

Вестник

**Липецкого государственного
технического университета
(Вестник ЛГТУ)**

16+

**№ 3(56)
2024**

ISSN 3034-3275

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)

№ 3 (56) 2024.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Регистрационный номер средства массовой информации Эл № ФС77-87639.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,

информационных технологий и массовых коммуникаций

(Роскомнадзор) 25.06.2024 г.

ISSN 3034-3275

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)

№ 3 (56) 2024.

Научно-технический журнал

Регистрационный номер Эл № ФС77-87639 .

Главный редактор

д-р техн. наук, проф.

Шмырин Анатолий Михайлович

Зам. главного редактора

д-р техн. наук, доц.

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. Пеньков В.Б. (Россия)

Машиностроение

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)

Транспорт и логистика

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. Адрес электронной почты редакции: vm@stu.lipetsk.ru

**ВЕСТНИК ЛИПЕЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА (ВЕСТНИК ЛГТУ)**

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

**ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ**

**COMPUTER SCIENCES, COMPUTER
ENGINEERING AND CONTROL**

СТР.

- | | | |
|-----------|--|--|
| 5 | И.И. Орлов, Е.А. Кантарюк,
В.А. Кукушкина, С.А. Суслова
Ю.А. Бордюгова, Т.К. Леснухина
Разработка алгоритма и построение
3D-модели процесса освещения в
производственной среде | I.I. Orlov, E.A. Kantaryuk,
V.A. Kukushkina, S.A. Suslova,
Yu.A. Bordyugova, T.K. Lesnukhina
Lighting process algorithm development
and 3D- model construction in
a production environment |
| | ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА | TRANSPORT AND LOGISTICS |
| 13 | В.А. Логинов, С.А. Дмитриев,
А. Сакс
Оптимизация развития
автотранспортного предприятия | V.A. Loginov, S.A. Dmitriev, A. Sax
Optimizing the development of a road
freight transport enterprise |
| | МАШИНОСТРОЕНИЕ | MACHINE-BUILDING |
| 19 | В.В. Телегин
Исследование работоспособности
гидравлического цилиндра
под воздействием не
осесимметричных сил | V.V. Telegin
A study of hydraulic cylinder performance
under the influence of nonaxisymmetric
forces |
| 25 | А.В. Суханов
Кинематический анализ плоского
шестизвенного механизма | A.V. Sukhanov
Kinematic analysis of a plain six-link
mechanism |
| | МЕТАЛЛУРГИЯ | METALLURGY |
| 30 | В.Н. Титов, И.В. Куприянова,
Т.В. Кравченко
Связь параметров воздушных фурм
с размерами фурменного очага | V.N. Titov, I.V. Kupriyanova,
T.V. Kravchenko
Relation between tuyere parameters and
combustion zone size |
| 37 | А.А. Шипельников,
Н.А. Бобылева, С.А. Толмачев
Состояние и развитие
отечественного
ломозаготовительного
производства | A.A. Shipelnikov, N.A. Bobyleva,
S.A. Tolmachev
Current state and development of
domestic scrap metal collection |
| 49 | А.Ю. Кривцов, В.Н. Титов
Анализ эффективности работы
блока доменных
воздухонагревателей | A.Y. Krivtsov, V.N. Titov
Analysis of the hot-blast stove unit
operation efficiency |

- 55** **А.И. Шарапов, М.С. Иванов,
М.С. Никифоров**
Снижение расхода электроэнергии
ВРУ КAr-30 за счёт наличия в
схеме системы АВО
- А.И. Sharapov, M.S. Ivanov,
M.S. Nikiforov**
Reducing energy consumption in the
KAr-30 air separation unit by introducing
a nitrogen-water cooling system in the
circuit
- 60** К сведению авторов
- 61** Пример оформления статьи для
публикации в журнале

DOI 10.53015/23049235_2024_3_5

УДК 331.101.1

И.И. ОРЛОВ, Е.А. КАНТАРЮК, В.А. КУКУШКИНА, С.А. СУСЛОВА
Ю.А. БОРДЮГОВА, Т.К. ЛЕСНУХИНА

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПОСТРОЕНИЕ 3D-МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОСВЕЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В данной статье разработан алгоритм расчёта и построена 3D-модель естественного и искусственного освещения на примере расположенного в Липецкой области помещения с изначально заданными параметрами. Реализация алгоритма была осуществлена с помощью программы на языке программирования *Python* 3.10. Построение 3D-модели осуществлялось в программной среде *GALAD*.

Ключевые слова: освещенность, производственный дизайн, эргономика освещения, 3D-модель, естественное освещение, искусственное освещение.

I.I. ORLOV, E.A. KANTARYUK, V.A. KUKUSHKINA, S.A. SUSLOVA,
Yu.A. BORDYUGOVA, T.K. LESNUKHINA

LIGHTING PROCESS ALGORITHM DEVELOPMENT AND 3D-MODEL CONSTRUCTION IN A PRODUCTION ENVIRONMENT

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: In this article, a calculation algorithm was developed and a 3D-model of natural and artificial lighting was constructed using the example of a room with preset parameters located in the Lipetsk region. The algorithm was implemented using a Python 3.10 program. The 3D model was constructed in the GALAD software environment.

Keywords: illumination, production design, lighting ergonomics, 3D-model, natural lighting, artificial lighting.

ВВЕДЕНИЕ

Освещение необходимо человеку при любом виде деятельности, поскольку оно значительно влияет на работоспособность и состояние здоровья [1]. Также свет благотворно воздействует на психоэмоциональное состояние, способствует правильному обмену веществ, а также улучшает работу ЦНС и сердечно-сосудистой системы человека [2]. По этой причине очевидным становится факт, что освещение в производственной среде

является крайне важным показателем, характеризующим гигиену труда. При этом, безусловно, следует проводить верный расчет, который поможет выбрать приборы освещения и необходимое их количество. Все это способствует снижению вероятности получения профессиональной деформации здоровья, а также улучшению производительности труда, что влияет на качество выпускаемой продукции. Пример подобного расчета приведен в данной статье.

Нельзя не отметить, что зрение человека, необходимое для получения информации из окружающего мира, является наиболее важным для него. Поэтому верный выбор и организация осветительных приборов при проведении профессиональных работ, несомненно, крайне важны [3].

В зависимости от многих показателей, таких как тип производства, его размеры и даже ресурсы светового климата административного района, освещение в производстве подразделяется на три типа: естественное, т.е. то, которое существует благодаря солнечному свету, либо его отражению; искусственное – создаваемое искусственным путем с помощью электрических источников освещения; комбинированное – когда к естественному добавляются искусственное освещение.

В свою очередь естественное освещение, благодаря особенностям ландшафта и строительных конструкций, может быть верхним, боковым, либо представлять из себя комбинацию верхнего и бокового.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процессу по созданию оптимальных для работы людей условий освещения посвящен отдельный раздел науки – эргономика освещения. Эргономика освещения подразумевает рациональное планирование и установку осветительных приборов, цель которого – максимально удовлетворить потребности работников и улучшить производительность.

Для создания комфортных условий труда и продуктивности предприятия необходимо следовать нескольким принципам эргономики освещения:

1. Правильное расположение и направление светильников, т.е. все приборы освещения следует располагать так, чтобы исключить появление теней на рабочем месте. Приборы освещения также должны иметь возможность регулировки направления света, чтобы обеспечить оптимальное освещение конкретной зоны.

2. Равномерное освещение, т.е. важной задачей эргономики освещения является обеспечение равномерного освещения на всей площади рабочего помещения. Решить эту задачу можно с помощью правильной

расстановки светильников и использования осветительных приборов с различными углами рассеивания света.

3. Соответствие интенсивности света, т.е. интенсивность света должна быть оптимальной для каждого конкретного рабочего места. Основываясь на характеристиках работы и требованиях, специалисты по освещению могут рассчитать необходимую яркость света.

4. Снижение бликов и отражений, т.е. блики и отражения могут быть источником дискомфорта и утомляемости для работников. Использование матовых поверхностей и антибликовых экранов, а также правильное направление света помогут устранить эти проблемы.

5. Защита от избыточного количества света и инфракрасного излучения, т.е. избыточное количество света и инфракрасное излучение могут быть вредными для глаз и кожи работников. Необходимо выбирать светильники и лампы с учетом этих факторов и обеспечивать дополнительную защиту при необходимости [7].

Далее показан разработанный алгоритм расчёта освещенности для предприятия, в котором необходимо добиться правильного комбинированного освещения таким образом, что в дневное время должно поступать достаточное боковое естественное освещение для различения объекта с минимальным размером различения 3 мм, а в ночное время будет задействовано искусственное [4].

Расчет произведен для производственного помещения, расположенного в Липецкой области. Оно обладает следующими параметрами $D \times B \times H$: 12 x 10 x 4 метра. При этом расстояние от поверхности, на которой выполняются работы, и которую следует освещать, до верха окна равно четырем метрам. На расстоянии пяти метров от стены располагается точка расчёта, а ближайшее перекрывающее здание в пятидесяти метрах. Также при проведении расчёта принимаем, что коэффициент отражения пола будет равен 10 %, стен – 30 % процентов, а для потолка равняется 50 %.

Высота от рабочей поверхности до верха окна в данном случае 4 м, а расстояние от наружной стены до расчетной точки 5 м. Для потолка, стен и пола принимаются коэффициенты отражения, равные 50 %, 30 % и 10 %, а противостоящее здание располагается на расстоянии 50 м.

Опишем этапы разработанного алгоритма расчёта освещенности предприятия.

1. Этап 1. Расчёт коэффициентов

1.1. Определим значение коэффициента для естественной освещенности в Липецкой области по формуле

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (1)$$

где e_N – номер группы административного района,

m_N – коэффициент светового климата, в случае с ориентацией окон на запад он равен 0,9 [5].

1.2. Далее по справочным таблицам определяем коэффициент запаса $KЗ$ и световую характеристику η_0 . Коэффициент запаса для региона $KЗ = 1,4$ [5].

Размер помещения, для которого производится расчёт, обладает следующими параметрами: $D \times V \times G = 12 \times 10 \times 4$ метра, где D – длина, V – высота, G – глубина.

Для расчёта световой характеристики вычислим отношения:

$$h1 = D/V = 12/10 = 1,2 \quad \text{и} \quad h2 = V/G = 10/4 = 2,5.$$

Тогда $\eta_0 = 15$ [5].

1.3. Общий коэффициент светопропускания определяется формулой

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4, \quad (2)$$

где $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – справочные величины. Найдём, что $\tau_1 = 0,8$ для двойного стекла, $\tau_2 = 0,75$ для деревянного одинарного переплета, $\tau_3 = 0,9$ для стальных ферм, также принимается равным $\tau_4 = 1$ [5].

1.4. Далее определяем коэффициент отражения ρ_{cp} по формуле

$$\rho_{cp} = \frac{s1 \cdot p1 + s2 \cdot p2 + s3 \cdot p3}{s1 + s2 + s3}, \quad (3)$$

где $s1$ – площадь потолка, $s2$ – площадь пола, $s3$ – площадь стен, $p1, p2, p3$ – коэффициенты отражения, равные 50 %, 30 % и 10 % для потолка, стен и пола.

1.5. С учетом найденных значений по таблице определим искомый коэффициент бокового освещения: $r_1 = 1,6$ [5].

2. Этап 2. Расчет искусственного освещения для работы в темное время суток

2.1. Проведение расчетов требует введения несколько новых величин:

- коэффициент запаса $KЗ_2$, который в данном случае принимается равным 1,5;

- коэффициент неравномерности $Z = 1,1$;

- высота поверхности для проводимых работ, которая будет равна $h_p = 0,8$;

- требуемая освещенность E_H , составляющая 300 лк.

2.2. При проектировании системы общего освещения с использованием люминесцентных светильников осуществим расчет с учетом коэффициента использования светового потока светильника $\lambda = 1,4$ [5]. Принимая расстояние светильников от перекрытия за $h_c = 0,5$ м, найдем расстояние h между рядами светильников по формуле

$$h = G - h_c - h_p, \quad (4)$$

где h_p – высота поверхности для проводимых работ, h_c – расстояние светильников от перекрытия.

Светильники будут размещены в три ряда таким образом, что в каждый ряд можно установить 6 светильников типа ОД длиной 1 м. Разрыв между светильниками – 50 см. Количество рядов будет равняться 7 при ширине лампы в 30 см и отступом между ними в 0,9 м. Оптимизированная схема расположения осветительных приборов на рассматриваемом производстве представлена на рис. 1. Таким образом, общее число ламп $N = 42$.

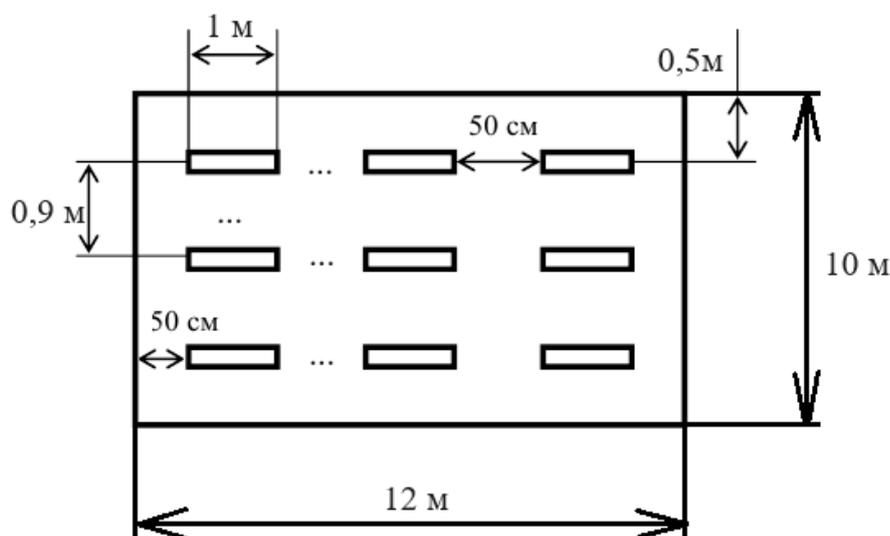


Рис. 1. Оптимизированная схема расположения осветительных приборов на рассматриваемом производстве

2.3. Далее вычислим индекс помещения по формуле

$$i = \frac{S_1}{h \cdot (D+V)}, \quad (5)$$

где S_1 – площадь потолка, h – расстояние, D, V – длина и высота помещения.

