting furnace.

ВЕСТНИК
Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)
№ 1 (44). 2021г.
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Scientific and technical journal «Vestnik LSTU»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации **ПИ № ФС77-57003**. Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 25.02.2014 г.

Выходит 4 раза в год.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Адрес редакции: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.
Телефон: (4742) 32-81-33.

Издательство Липецкого государственного технического университета.
Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.
Телефон: (4742) 32-82-14.

Редакторы: Г.В. Казьмина, М.Ю. Болгова, Е. А. Федюшина

Перевод (англ.) Н.В. Барышев

Подписано в печать **11.02.2021**. Выход в свет **21.02.2021**.
Бумага офсетная. Формат 60x84 1/8. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 6,5. Тираж **500 экз.**
Заказ **№ 750**. Цена свободная.

Отпечатано в полиграфическом подразделении Издательства ЛГТУ.
Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.
Телефон: (4742) 32-82-14.