В результате расчётов получим, что $i = 2$. Эффективность светильника по использованию светового потока η из справочника составляет 0,6 [5].

2.4. Тогда потребный световой поток в каждом из рядов будет

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S_1 \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (6)$$

где E_H – требуемая освещенность, S_1 – площадь потолка, K_3 – коэффициент запаса, Z – коэффициент неравномерности, N – число ламп, η – эффективность светильника.

В результате расчётов потребный световой поток в каждом из рядов составит 2 357 Лм.

2.5. На основании полученных данных выберем ближайшую стандартную лампу ЛТБ 40 Вт с потоком 2 850 Лм.

2.6. Рассчитаем отклонение расчетного потока q от стандартного потока. Оно должно находиться в диапазоне от -10 % до 20 %:

$$q = \frac{\Phi_{cm} - \Phi_p}{\Phi_{cm}} \cdot 100, \quad (7)$$

где Φ_{cm} – стандартный поток, Φ_p – расчётный поток.

3. Теперь можно определить суммарную мощность осветительной установки, умножив общее число ламп на их мощность:

$$P_{sum} = N \cdot P. \quad (8)$$

Для автоматизации расчётов по разработанному алгоритму была написана программа на языке Python 3.10. Фрагмент программы представлен на рис. 2, результаты расчетов на рис. 3.

```

#РАСЧЁТ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ
# ИСХОДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ
# РАЗМЕРЫ ПОМЕЩЕНИЯ
D=12
V=10
G=4
#Коэффициенты отражения
p1=50
p2=30
p3=10
#e_N - номер группы административного района
e_N=2
#m_N - коэффициент светового климата
m_N=0.9
# Расчёт коэффициента для естественной освещенности
e_N=e_N*m_N
print('Коэффициент для естественной освещенности=', e_N)
#Коэффициент запаса
K3=1.4
K3_2=1.5
h1=D/V
h2=V/G
print('Величины для расчёта световой характеристики-',h1,' ',h2)
# Расчёт коэффициента светопропускания
t1=0.8
t2=0.75
t3=0.9
t4=1
t0=t1*t2*t3*t4
print('Коэффициент светопропускания=', t0)
s1=D*V
s2=D*V
s3=2*V*G+D*G
#print('s1=',s1,'s3=',s3)
# Расчёт коэффициента отражения
P_cp=((s1*p1)+(s2*p2)+(s3*p3))/(s1+s2+s3)
print('Коэффициент отражения=',P_cp)

```

Рис. 2. Фрагмент программы на языке Python 3.10

```

Коэффициент для естественной освещенности= 1.8
Величины для расчёта световой характеристики- 1.2 2.5
Коэффициент светопропускания= 0.54
Коэффициент отражения= 43%
Введите коэффициент бокового освещения=1.6
Световой поток расчетный= 2357.14
Введите стандартный поток=2850
Световой поток стандартный= 2850
Отклонения светового потока= 17.29%
Мощность лампы= 40
Мощность ламп суммарная= 1680

```

Рис. 3. Результаты работы программы

Этап 3. Моделирование освещения предприятия в программной среде GALAD
Помимо автоматизированного расчёта параметров освещения, было выполнено

моделирование освещения предприятия в программной среде GALAD. Результат представлен на рис. 4.

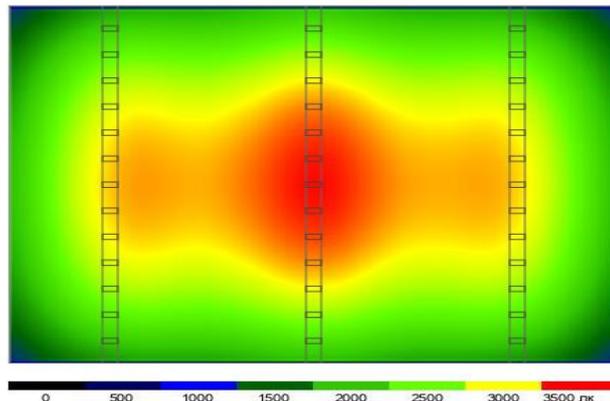


Рис. 4. Результат моделирования освещения предприятия

Также для большей наглядности была выполнена 3D-модель помещения с выбранным расположением осветительных

приборов. Данная модель представлена на рис. 5–7.

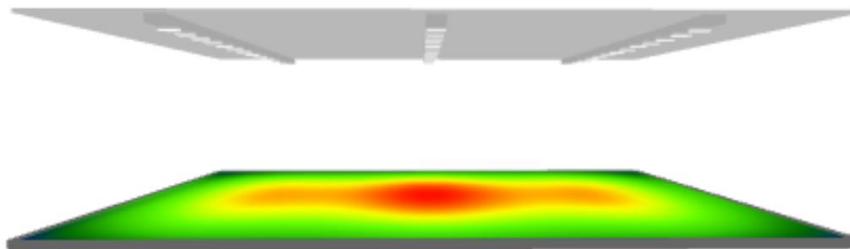


Рис. 5. 3D-модель производственного помещения (вид 1)

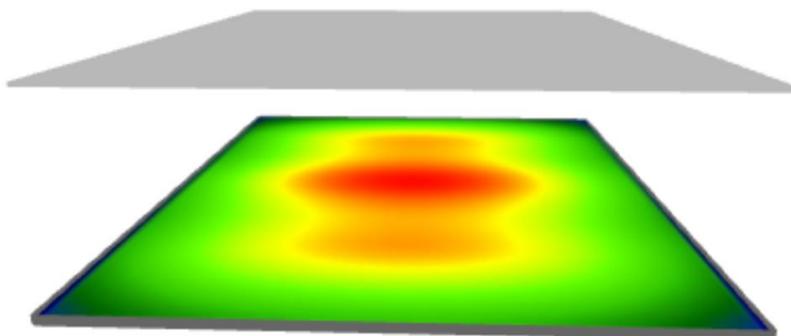


Рис. 6. 3D-модель производственного помещения (вид 2)

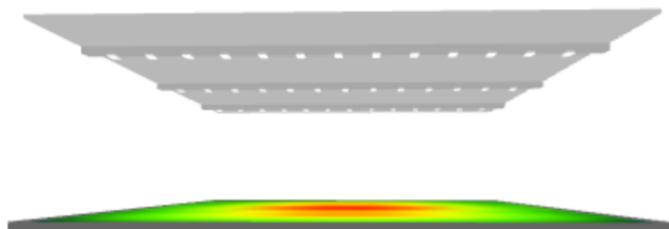


Рис. 7. 3D-модель производственного помещения (вид 3)

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основании результатов автоматизированного расчёта выбрана ближайшая стандартная лампа ЛТБ 40 Вт с потоком 2 850 Лм. Отклонение расчетного потока от стандартного потока должно находиться в диапазоне от -10 % до 20 %.

Расчёт показал, что отклонение составило 17,3 %, что укладывается в заданный интервал. Следовательно, условие выполняется [6].

2. Суммарная мощность осветительной установки составила 1 680 Вт.

ВЫВОДЫ

Таким образом, был разработан алгоритм расчета естественного и искусственного освещения на примере помещения с заданными параметрами, находящегося на территории Липецкой области. Реализация алгоритма осуществлена с помощью программы на языке программирования *Python*. Для визуализации расчетов была выполнена 3D-модель помещения с выбранным расположением осветительных приборов в программной среде *GALAD*.

Разработка представленной модели расчетов оптимального освещения рабочего

места является залогом безопасности и успешной деятельности предприятия. При этом стоит отметить, что наиболее комфортной системой освещения как в производственной среде, так и в быту, для человеческого глаза является освещение естественное, с полным отсутствием эффекта мерцания. Разработанный алгоритм расчета естественного и искусственного освещения с изначально заданными параметрами, на основании справочных данных, позволяет смоделировать процесс расчета комфортного освещения производственной среды практически любого предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Юкова, К.В.** Влияние инсоляции и естественного освещения на жизнь и жизнедеятельность человека / К.В. Юкова, А.С. Чижков. – Текст : непосредственный // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых- 2017 : сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Том 3. Курск, 09–10 ноября 2017 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 373–376.

2. **Вараксин, Д.А.** Естественное освещение и требования к нему / Д.А. Вараксин. – Текст : непосредственный // Знания молодых – будущее России : сборник статей XXI Международной конференции, Киров, 05–07 апреля 2023 года. – Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 594–597.

3. **Пашковский, Р.И.** О нормировании искусственного освещения / Р.И. Пашковский. – Текст : непосредственный // Светотехника. – 2012. – № 4. – С. 70–72.

4. Сравнительный анализ различных источников искусственного освещения / С.А. Белова, Е.В. Варнава, Л.Н. Баженова [и др.]. – Текст :

непосредственный // Здоровье населения и качество жизни : материалы IV Всероссийской с международным участием заочной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30 марта 2017 года. – Санкт-Петербург: Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, 2017. – С. 25–28.

5. **Бочарников, А.С.** Вопросы безопасности строительного производства в дипломных работах : учебное пособие / А.С. Бочарников, О.А. Бочарникова, В.В. Поляков. – Липецк : ЛГТУ, 2008. – 70 с. – Текст : непосредственный.

6. Свод правил. Естественное и искусственное освещение (СНиП 52.13330.2011) . Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 : утверждены . Приказом Минрегиона РФ от 27.12.2010 № 783. – 89 с. – Текст : непосредственный

7. **Кантарюк, Е.А.** Дизайн-проектирование систем освещения в выставочном пространстве / Е.А. Кантарюк, Т.В. Ананьева, Л.А. Тычина. – Текст : непосредственный // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник РГХПУ им. С.Г. Строганова. – 2023. – № 2–2. – С. 203–213.

Сведения об авторах:

Орлов Игорь Иванович

доктор искусствоведения, профессор,
заведующий кафедрой дизайна и
художественной обработки материалов,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
igorlov64@mail.ru

Кантарюк Екатерина Анатольевна

кандидат философских наук,
доцент кафедры дизайна и художественной
обработки материалов,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
e.abaeva@mail.ru

Кукушкина Вера Анатольевна

преподаватель-исследователь, доцент
кафедры дизайна и художественной
обработки материалов,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
vera.a.kukushkina@mail.ru

Суслова Светлана Александровна

кандидат технических наук,
доцент кафедры информатики,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Бордюгова Юлия Александровна

инженер кафедры дизайна и
художественной обработки материалов,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Леснухина Татьяна Константиновна

студент кафедры дизайна и
художественной обработки материалов,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
ttmtidi1906@gmail.com

Information about the authors:

Orlov Igor Ivanovich

Doctor of Art History, Head of the Department
of Design and Artistic Processing of Materials,
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
igorlov64@mail.ru

Kantaryuk Ekaterina Anatolievna

Cand. Philosopher Sci., Associate Professor,
Department of Design and Artistic Processing
of Materials,

Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

e.abaeva@mail.ru

Kukushkina Vera Anatolevna

Lecturer-researcher, associate professor of the
department of design and artistic processing of
materials,

Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

vera.a.kukushkina@mail.ru

Suslova Svetlana Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Computer
Science,

Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
ssa27@mail.ru

Bordyugova Yulia Alexandrovna

Engineer at the Department of Design and
Artistic Processing of Materials,
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
yulya.alabusheva00@mail.ru

Lesnukhina Tatyana Konstantinovna

Student of the Department of Design and
Artistic Processing of Materials,
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
ttmtidi1906@gmail.com

DOI 10.53015/23049235_2024_3_13
УДК 656.078:338.2

В.А. ЛОГИНОВ, С.А. ДМИТРИЕВ, А. САКС

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматриваются подходы к оптимизации развития грузового автотранспортного предприятия. Предложено применить структуру денежных потоков автотранспортного производства. Акцент сделан на распределении чистого дохода предприятия на две части: инвестиции в парк автомобилей и фонд оплаты труда работников предприятия. Выдвигаемая гипотеза о том, что инвестиции в парк автомобилей прямо пропорциональны приросту валового дохода, приводит к нахождению процесса, который обеспечит достижение наибольшего дисконтированного фонда оплаты труда с 1 км пробега. Математическое моделирование процессов выполняется строго в соответствии с реальными производственными условиями. Применение разработанного подхода в практике работы предприятий позволит использовать новое программное обеспечение для разработки и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: чистый доход предприятия, инвестиции в развитие, фонд оплаты труда, доходоемкость, автомобилевооруженность.

V.A. LOGINOV, S.A. DMITRIEV, A. SAX

OPTIMIZING THE DEVELOPMENT OF A ROAD FREIGHT TRANSPORT ENTERPRISE

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses approaches to optimizing the development of a road freight transport enterprise. It is proposed to apply the cash flow pattern of road haulage. The key idea is to distribute the enterprise's net income into two parts: investments in the vehicle fleet and the payroll. The hypothesis that investments in the vehicle fleet are directly proportional to the increase in gross income necessitates finding a process to ensure the largest discounted payroll per kilometer. The processes are mathematically modelled in strict accordance with real conditions. When used by transport enterprises, the developed approach will make it possible to use the new software to develop and make managerial decisions.

Keywords: enterprise's net income, investment in development, payroll, income per kilometer, number of vehicles per kilometer.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим автотранспортное производство, характеризующееся в каждый момент времени t набором переменных (рис. 1) D, Y, Φ, I, A, L , где D – валовой доход автотранспортного

предприятия (АТП);

Y – чистый доход АТП;

Φ – фонд оплаты труда работников;

I – инвестиции в парк автомобилей;

A – величина парка автомобилей;

L – пробег автомобилей.

Так как эти переменные взаимосвязаны, то в каждый момент времени соблюдается баланс $D=Y+Z=Y+\alpha D$, где Z – затраты на эксплуатацию

автомобилей с амортизационными отчислениями и налогами; $0 < \alpha < 1$ – доля затрат на эксплуатацию автомобилей в валовом доходе.



Рис. 1. Структура потоков автотранспортного производства

В свою очередь, чистый доход распределяется на инвестиции в автомобильный парк и фонд оплаты труда работников

$$Y = I + \Phi = V + \mu A + \Phi = \Delta A + \mu A + \Phi,$$

где V – чистые вложения в автомобильный парк;

μ – коэффициент амортизации;

ΔA – изменение парка автомобилей за счет чистых вложений.

Тогда $\Delta A = I - \mu A$.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Обозначим:

$\frac{I}{Y} = s$ – доля инвестиций в чистом доходе;

$\frac{\Phi}{Y} = u$ – доля фонда оплаты труда работников в чистом доходе.

Очевидно $u + s = 1$.

Тогда

$$\Delta A = sY - \mu A = (1-u)Y - \mu A = (1-u)(1-\alpha)D - \mu A$$

Так как $\Delta A = \frac{dA}{dt} = \dot{A}$, то получим

дифференциальное уравнение

$$\dot{A} = (1-u)(1-\alpha)D - \mu A. \quad (1)$$

Введем обозначения:

$\frac{A}{L} = a$ – автомобилевооруженность

пробега;

$\frac{D}{L} = d$ – доходоемкость пробега.

Так как теперь $A = La$, то $\dot{A} = \dot{a}L + a\dot{L}$. Будем считать, что прирост пробега осуществляется с постоянным темпом n , то есть $\dot{L} = nL$.

Тогда $\dot{A} = \dot{a}L + anL = L(\dot{a} + na)$ или $L(\dot{a} + na) = (1-u)(1-\alpha)D - \mu La$; $\dot{a} + na = (1-u)(1-\alpha)d - \mu a$.

Получим новое дифференциальное

уравнение

$$\dot{a} = (1-u)(1-\alpha)d - a(\mu+n). \quad (2)$$

ТЕОРИЯ/РАСЧЕТ

Поставим задачу управления автотранспортным предприятием: найти процесс

$$\mathfrak{D} = \{A(t), D(t), u(t)\}, \quad (3)$$

который обеспечивал бы наибольший дисконтированный фонд оплаты труда с

$$1 \text{ км пробега } Q = \int_0^T e^{-\delta t} \frac{\Phi}{L} dt \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} 0 &\leq u \leq 1; \\ d &= f(a, t) \geq 0; \\ a(t) &\geq a_{\text{зад}}(t); \\ a(0) &= a_0. \end{aligned}$$

Изменив знак, заменим целевую функцию максимизации на целевую функцию минимизации

$$P = - \int_0^T e^{-\gamma t} u d (1-\alpha) dt \rightarrow \min. \quad (4)$$

Таким образом, требуется определить процесс $\mathfrak{D} = \{a(t), u(t), d(t)\}$, обращающий в минимум функционал (4).

Состоянием системы является автомобилевооруженность пробега a , управлением – доходоемкость пробега d и доля фонда оплаты труда работников u . Уравнением процесса служит дифференциальное уравнение (2).

Воспользуемся теоремой о достаточных условиях оптимальности [1]. Составим функцию

$$\begin{aligned} R(a, d, u, t) &= \frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial a} [(1-\alpha)(1-u)d - (\mu+n)a] + \\ &+ e^{-\delta t} u d (1-\alpha) + \frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial t}. \end{aligned}$$

Выделим в функции R слагаемые, содержащие компоненты вектора управления (u, d) , и приравняем коэффициенты при нем к нулю

$$\begin{aligned} R &= \frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial a} (1-\alpha)d - \frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial a} (1-\alpha)ud - \\ &- \frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial a} (\mu+n)a + e^{-\delta t} (1-\alpha)ud + \frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial t}. \end{aligned}$$

Компоненты вектора (u, d) содержат второе слагаемое. Поэтому получаем

$$-\frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial a} (1-\alpha) + e^{-\delta t} (1-\alpha) = 0.$$

$$\text{Следовательно } \frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial a} = e^{-\delta t}.$$

Интегрируя, получим

$$\varphi(a, t) = a e^{-\delta t} + c(t),$$

где $c(t)$ – произвольная функция.

$$\text{Положим } c(t) = 0, \text{ тогда } \varphi(a, t) = a e^{-\delta t}.$$

Продифференцируем эту функцию по времени t

$$\frac{\partial \varphi(a, t)}{\partial t} = -a \delta e^{-\delta t}.$$

Подставим найденные значения в функцию R

$$\begin{aligned} R &= e^{-\delta t} [(1-\alpha)d - (\mu+n)a] - a \delta e^{-\delta t} = \\ &= e^{-\delta t} [(1-\alpha)d - (\mu+n+\delta)a]. \end{aligned}$$

Как видим, теперь R не зависит от u .

Найдем оптимальные значения $a^*(t)$ и $d^*(t)$ из условия

$$\max R(a, d, t) \text{ и } 0 \leq d \leq f(a, t).$$

При $\alpha < 1$ ($1-\alpha > 0$), следовательно $\max_d R$ достигается при $d^* = f(a, t)$.

Проведем максимизацию R по a при оптимальном $d = d^*$. Обозначим

$$R_1(t, a) = \max_{0 \leq d \leq f(a, t)} R(t, a, d) =$$

$$= e^{-\delta t} [(1-\alpha)f(a, t) - (\mu+n+\delta)a].$$

Введем функцию

$$r(t, a) = (1-\alpha)f(a, t) - (\mu+n+\delta)a.$$

Так как $e^{-\delta t} > 0$, то $a^*(t) = \arg \max_a r(t, a), \forall t \in [0, T]$.

Функция $r(t, a)$ является суммой двух слагаемых: квазипроизводственной функции с множителем $(1-\alpha)$ и линейной функции. При зафиксированном значении времени t на рис. 2 представлены графики этих функций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Найдем $a^*(t)$ из условия $\frac{\partial r(t,a)}{\partial a} = 0$.

Но предварительно необходимо задать вид квазипроизводственной функции $D = F(A, L, t)$.

Проведенные исследования [2] показали, что автотранспортное производство хорошо аппроксимируется квазипроизводственной функцией типа функции Кобба-Дугласа

$$D(t) = be^{\lambda t} [A(t)]^{\alpha_A} [L(t)]^{\alpha_L}.$$

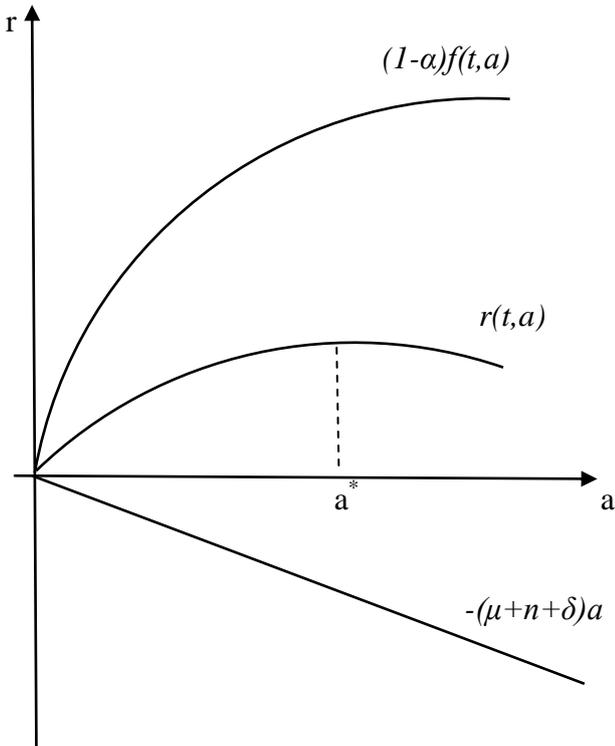


Рис. 2. График функции $r(t,a)$

Тогда

$$\begin{aligned} d &= \frac{1}{L} F(A, L, t) = f(a, t) = be^{\lambda t} \frac{[A(t)]^{1-\alpha}}{L(t)} [L(t)]^{\alpha_L} = \\ &= be^{\lambda t} \frac{[A(t)]^{1-\alpha_L}}{[L(t)]^{1-\alpha_L}} = be^{\lambda t} \left[\frac{A(t)}{L(t)} \right]^{1-\alpha_L} = be^{\lambda t} a^{\alpha_A} \end{aligned}$$

при условии, что $\alpha_A + \alpha_L = 1$.

Следовательно

$$\begin{aligned} r(a, t) &= (1-\alpha)be^{\lambda t} a^{\alpha_A} - (\mu+n+\delta)a \text{ и} \\ \frac{\partial r(a, t)}{\partial a} &= (1-\alpha)be^{\lambda t} \alpha_A a^{\alpha_A-1} - (\mu+n+\delta) = 0. \end{aligned}$$

$$\text{Отсюда находим } a^{\alpha_A-1} = \frac{\mu+n+\delta}{(1-\alpha)b\alpha_A e^{\lambda t}}$$

$$\text{и } a^* = \left[\frac{\mu+n+\delta}{(1-\alpha)b\alpha_A e^{\lambda t}} \right]^{\frac{1}{\alpha_A-1}}.$$

Так как $0 < \alpha_A < 1$, то обозначим $1 - \alpha_A = \beta$, тогда $\alpha_A - 1 = -\beta$. Следовательно

$$\begin{aligned} a^*(t) &= \left[\frac{\mu+n+\delta}{(1-\alpha)b\alpha_A e^{\lambda t}} \right]^{\frac{1}{\beta}} = \left[\frac{(1-\alpha)b\alpha_A e^{\lambda t}}{\mu+n+\delta} \right] = \\ &= \left[\frac{(1-\alpha)b\alpha_A}{\mu+n+\delta} \right]^{\frac{1}{\beta}} e^{\frac{\lambda}{\beta} t}. \end{aligned}$$

На рис. 3 приведен график функции $a^*(t)$. В математической экономике эту функцию называют магистралью модели.

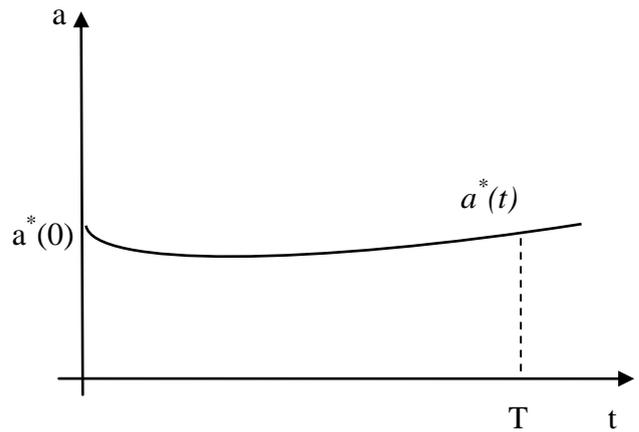


Рис. 3. График функции $a^*(t)$

Подставим найденное значение $a^*(t)$ в дифференциальное уравнение (2):

$$\dot{a}^*(t) = (1-\alpha)(1-u)d(t) - (\mu+n)a^*(t).$$

Решим это уравнение относительно доли фонда оплаты труда работников в чистом доходе u .

ВЫВОДЫ

Используя понятие состояния системы автомобилевооруженность пробега a , понятие управления как доходоемкости пробега d и доли фонда оплаты труда работников u , следует разработать модель к реальным грузовым автотранспортным предприятиям различных форм собственности с возможностью сравнивать реальную автомобилевооруженность пробега $a(t)$ с оптимальной траекторией развития $a^*(t)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кротов, В.Ф.** Методы и задачи оптимального управления / В.Ф. Кротов. В.И. Гурман. – Москва : Наука, 1973. – 448 с. – Текст : непосредственный.

2. **Горидько, Н.Н.** Современный экономический рост: теория и регрессионный анализ / Н.Н. Горидько, Р.М. Нижегородцев. – Москва : НИЦ Инфра-М, 2017. – 343 с. – Текст : непосредственный.

3. Управление развитием грузового автотранспортного предприятия / Ю.Н. Ризаева, В.А. Логинов, С.Н. Сухатерина, А.Б. Сухатерин. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4–2 (83). – С. 123–128.

4. **Ризаева, Ю.Н.** Управление развитием грузового автотранспортного предприятия при гипотезе о непрерывном росте фонда оплаты труда работников / Ю.Н. Ризаева, В.А. Логинов, А.Е. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 1. – С. 21–27.

5. **Ризаева, Ю.Н.** Управление развитием грузового автотранспортного предприятия при разных гипотезах о динамике фонда оплаты труда работников / Ю.Н. Ризаева, В.А. Логинов, А.Е. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 3. – С. 57–62.

6. **Ризаева, Ю.Н.** Управление развитием грузового автотранспортного предприятия / Ю.Н. Ризаева, В.А. Логинов, А.С. Третьяков. – Текст : непосредственный // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : сборник статей международной научно-практической конференции. – Липецк : ЛГТУ. – 2022. – С. 160–162.

7. **Ризаева, Ю.Н.** Планирование поставок продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя / Ю.Н. Ризаева, В.А. Логинов, А.Ю. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2021. – № 3. – С. 54–59.

8. **Логинов, В.А.** Модель влияния научно-технического прогресса на производственно-экономическую деятельность грузового автотранспортного предприятия / В.А. Логинов, В.А. Суворов, А.С. Ляхов. – Текст : непосредственный // Инфоком-муникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : сборник статей международной научно-практической конференции. – Липецк : ЛГТУ. – 2018. – С. 105–108.

9. **Логинов, В.А.** Квазипроизводственная функция грузового автотранспортного предприятия с переменной технологической структурой перевозок / В.А. Логинов, В.А. Суворов, А.С. Ляхов. – Текст : непосредственный // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : сборник статей международной научно-практической конференции. – Липецк : ЛГТУ. 2018. С. 101–104.

10. **Логинов, В.А.** Устойчивость развития транспортных систем / В.А. Логинов, А.К. Карташова. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки : сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. – Липецк : ЛГТУ. – 2017. – С. 538–541.

11. **Логинов, В.А.** Снижение себестоимости грузовых автомобильных перевозок / В.А. Логинов, Ю.О. Шапошников. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки : сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. – Липецк : ЛГТУ. – 2017. – С. 683–685.

Сведения об авторах:

Логинов Владимир Анатольевич

кандидат экономических наук, доцент
кафедры управления автотранспортом,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
v_loginov@lipetsk.ru

Дмитриев Семен Анатольевич

кандидат технических наук, и.о.
заведующего кафедрой управления
автотранспортом,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
dmitriev_sa@stu.lipetsk.ru

Сакс Александр

студент кафедры управления
автотранспортом,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
alexandersaks2002@gmail.com

Information about authors:

Loginov Vladimir Anatolyevich

Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor of the Department of Vehicle
Management,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
v_loginov@lipetsk.ru

Dmitriev Semen Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, Acting Head
of the Department of Motor Transport
Management,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.
dmitriev_sa@stu.lipetsk.ru

Sax Alexandr

Student of the Department of Vehicle
Management,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
alexandersaks2002@gmail.com

DOI 10.53015/23049235_2024_3_19
УДК 621.08; 621.81

В.В. ТЕЛЕГИН

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ СИЛ**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматривается методика оценки работоспособности типового гидравлического цилиндра, работающего под воздействием не только сил, направленных вдоль его оси, но и перпендикулярно к ней. В основе предлагаемой методики лежат возможности программы Autodesk Inventor Professional в области численного моделирования напряжений и деформаций элементов механической конструкции. При этом могут быть использованы различные схемы приложения внешних сил, определен характер соединений элементов конструкции и материал, применённый для их изготовления.

Ключевые слова: гидравлический цилиндр, 3D-модель, напряжение, деформация, осевая сила, радиальная сила.

V.V. TELEGIN

**A STUDY OF HYDRAULIC CYLINDER PERFORMANCE UNDER
THE INFLUENCE OF NONAXISYMMETRIC FORCES**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses a method for assessing the performance of a typical hydraulic cylinder which operates under the influence of forces directed both along its axis and perpendicular to it. The proposed method is based on what the Autodesk Inventor Professional program can do as regards the numerical modeling of stresses and deformations of mechanical structure elements. In this case, various patterns for applying external forces can be used and the nature of the connections between the structural elements and the material used for their manufacture is determined.

Keywords: hydraulic cylinder, 3D- model, stress, deformation, axial force, radial force.

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлические устройства широко применяются во многих областях промышленного производства [1-4]. В том числе станкостроения [5-9]. Методы расчёта, позволяющие уменьшить риск разрушения гидравлических устройств приведены в работах [10-13].

Одним из основных требований, предъявляемых к условиям эксплуатации гидроцилиндров, является минимизация радиальных воздействий на его шток [14-

15]. Очевидно, что воздействия данного вида не только снижают работоспособность цилиндра, но могут практически сразу после начала эксплуатации привести к его поломке. В реальных условиях эксплуатации цилиндра полностью гарантировать отсутствие воздействия на него не осесимметричных сил (радиальная и осевая силы значимы) не всегда удаётся. Например, из-за веса самого цилиндра, или других специфических условий эксплуатации.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 приведена схема приложения сил к цилиндру, обусловленных давлением

жидкости (Q) и наличием силы тяжести (P_1, P_2, \dots).

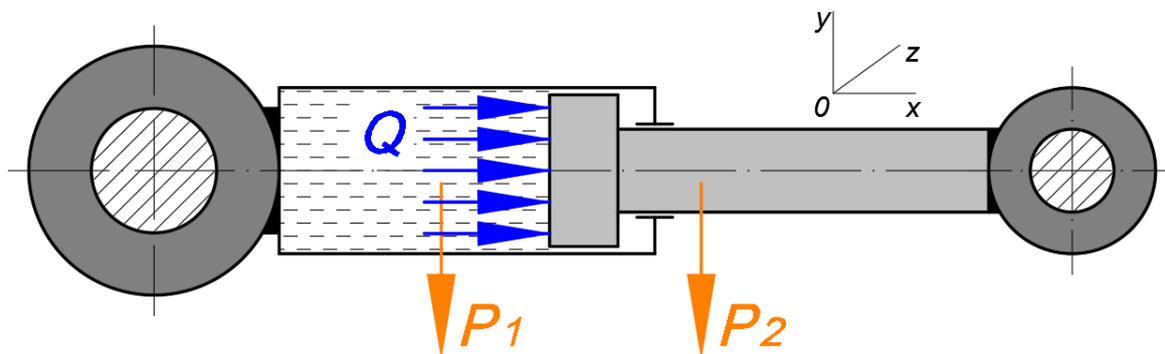


Рис. 1. Схема приложения внешних сил к цилиндру № 1

Предполагается, что левая и правая опоры цилиндра (отмечены штриховкой) не имеют возможности перемещения в горизонтальном (x) и вертикальном (y) направлениях. Вращение допускается. Смещение опор цилиндра в вертикальном направлении не приводит к появлению дополнительных существенных сил в деталях цилиндра из-за возможности перемещения штока в горизонтальном (x) направлении.

На рис. 2 представлена иная ситуация. Элементы конструкции, в

которой установлен цилиндр, смещаются в направлении оси z . В случае применения цилиндрических (не сферических) подшипников в этих опорах, в элементах конструкции гидроцилиндра возникнут дополнительные напряжения и соответствующие им деформации. Следствием этого будет перекося деталей цилиндра с изменением зазоров в кинематических парах (поршень – цилиндр, шток – цилиндр...) с последующим нарушением герметичности и, возможно, их поломкой.

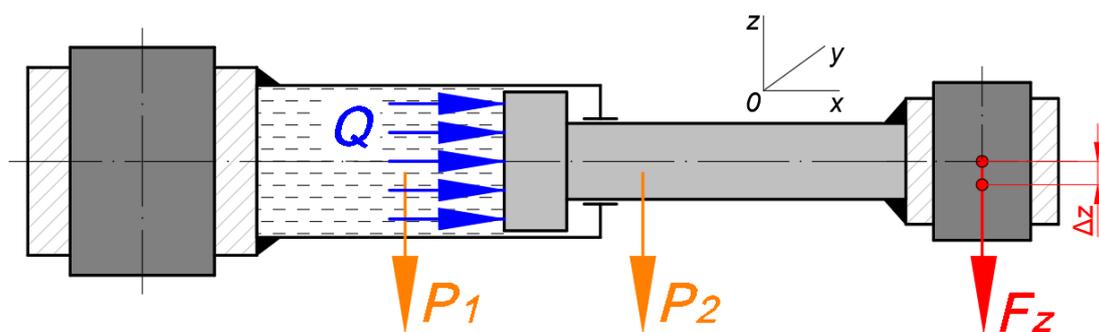


Рис. 2. Схема приложения внешних сил к цилиндру № 2

На рис. 2 сила F_z – вспомогательный параметр. Принципиальное значение имеет величина смещения (Δz) точки приложения этой силы в направлении оси z , приводящей к смещению поверхностей поршня и штока относительно поверхностей цилиндра.

Значение давления Q определяется типом цилиндра, его основными

параметрами (5), конструктивными параметрами, устанавливаемыми предприятием-изготовителем. Данные о максимальном значении силы F_z или соответствующей ей величине смещения Δz в настоящее время в спецификации гидроцилиндров отсутствуют.

Целью исследования, представленного в данной работе, является

разработка методики расчёта максимального значения радиального смещения Δz гидроцилиндра с заданными конструктивными параметрами, при которой возможно гарантировать его работоспособность. Или, в более простой постановке, определение гарантированной работоспособности гидроцилиндра при заданных значениях сил тяжести деталей цилиндра.

2. РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОЦИЛИНДРА

На рис. 3 представлена твердотельная модель гидроцилиндра, исследуемого в данной работе. Данная модель создана в среде Autodesk Inventor Professional в рамках учебного процесса Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ) по направлению подготовки бакалавров «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

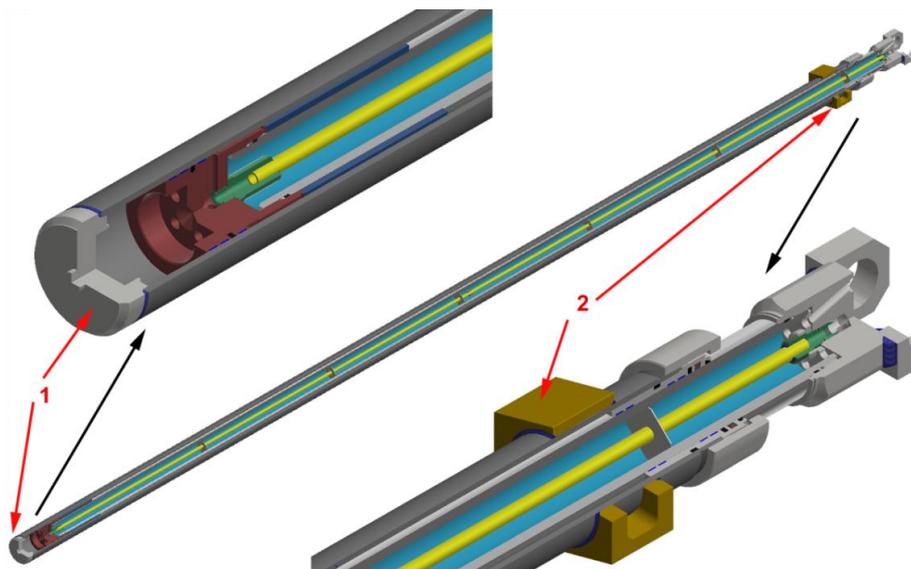


Рис. 2. Твердотельная модель гидравлического цилиндра:
1, 2 – элементы крепления корпуса цилиндра

Параметры цилиндра:

- Давление в поршневой полости, Мпа:
номинальное – 24;
максимальное – 35.
- Давление в штоковой полости, Мпа:
номинальное – 20;
максимальное – 25.
- Усилие на штоке, кН:
толкающее – 402.7;
тянущее – 102.5.
- Ход поршня, мм – 6 000.
- Масса цилиндра, кг – 715.

3. РАСЧЁТНАЯ СХЕМА

В отличие от типовых вариантов (см. рис. 1 и 2), в данном случае имеет место жёсткое закрепление всего корпуса цилиндра (см. рис. 3, поз. 1 и 2). На их грани наложены зависимости фиксации. Давление в поршневой и штоковых полостях принято максимальным.

На рис. 3 показаны области приложения внешних сил (Q , P , F_z) и зависимостей (фиксация и идеальная опора).

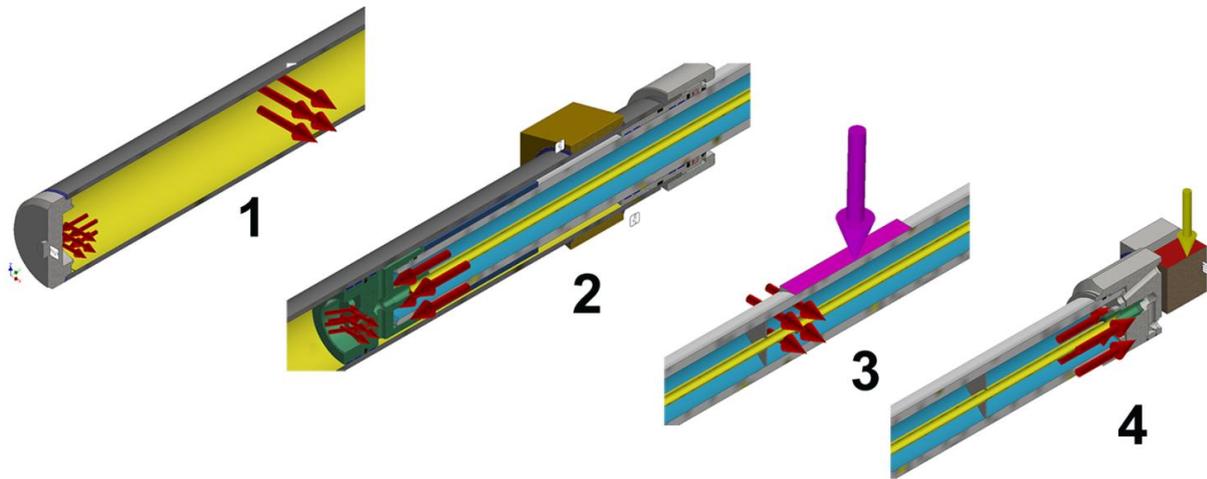


Рис. 4. Области приложения внешних сил и ограничений на перемещение: 1 – левая опора (фиксация и давление); 2 – цилиндр (фиксация) и шток (давление); 3 – шток (сила тяжести и давление); 4 – правая опора (давление, радиальная сила, скольжение без перемещения)

Данная схема аналог расчётной схеме 2 (рис. 2).

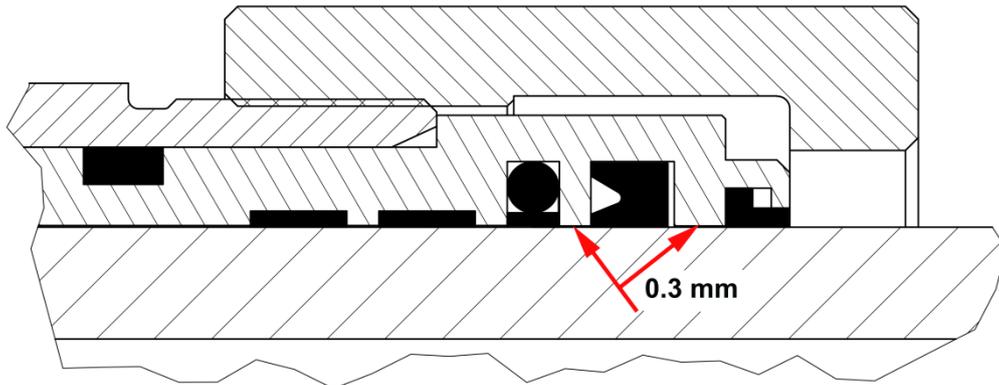


Рис. 5. Расположение зазоров между штоком и деталями цилиндра

На рис. 5 представлено расположение зазоров между штоком и деталями цилиндра. Величина этих зазоров обеспечивается наличием уплотнений (чёрный цвет на рис. 5). Их выборка при работе цилиндра вследствие деформации его деталей (и уплотнений в первую очередь) приведёт к контактному взаимодействию между собой

перемещающихся деталей и их повреждению.

На рис. 6 показан результат расчётов методом конечных элементов напряжённо-деформированного состояния гидравлического цилиндра. Значение силы F_z – 16 кН. Шток выдвинут на максимальную величину (6 000 мм).

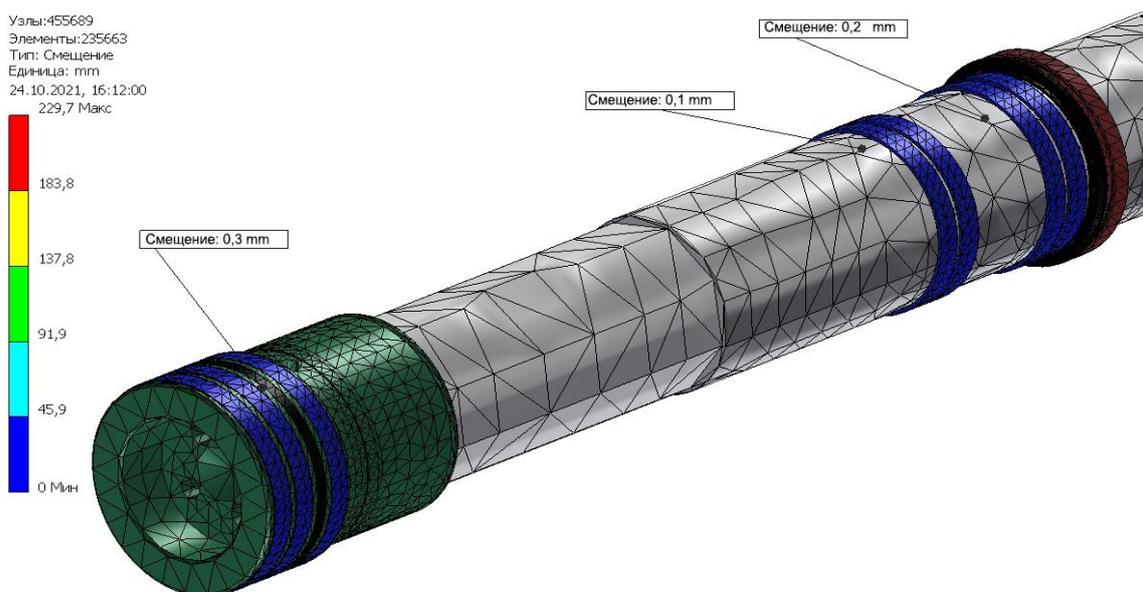


Рис. 6. Смещение критических точек поверхностей поршня и штока

Все детали цилиндра, кроме приведённых на рис. 6, при визуализации результатов расчётов скрыты. Как следует из приведённых на рис. 6 данных, значение силы F_z , равное 16 кН ($\approx 4\%$ от максимального значения усилия в штоке), является критическим для данного цилиндра.

Отклонение правой опоры гидроцилиндра (Δz) составляет ≈ 230 мм, при длине штока 6 000 мм. Угол отклонения штока от его оси – $\approx 0.5^\circ$.

ВЫВОДЫ

При выполнении исследований авторы рассматривали различные варианты положения штока: не выдвинут, выдвинут на одну треть, половину... Результаты

получились приблизительно одинаковые. За исключением значения Δz , которое очевидно пропорционально длине выдвинутой части штока.

Полученные результаты можно использовать для других цилиндров с жёстко закреплённой левой опорой, но только для предварительной оценки.

Методика, включающая:

- создание твердотельной модели цилиндра с элементами его размещения [6, 7];
- выполнение расчетов методом конечных элементов;
- анализ полученных результатов, может быть без ограничений применена для проектирования различных объектов машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика : учебник для вузов / Д.В. Штеренлихт. – Москва : Колос-С, 2004. – 656 с. – Текст : непосредственный.
2. Воронов, Д.Ю. Гидроцилиндры: учебно-методическое пособие / Д.Ю. Воронов. – Текст : непосредственный. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 72 с.

3. Лепёшкин, А.В. Гидравлические и пневматические приводы / А.В. Лепёшкин, А.А. Михайлин. – Москва : Академия, 2004. – 336 с. – Текст : непосредственный.
4. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы / Т. М. Башта. – Москва : Машиностроение, 1982. – 423 с. – Текст : непосредственный.
5. Бирюков, Б.Н. Гидравлическое оборудование металлорежущих станков / Б.Н. Бирюков. – Москва : Машиностроение, 1979. – 112 с. – Текст : непосредственный.

6. Гидропривод и гидропневмоавтоматика станков / под ред. В.А. Федорца. – Киев : Вища школа, 1987. – 375 с. – Текст : непосредственный.

7. **Оксененко, А.Я.** Гидроприводы и гидрооборудование в станкостроении / А.Я. Оксененко. – Москва : НИИмаш, 1982. – 112 с. – Текст : непосредственный.

8. **Свешников, В.К.** Станочные гидроприводы : справочник / В.К. Свешников. – Москва : Машиностроение, 1995. – 448 с. – Текст : непосредственный.

9. **Оксененко, А.Я.** Гидроприводы и гидрооборудование в станкостроении / А. Я. Оксененко. – Москва : НИИмаш, 1982. – 112 с. – Текст : непосредственный.

10. **Волосков, В.В.** Инженерные методы расчета и конструирование манипуляторов с гидравлическими корректирующими устройствами / В.В. Волосков. – Москва : ЦНИИТЭ Тяжмаш. – № 306 ТМ, 88 ДНР. – 4(210), 1989. – С. 147. – Текст : непосредственный.

11. **Слюсарев, А.Н.** Гидравлические и пневматические элементы и приводы

промышленных роботов / А.Н. Слюсарев. – Москва : Машиностроение, 1989. – 167 с. – Текст : непосредственный.

12. **Глубокий, В.И.** Расчет гидравлических приводов станочного оборудования / В. И. Глубокий. – Минск : БНТУ, 2005. – 80 с. – Текст : непосредственный.

13. Гидроцилиндры: причины выхода из строя, требования к монтажу и отладке | ООО «Гидровэлв» (gidrov.com).

14. **Telegin, V.** Solid Modeling in Professional Training of Specialists for Machine-building Enterprises / V. Telegin, I. Telegin. – Text : immediate // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering Volume-8 Issue-9S3, July 2019 Retrieval Number: I30020789S319/19. – P. 3.

15. **Telegin, V.V.** Performance Assessment in Design of High-Speed Automatic Machines Based on Analysis of Their Dynamics / V.V. Telegin. – Text : immediate // Lecture Notes in Mechanical Engineering this link is disabled, 2021. – P. 1000–1007.

Сведения об авторах:

Телегин Виктор Валериевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры технологии
машиностроения,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
e-mail: vv.telegin@yandex.ru

Information about the authors:

Telegin Viktor Valerievich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of
Mechanical Engineering Technology,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
e-mail: vv.telegin@yandex.ru

А.В. СУХАНОВ

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛОСКОГО ШЕСТИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В настоящей работе рассматриваются аналитический метод определения кинематических параметров многозвенного плоского механизма второго класса. Определение линейных и угловых скоростей звеньев механизма осуществлялось посредством нахождения мгновенных центров скоростей для соответствующих звеньев. В начале проведён структурный анализ исследуемого механизма, определены типы звеньев, кинематические пары, рассчитано количество степеней свободы механизма, определены структурные группы, входящие в состав механизма. Далее в статье приведен подробный расчет кинематических параметров плоского механизма: линейные и угловые скорости звеньев, а также их линейные и угловые ускорения. Исходными данными для вычислений служат геометрические параметры звеньев механизма, угловая скорость кривошипа и угловое ускорение коромысла. Приведённые в статье результаты вычислений свидетельствуют, что аналитический метод позволяет с высокой точностью рассчитать кинематические параметры звеньев многозвенного плоского механизма второго класса.

Ключевые слова: многозвенный механизм, кривошип, шатун, план скоростей, план ускорений, мгновенный центр скоростей.

A.V. SUKHANOV

KINEMATIC ANALYSIS OF A PLAIN SIX-LINK MECHANISM

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper examines the analytical method for determining the kinematic parameters of a second-class multi-link plain mechanism. The linear and angular velocities of the mechanism links were determined by finding the instantaneous centers of velocities for the corresponding links. At the beginning, the structural analysis of the mechanism was conducted, the types of links and kinematic pairs were determined, the number of degrees of freedom of the mechanism was calculated, and the structural groups included in the mechanism were determined. Further, the article provides a detailed calculation of the kinematic parameters of the plain mechanism: linear and angular velocities of the links, as well as their linear and angular accelerations. The initial data for the calculations are the geometric parameters of the mechanism links, the angular velocity of the crank and the angular acceleration of the rocker. The calculation results presented in the article indicate that the analytical method makes it possible to calculate the kinematic parameters of the links of a second-class multi-link plain mechanism with high accuracy.

Keywords: multi-link mechanism, crank, connecting rod, velocity diagram, acceleration diagram, instantaneous center of velocities.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием компьютерных технологий широко распространённые графоаналитические методы кинематического анализа механизмов во многом

утратили свою актуальность, уступив место различным аналитическим методам с использованием компьютерных технологий, в связи с чем повысился интерес к разработкам математических моделей

кинетостатического расчёта механизмов [1, 2, 3]. Эффективность графического метода кинематического анализа механизмов показана в работах [3, 6]; графические методы могут быть применены для предварительной оценки скоростей и ускорений звеньев механизма на начальной стадии проектирования [4, 5, 6].

В данной работе предложены аналитические зависимости для вычисления кинематических параметров точек шестизвенного механизма с применением ЭВМ.

Схема механизма в заданном положении представлена на рис. 1.

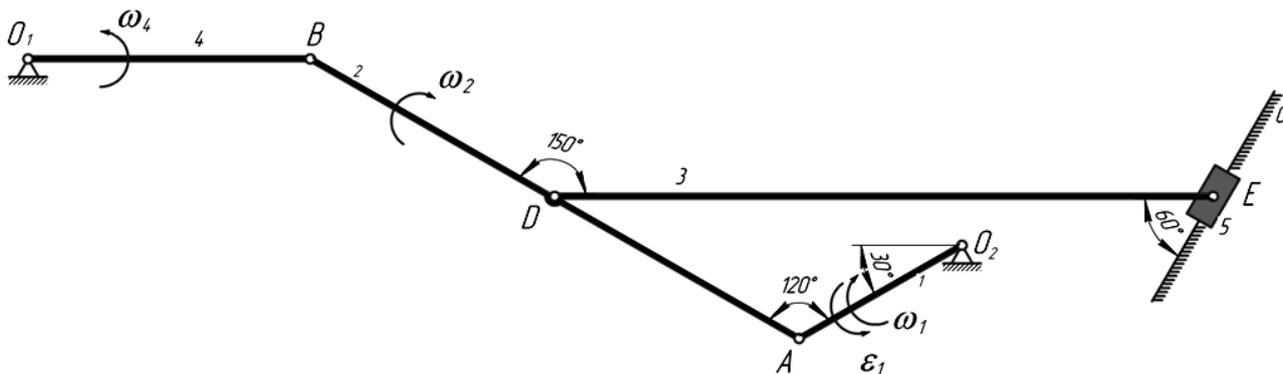


Рис. 1. Кинематическая схема многозвенного механизма

Механизм имеет следующие геометрические характеристики (рис. 1): $l_1 = 0,4$ м; $l_2 = 1,2$ м; $l_3 = 1,4$ м; $l_4 = 0,6$ м; $BD=AD$, $\omega_4 = 8$ с⁻¹; $\epsilon_4 = 1$ с⁻²; ϵ_1 направлена против хода часовой стрелки. Определим для заданного положения механизма следующие кинематические параметры:

- линейные скорости точек А, В, D, и Е механизма (V_A, V_B, V_D и V_E);
- угловые скорости 1-го, 2-го и 3-го звеньев механизма (ω_1, ω_2 и ω_3) при помощи мгновенных центров скоростей;

- линейное ускорение точки А (a_A);
- угловое ускорение звена 2 (ϵ_2).

Произведём структурный анализ механизма. Механизм состоит из следующих звеньев: 0 – стойка, 1 – кривошип, 2, 3 – шатуны, 4 – коромысло, 5 – ползун.

Определим кинематические пары механизма (табл. 1).

Таблица

Кинематические пары многозвенного механизма

№	Звенья	Название пары	Число степеней свободы
1	0 и 1	вращательная	1
2	1 и 2	вращательная	1
3	2 и 3	вращательная	1
4	3 и 5	вращательная	1
5	0 и 5	поступательная	1
6	2 и 4	вращательная	1
7	0 и 4	вращательная	1

Рассчитаем число степеней свободы механизма по формуле П. Л. Чебышёва:

$$W = 3n - 2p_1 - 2p_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1.$$

Здесь $n = 5$ – число подвижных звеньев механизма, $p_1 = 7$ – количество

кинематических пар с числом степеней свободы 1, $p_2 = 0$ – количество кинематических пар с числом степеней свободы 2.

На рис. 2, а, б, в представлены структурные группы Ассур, входящие в состав механизма [6, 7, 8]. Структурная группа, изображённая на рис. 2, а, принадлежит к первому классу, остальные структурные группы принадлежат ко

второму классу. Класс механизма определяется наивысшим классом структурной группы, входящей в его состав. Следовательно, данный шестизвенный механизм принадлежит ко второму классу [4, 9, 10].

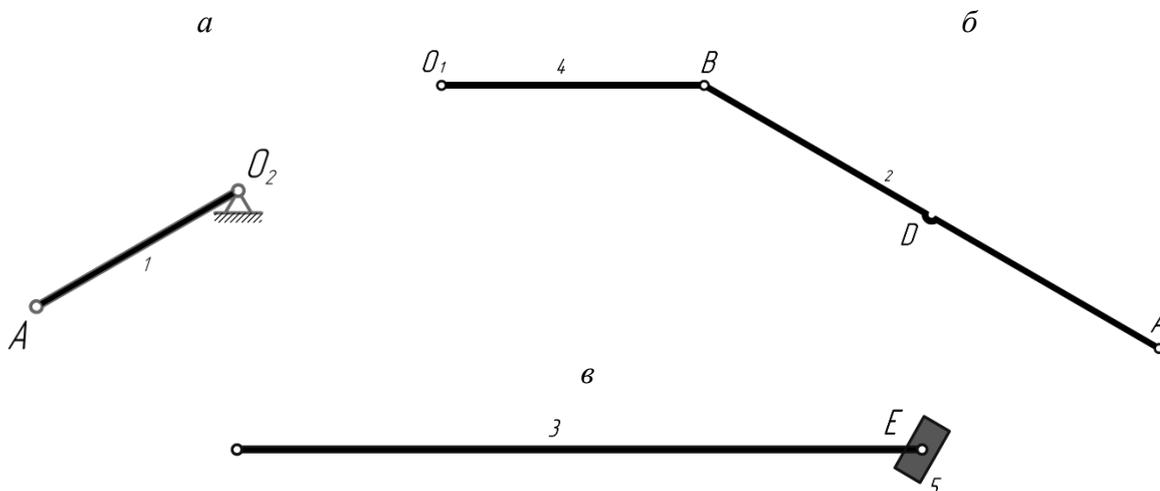


Рис. 2. Структурные группы многозвенного механизма

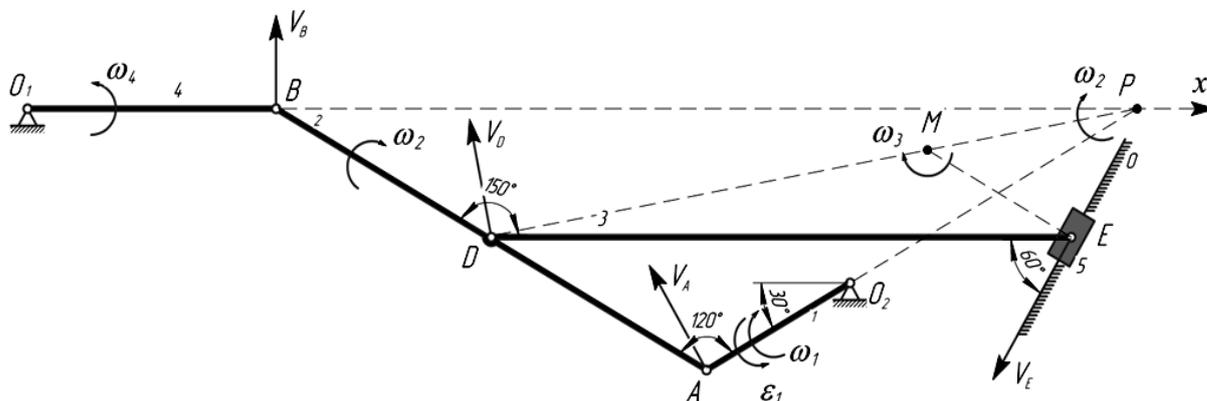


Рис. 3. Направления скоростей точек механизма

Определим модуль и направление скорости точки В звена 4 и направление скорости точки А звена 1 механизма, совершающего плоскопараллельное движение (рис. 3).

Скорость V_B направлена перпендикулярно звену O_2B , скорость V_A направлена перпендикулярно звену O_1A .

$$V_B = \omega_4 l_4 = 8 \cdot 0,6 = 4,8 \text{ м/с.}$$

Точка Р – мгновенный центр скоростей звена АВ (рис 3), следовательно

$$\omega_2 = \frac{V_A}{AP} = \frac{V_B}{BP} = \frac{V_D}{DP}.$$

$AB = AP$ поскольку углы ABP и APB в треугольнике ABP равны.

$$BP = 2AB \cos(30^\circ) = 2 \cdot 1,2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 2,07846 \text{ м.}$$

Определим угловое ускорение звена 2:

$$\omega_2 = \frac{V_B}{BP} = \frac{4,8}{2,07846} = 2,309402 \text{ рад/с.}$$

Зная угловое ускорение звена 2, определим линейную скорость точки А:

$$V_A = \omega_2 l_2 = 2,309402 \cdot 1,2 = 2,7712826 \text{ м/с.}$$

$$\omega_1 = \frac{V_A}{l_1} = \frac{2,7712826}{0,4} = 6,9282 \text{ рад/с.}$$

Длину отрезка PD определим с помощью теоремы косинусов:

$$PD = \sqrt{AD^2 + AP^2 - 2AD \cdot AP \cos(120^\circ)} = \sqrt{0,6^2 + 1,2^2 - 20,6 \cdot 1,2 \cdot 0,5} = 1,587451 \text{ м.}$$

Определим скорость точки D.

$$V_D = \omega_2 \cdot PD = 2,3094 \cdot 1,5874 = 3,66606 \text{ м/с.}$$

Точка M – мгновенный центр скоростей звена DE (рис 3), следовательно

$$\omega_3 = \frac{V_D}{DM} = \frac{V_E}{EM}.$$

По теореме косинусов для треугольника ADP:

$$AP^2 = AD^2 + PD^2 - 2 \cdot AD \cdot PD \cos(\angle PDA).$$

Из данного выражения определим значение угла PDA:

$$\begin{aligned} \angle PDA &= \arccos\left(\frac{AD^2 + PD^2 - AP^2}{2 \cdot AD \cdot PD}\right) = \\ &= \arccos\left(\frac{0,6^2 + 2,52^2 - 1,2^2}{2 \cdot 0,6 \cdot 1,587451}\right) = 40,89^\circ. \end{aligned}$$

Отсюда угол MDE будет равен $40,89^\circ - 30^\circ = 10,89^\circ$,

а угол DME будет равен $180^\circ - 10,89^\circ - 30^\circ = 139,11^\circ$.

Используя теорему синусов для треугольника MDE, запишем следующее соотношение:

$$\frac{MD}{\sin(30^\circ)} = \frac{DE}{\sin(\angle DME)} = \frac{ME}{\sin(\angle MDE)}.$$

Отсюда

$$MD = \frac{DE \sin(30^\circ)}{\sin(\angle DME)} = \frac{0,5 \cdot 1,4}{\sin(139,11^\circ)} = 1,0693 \text{ м,}$$

$$\begin{aligned} ME &= \frac{DE \sin(\angle MDE)}{\sin(\angle DME)} = \frac{\sin(10,89^\circ) \cdot 1,4}{\sin(139,11^\circ)} = \\ &= 0,404048 \text{ м.} \end{aligned}$$

Вычислим скорость точки E (скорость ползуна):

$$\begin{aligned} V_E &= \omega_3 EM = \frac{EM \cdot V_D}{DM} = \\ &= \frac{0,404048 \cdot 3,666062}{1,06934} = 1,385216 \text{ м/с.} \end{aligned}$$

Вычислим угловую скорость звена 3:

$$\omega_3 = \frac{V_E}{EM} = \frac{1,385216}{0,404048} = 3,428344 \text{ рад/с.}$$

Определим полное, нормальное и касательное ускорения точки A кривошипа, используя векторное равенство

$$\bar{a}_A = \bar{a}_A^n + \bar{a}_A^\tau.$$

Нормальное ускорение точки A

$$a_A^n = \frac{V_A^2}{l_1} = \frac{2,7712826^2}{0,4} = 19,2 \text{ м/с}^2.$$

Касательное ускорение точки A:

$$a_A^\tau = \varepsilon_1 \cdot l_1 = 1 \cdot 0,4 = 0,4 \text{ м/с}^2.$$

Полное ускорение точки A:

$$\begin{aligned} a_A &= \sqrt{(a_A^n)^2 + (a_A^\tau)^2} = \sqrt{19,2^2 + 0,4^2} = \\ &= 19,20417 \text{ м/с}^2. \end{aligned}$$

Определим угловое ускорение звена АВ, используя векторное равенство:

$$\bar{a}_B = \bar{a}_A^n + \bar{a}_A^\tau + \bar{a}_{BA}^n + \bar{a}_{BA}^\tau.$$

Нормальное ускорение точки B:

$$a_B^n = \omega_4^2 l_4 = 8^2 \cdot 0,6 = 38,4 \text{ м/с}^2.$$

Нормальное ускорение точки B во вращательном движении вокруг точки A:

$$a_{BA}^n = \omega_2^2 l_2 = 2,309402^2 \cdot 1,2 = 6,4 \text{ м/с}^2.$$

Составим уравнение суммы проекций векторов ускорений на ось x:

$$\begin{aligned} a_A^n \cos(30^\circ) + a_A^\tau \cos(60^\circ) + a_{BA}^n \cos(30^\circ) + \\ + a_{BA}^\tau \cos(60^\circ) = -a_B^n. \end{aligned}$$

Отсюда определим значение касательного ускорения точки B во вращательном движении вокруг точки A:

$$\begin{aligned} a_{BA}^\tau &= \frac{-a_B^n - a_{BA}^n \cos(30^\circ) + a_A^\tau \cos(60^\circ) - a_A^n \cos(30^\circ)}{\cos(60^\circ)} = \\ &= \frac{-38,4 - 6,4 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 0,4 \cdot 0,5 - 19,2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{0,5} = \end{aligned}$$

$$= -121,54 \text{ м/с}^2.$$

Угловое ускорение шатуна АВ:

$$\varepsilon_{BA} = \frac{a_{BA}^\tau}{l_2} = \frac{121,54}{1,2} = 101,28 \text{ рад/с}^2.$$

ВЫВОДЫ

Основываясь на приведённых результатах вычислений можно сделать вывод, что аналитический метод позволяет с высокой точностью рассчитать кинематические параметры звеньев многозвенного плоского механизма второго класса; метод эффективен для предварительного анализа механизма на стадии проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Суханов, А.В.** Моделирование работы кривошипно-ползунного механизма двигателя внутреннего сгорания / А.М. Корнеев, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2018. – № 4 (38). – С. 33–39.

2. **Суханов, А.В.** Структурный и кинематический анализ плоского многозвенного механизма второго класса / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 1 (47). – С. 77–87.

3. **Суханов, А.В.** Определение ускорений точек шатуна плоского многозвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 2 (48). – С. 62–68.

4. **Суханов, А.В.** Построение планов скоростей и ускорений кривошипно-ползунного механизма при разных положениях входного звена / А.В. Суханов, Л.С. Абдуллах. – Текст : непосредственный // Инженерные технологии: химия, биология, медицина и информационные технологии в промышленности : сборник научных статей по итогам международной научной конференции. – Волгоград : Научно-производственное предприятие «Медпромдеталь», 2020. – С. 59–61.

5. **Суханов, А.В.** Структурный и кинематический анализ плоского

восьмизвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 2 (48). – С. 68–76.

6. **Суханов, А.В.** Графоаналитический метод определения ускорений точек шатуна плоского многозвенного механизма / А.В. Суханов, А.В. Суханов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 1(50). – С. 79–85.

7. **Мацюк И.Н.** Кинематика группы Ассура третьего класса в программе Mathcad / И.Н. Мацюк, Э.М. Шляхов. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов SWorld. – 2011. – Т. 2. – № 3. – С. 48–51.

8. **Доронин Ф.А.** Исследование движения плоского механизма с помощью пакета Mathcad / Ф.А. Доронин, В.С. Доев. – Текст : непосредственный // Теория механизмов и машин. – 2011. – Т.9. – № 1. – С. 77–87.

9. **Мацюк И.Н.** Исследование плоских стержневых механизмов сложной структуры методами векторной алгебры / И.Н. Мацюк, Э.М. Шляхов. – Текст : непосредственный // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т.3. – № 7(75). – С. 34–38.

10. **Мацюк И.Н.** Определение кинематических и кинетостатических параметров плоских стержневых механизмов сложной структуры / И.Н. Мацюк, Э.М. Шляхов. – Текст : непосредственный // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2013. – № 3. – С. 788–796.

Сведения об авторах:

Суханов Андрей Владимирович
старший преподаватель
кафедры общей механики
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Sukhanov Andrey Vladimirovich
senior lecturer of the Department of General
Mechanics,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya str., 30.

DOI 10.53015/23049235_2024_3_30
УДК 669.162

В.Н. ТИТОВ, И.В. КУПРИЯНОВА, Т.В. КРАВЧЕНКО

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ФУРМ С РАЗМЕРАМИ ФУРМЕННОГО ОЧАГА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: Приведены результаты оценки влияния параметров воздушных фурм на размеры фурменного очага. Отмечено, что такие параметры воздушных фурм, как их количество, диаметр, а также высов оказывают влияние на параметры фурменного очага. Причем влияние зависит от применяемой технологии вдувания топлива (только природный газ или совместно с пылеугольным топливом). В целом при изменении конструктивных характеристик воздушных фурм необходима корректировка параметров комбинированного дутья для исключения негативного влияния на работу печи и систему охлаждения.

Ключевые слова: воздушная фурма, количество фурм, фурменный очаг, эллипсоид разрыхления.

V.N. TITOV, I.V. KUPRIYANOVA, T.V. KRAVCHENKO

RELATION BETWEEN TUYERE PARAMETERS AND COMBUSTION ZONE SIZE

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The results of assessing the influence of tuyere parameters on the combustion zone size are given. It is noted that such parameters of tuyeres as their number, diameter, and height influence the combustion zone parameters, this influence depending on the fuel injection technology used (only natural gas or natural gas together with pulverized coal fuel). In general, when changing the tuyere design characteristics, it is necessary to adjust the combined blast parameters to avoid negative impact on the furnace operation and on the cooling system.

Keywords: tuyere, number of tuyeres, combustion zone, loose-packing ellipsoid.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ технической литературы показал, что публикации, посвященные фурменному очагу и параметрам фурм укрупненно можно разделить на две группы. К первой группе можно отнести публикации, посвященные процессам, происходящим в фурменном очаге [1–7], а ко второй группе работы, которые направлены на изучение параметров воздушных фурм [8–14]. Среди второй группы условно выделяются публикации, посвященные диаметру и количеству воздушных фурм [10–12], высову фурм [13, 14], а также влиянию параметров фурм

на работу доменной печи [8, 9, 13].

В целом отмечается, что параметры воздушных фурм оказывают влияние на геометрию фурменных очагов и работу доменных печей, что предопределяет необходимость поиска оптимальных их параметров как для конкретных доменных печей, так и для конкретных технологических условий, в которых ведется доменный процесс.

В рамках решаемой задачи была проведена расчетно-аналитическая оценка изменения параметров фурменного очага под воздействием изменения параметров

воздушных фурм. Оценку производили для условий работы двух доменных печей одинакового объема (полезный объем – 2 000 м³). Печи работали в схожих сырьевых условиях и выплавляли передельный чугун. Основным технологическим отличием данных доменных печей являлся вид дополнительно вдуваемого топлива. Одна доменная печь работала с вдуванием только природного газа (ПГ), на другой доменной печи применяется технология совместного вдувания двух видов топлива (пылеугольное топливо (ПУТ) и природный газ).

При оценке изменяли такие параметры воздушных фурм как диаметр, высов и количество.

Изменение параметров фурм осуществляли пошагово:

- количество фурм изменялось от 18 до 22 шт. с шагом в 2шт.;
- диаметр фурм изменялся от 130 до 160 мм с шагом в 10 мм;

- высов фурм изменялся от 0,2 до 0,5 м с шагом в 0,1 м.

В качестве оцениваемых параметров фурменного очага использовались протяженность окислительной зоны, протяженность зоны циркуляции и относительная площадь окислительных зон (отношение суммарной площади фурменных очагов к площади горна). Дополнительно проведена оценка изменения формы и положения эллипсоида разрыхления.

При проведении оценки связи между параметрами воздушных фурм и параметрами фурменного очага состав комбинированного дутья оставался неизменным.

Основные параметры комбинированного дутья для анализируемых вариантов приведены в табл. 1. Основные результаты расчета представлены в табл. 2–4.

Таблица 1

Основные параметры анализируемых доменных печей

Параметры		ДП с ПГ	ДП с ПУТ+ПГ
Производительность	т/сут	5200	5800
Расход дутья	м ³ /т	940	1030
Расход ПГ	м ³ /т	165	60
Расход ПУТ	кг/т	0	145
Расход дутья (мин)	м ³ /мин	3400	4200
Температура дутья	град	1100,0	1050,0
Давление дутья	ати	4,5	4,5
Расход ПГ (мин)	м ³ /мин	600	250
Расход ПУТ (мин)	кг/мин	0	590

Таблица 2

Параметры фурменного очага при разном количестве воздушных фурм

Параметры фурменного очага	Количество фурм, шт			
	18	20	22	24
ДП, работающая только с природным газом				
Протяженность зоны циркуляции, мм	1310	1223	1121	984
Протяженность окислительной зоны, мм	1676	1565	1435	1260
Относительная площадь окислительных зон, %	40,3	38,8	36,0	30,5
ДП, работающая с природным газом и ПУТ				
Протяженность зоны циркуляции, мм	1461	1370	1273	1212
Протяженность окислительной зоны, мм	1870	1753	1629	1552
Относительная площадь окислительных зон, %	47,1	45,3	42,9	41,6

Из табл. 2 видно, что с увеличением количества фурм происходит сокращение протяженности зоны

циркуляции и окислительной зоны, а также величины относительной площади окислительных зон.

Таблица 3

Параметры фурменного очага при разном диаметре воздушных фурм

Параметры фурменного очага	Диаметр фурм, мм			
	130	140	150	160
ДП, работающая только с природным газом				
Протяженность зоны циркуляции, мм	1393	1296	1223	1146
Протяженность окислительной зоны, мм	1783	1659	1565	1467
Относительная площадь окислительных зон, %	46,2	42,2	38,8	34,4
ДП, работающая с природным газом и ПУТ				
Протяженность зоны циркуляции, мм	1286	1212	1102	964
Протяженность окислительной зоны, мм	1646	1552	1411	1234
Относительная площадь окислительных зон, %	44,5	41,6	36,9	29,2

Данные табл. 3 показывают, что влияние увеличения диаметра воздушных

фурм на параметры фурменного очага аналогично влиянию количества фурм.

Таблица 4

Параметры фурменного очага при разном высове воздушных фурм

Параметры фурменного очага	Высов фурм, м			
	0,2	0,3	0,4	0,5
ДП, работающая только с природным газом				
Протяженность зоны циркуляции, мм	1223	1223	1223	1223
Протяженность окислительной зоны, мм	1565	1565	1565	1565
Относительная площадь окислительных зон, %	39,2	39,1	38,8	38,4
ДП, работающая с природным газом и ПУТ				
Протяженность зоны циркуляции, мм	1212	1212	1212	1212
Протяженность окислительной зоны, мм	1552	1552	1552	1552
Относительная площадь окислительных зон, %	43,0	42,3	41,6	40,9

Относительно данных, представленных в табл. 4, можно отметить, что изменение высова фурм фактически не оказывает влияния на протяженность зоны циркуляции и окислительной зоны. При этом с увеличением высова фурм происходит незначительное снижение относительной площади окислительных зон.

В табл. 5 представлена сводная информация об изменении параметров фурменного очага при изменении параметров воздушных фурм. Представленная информация поможет произвести первичную оценку изменения параметров фурменных очагов при осуществлении конструкционных изменений в отдельных элементах фурменных приборов и доменной печи.

Сводная информация об изменении параметров фурменного очага при изменении конструкций фурм при работе с вдуванием только природного газа

Изменение параметра фурм	Изменение параметра фурменного очага					
	протяженность зоны циркуляции, мм		протяженность окислительной зоны, мм		отн. площадь окислительных зон, %	
	ПГ	ПГ+ПУТ	ПГ	ПГ+ПУТ	ПГ	ПГ+ПУТ
Увеличение количества фурм на 1 шт	-54	-42	-69	-54	-1,6	-0,9
диаметра фурм на 10 мм	-81	-107	-104	-137	-3,9	-5,1
высота фурм на 0,1 м	0	0	0	0	-0,3	-0,7

На рис. 1–3 приведена информация по изменению формы и положения эллипсоида разрыхления при изменении параметров воздушных фурм (рис. 1 – количество фурм; рис. 2 – диаметр фурм; рис. 3 – высов фурм).

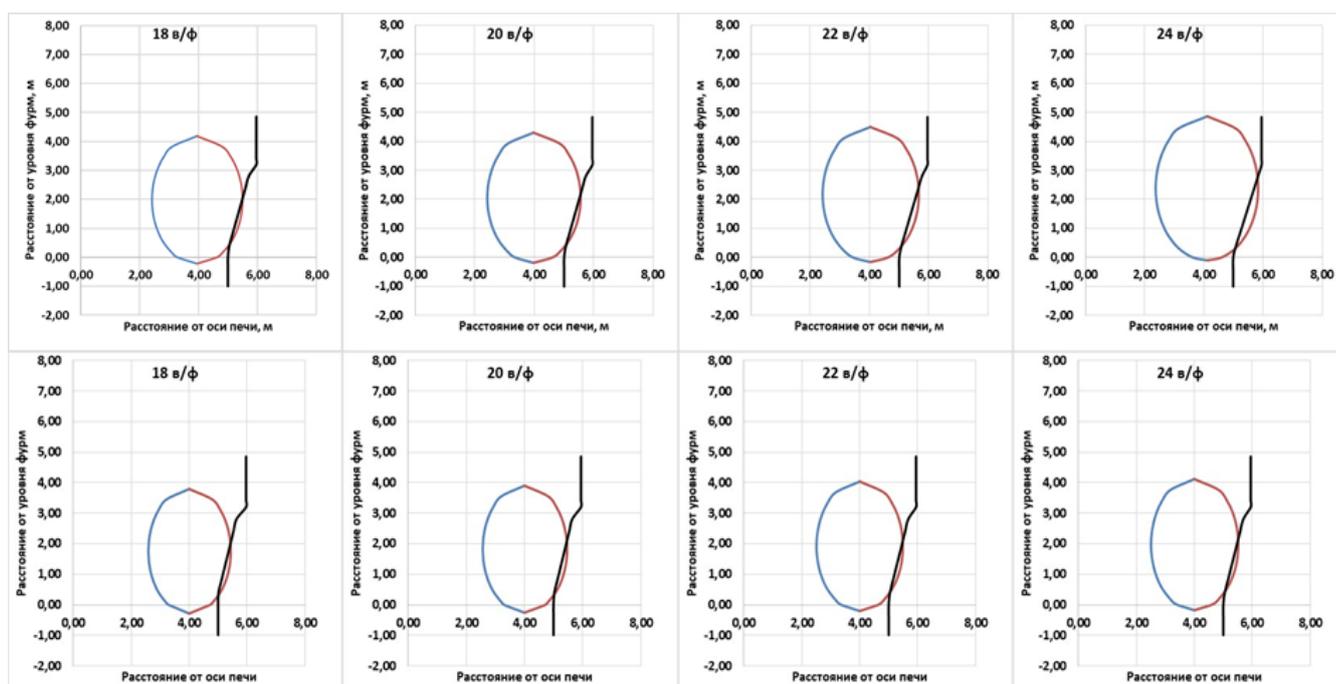


Рис. 1. Форма и положения эллипсоида разрыхления при изменении количества воздушных фурм при вдувании только природного газа (верх) и совместном вдувании природного газа и пылеугольного топлива (низ)

Из рис. 1 можно отметить, что при увеличении количества воздушных фурм наблюдается рост протяженности эллипсоида разрыхления в верх. При этом степень приближения к заплечикам при одновременном вдувании ПУТ и природного газа фактически не изменяется,

при подаче только природного газа рост количества воздушных фурм сопровождается его приближением к футеровке заплечиков, что может негативно сказаться на стойкости элементов системы охлаждения.

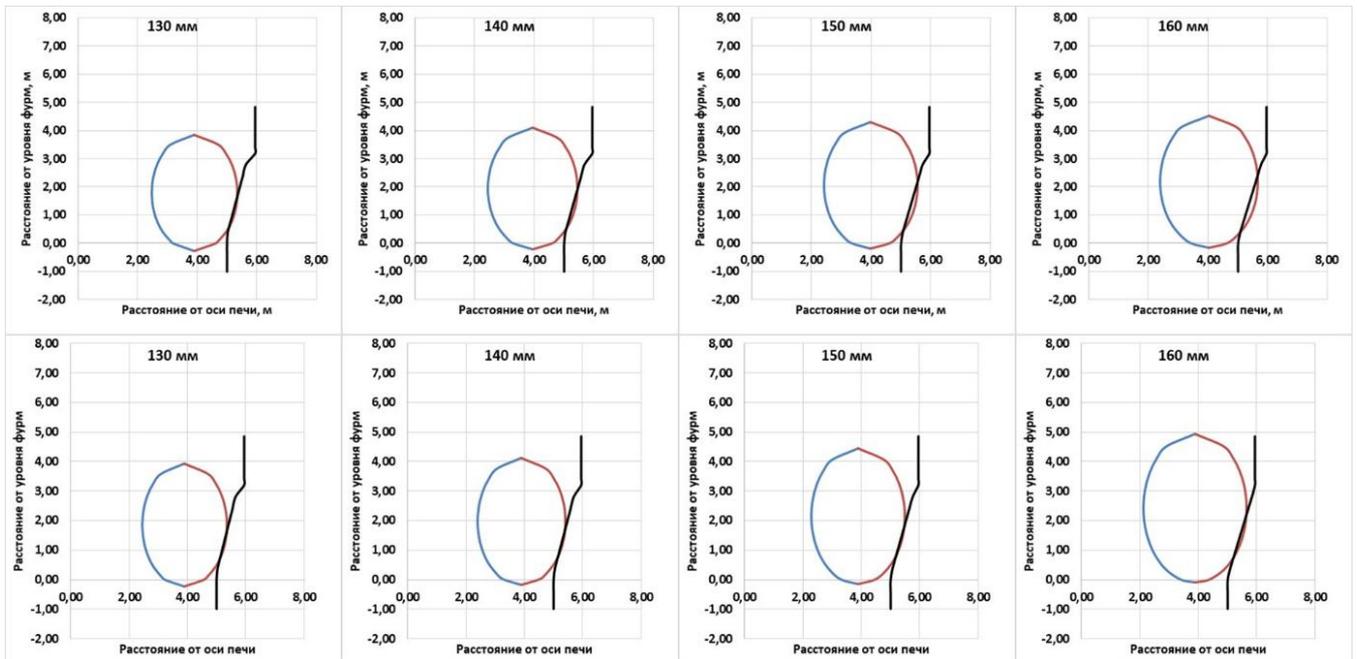


Рис. 2 . Форма и положения эллипсоида разрыхления при изменении диаметра воздушных фурм при вдувании только природного газа (верх) и совместном вдувании природного газа и пылеугольного топлива (низ)

Как показывает анализ рис. 2 увеличение диаметра фурм приводит к большей протяженности эллипсоида разрыхления вверх при одновременном приближении к заплечикам для обеих

вариантов вдувания топлива. При этом степень влияния на приближение к заплечикам выше для варианта вдувания только природного газа.

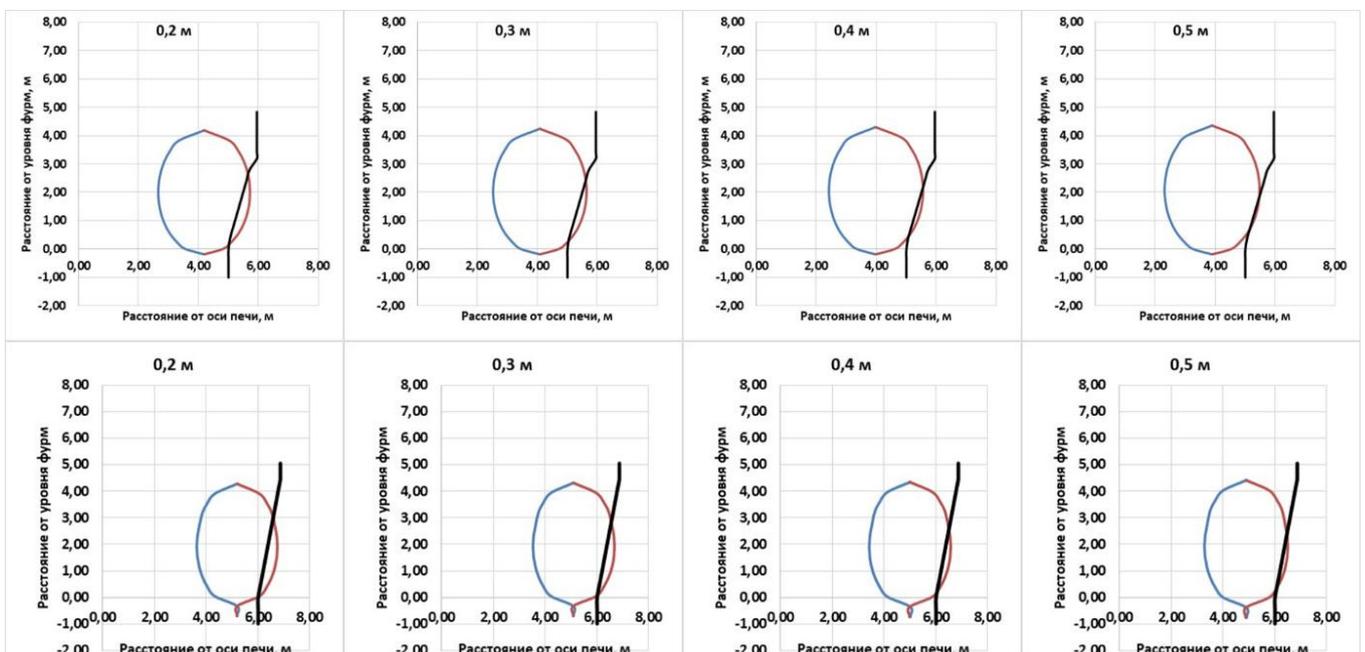


Рис. 3. Форма и положения эллипсоида разрыхления при изменении высоты воздушных фурм при вдувании только природного газа (верх) и совместном вдувании природного газа и пылеугольного топлива (низ)

При анализе рис. 3 можно отметить, что рост высоты воздушных фурм

способствует отдалению эллипсоида разрыхления от заплечиков при

фактически неизменных его размерах как при вдувании природного газа, так и при его совместной подаче с пылеугольным топливом.

По итогам произведенной оценки можно отметить, что изменение параметров воздушных фурм оказывает влияние на параметры фурменного очага. При этом степень влияния отличается в зависимости от технологии доменной плавки в части видов вдуваемого топлива.

В любом случае при изменении параметров воздушных фурм необходима корректировка дутьевого режима доменной плавки в части состава комбинированного дутья для исключения негативного влияния изменения геометрических характеристик фурменного очага на ход доменной печи и систему охлаждения.

ВЫВОДЫ

1. Проанализировано влияние параметров воздушных фурм на параметры фурменного очага. В качестве оцениваемых параметров фурменного очага использовались протяженность окислительной зоны, протяженность зоны циркуляции и относительная площадь окислительных зон (отношение суммарной площади фурменных очагов к площади горна). Дополнительно проведена оценка изменения формы и положения эллипсоида разрыхления.

2. При оценке изменяли такие параметры воздушных фурм как диаметр, высов и количество. При этом параметры комбинированного дутья оставались неизменными.

3. Оценка проведена для условий работы с использованием двух технологий вдувания дополнительного топлива

(работа только на природном газе и работа с одновременным вдуванием природного газа и пылеугольного топлива) на доменных печах одинакового объема.

4. Оценка влияния количества воздушных фурм показала, что их рост способствует снижению анализируемых параметров фурменного очага. Причем более сильное влияние (в 1,3-1,8 раза) отмечено при работе с вдуванием только природного газа.

5. Увеличение диаметра воздушных фурм оказывает аналогичное с количеством фурм влияние (снижение параметров фурменного очага) при этом более сильное (на 30 %) влияние отмечается при вдувании природного газа совместно с ПУТ.

6. Влияние высова фурм проявляется только на относительную площадь окислительных зон. На протяженность окислительной зоны и зоны циркуляции высов фурм влияния не оказывает.

7. Рост количества фурм и их диаметра способствует повышению протяженности его вверх и приближения к заплечикам, относительно влияния на форму эллипсоидов разрыхления.

8. Влияние высова фурм заключается в отдалении эллипсоида от стенок печи при его увеличении. Влияние на протяженность эллипсоида вверх фактически не отмечено.

9. При изменении параметров воздушных фурм необходима корректировка дутьевого режима доменной плавки в части состава комбинированного дутья для исключения негативного влияния изменения геометрических характеристик фурменного очага на ход доменной печи и систему охлаждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измерение температур в фурменной зоне доменной печи тепломерами полного излучения / И.А. Копырин, Ю.М. Борц, В.П. Братченко [и др.] – Текст : непосредственный // Сталь. – 1965. – № 11. – С. 977–981.

2. Лялюк, В.П. Современные проблемы технологии доменной плавки / В.П. Лялюк. – Днепропетровск : Пороги, 1999. – 164 с. – Текст : непосредственный.

3. Лялюк, В.П. Полная энергия потока дутья и горнового газа / В.П. Лялюк, Р.Д. Каменев, А.Я. Зусмановский. – Текст :

непосредственный // Сталь. – 1999. – № 6. – С. 13–18.

4. **Лялюк, В.П.** Горение топлива у фурм доменной печи / В.П. Лялюк. – Текст : непосредственный // Сталь. – 2019. – № 1. – С. 5–10.

5. **Лялюк, В.П.** Выбор режимов доменной плавки на комбинированном дутье с оценкой параметров фурменной зоны / В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский. – Текст : непосредственный // Черные металлы. – 2003. – № 11. – С. 13–16.

6. **Лялюк, В.П.** Методика расчета полной энергии горнового газа при вдувании пылеугольного топлива / В.П. Лялюк, А.К. Тараканов, Д.А. Кассим. – Текст : непосредственный // Сталь. – 2017. – № 3. – С. 2–8.

7. **Ницкевич, Е.А.** Теплоэнергетика доменного производства / Е.А. Ницкевич. – Москва : Metallurgia, 1966. – 383 с. – Текст : непосредственный.

8. **Лялюк, В.П.** Анализ работы доменной печи объемом 5000 м³ на фурмах разного диаметра с позиций полных механических энергий потоков комбинированного дутья и горнового газа / В.П. Лялюк // Черная металлургия: Бюл. НТИ. – 2020. – № 7. – С. 691–699. – Текст : непосредственный.

9. Влияние числа и диаметра воздушных фурм на работу доменных печей / С.П. Рогожников, А.В. Карташов, И.П. Манаенко [и др.]. – Текст :

непосредственный // Металлург. – 1986. – № 11. – С. 22–24.

10. **Крячко, Г.Ю.** О подходах к выбору параметров воздушных фурм доменных печей / Г.Ю. Крячко // Сталь. – 2004. – № 1. С. 10–16. – Текст : непосредственный.

11. К вопросу расчета числа и диаметра воздушных фурм доменной печи / И.М. Гриненко, О.В. Митасов, С.Л. Ярошевский [и др.]. – Текст : непосредственный // Сталь. – 1984. – № 6. – С. 14–18.

12. **Леонидов, Н.К.** О числе воздушных фурм / Н.К. Леонидов, М.Н. Леонидова. – Текст : непосредственный // Сталь. – 1967. – № 5. – С. 400–405.

13. **Крячко, Г.Ю.** Особенности воздействия на работу доменной печи фурм уменьшенного диаметра и увеличенного высова / Г.Ю. Крячко, Р.В. Авдеев. – Текст : непосредственный // Черная металлургия: Бюл. НТИ. – 2005. – № 7. – С. 31–35.

14. Регулирование хода доменной печи изменением высова воздушных фурм в горн / В.Г. Дружков, И.Е. Прохоров, А.В. Иванов, И.В. Макарова // ТИТМП. 2011. № 11.

URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-hoda-domennoy-pechi-izmeneniem-vysova-vozdushnyh-furm-v-gorn> (дата обращения: 12.04.2024). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Титов Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

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

Куприянова Ирина Вячеславовна

старший преподаватель кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

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

Information about the authors:

Titov Vladimir Nikolaevich

Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

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

Kupriyanova Irina Vyacheslavovna

Senior lecturer of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

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

Кравченко Татьяна Викторовна
старший преподаватель кафедры
металлургических технологий,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Kravchenko Tatiana Viktorovna
Senior lecturer of the Department of
Metallurgical Technologies,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.
e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

DOI 10.53015/23049235_2024_2_37
УДК 669.184

А.А. ШИПЕЛЬНИКОВ, Н.А. БОБЫЛЕВА, С.А. ТОЛМАЧЕВ

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЛОМОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматривается проблематика состояния и развития отечественного ломозаготовительного производства, ориентированного на бесперебойное снабжение высокопроизводительных конвертерных цехов стальным ломом в условиях работы крупных металлургических предприятий. Представлен аналитический обзор перспектив развития ломозаготовки в мировой металлургии. Основной акцент сделан на особенности применения различного рода методов подготовки лома и отходов черных металлов к конвертерной плавке и требования к технологическому оборудованию копровых цехов. Представлены данные по структуре оборотного и покупного стального лома, показана необходимость применения шредерной установки для условий работы Копрового цеха ПАО «НЛМК».

Ключевые слова: стальной лом и отходы черных металлов, оборудование, ломозаготовительное производство, состояние и развитие, сталь, конвертер.

A.A. SHIPELNIKOV, N.A. BOBYLEVA, S.A. TOLMACHEV

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT OF DOMESTIC SCRAP METAL COLLECTION

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article considers the problems of the current state and development of domestic scrap metal collection focused on uninterrupted supply of high-productive BOF shops with steel scrap at large metallurgical enterprises. An analytical review of the scrap metal collection development prospects in world metallurgy is presented. The main emphasis is made on the peculiarities of applying various methods of preparing ferrous scrap and wastes for BOF smelting and on the requirements for BOF shop technological equipment. Data on the structure of recycled and purchased steel scrap are presented, and the necessity of using a shredding plant in NLMK's scrap shop is shown.

Keywords: steel scrap and ferrous waste, equipment, scrap metal collection, current status and development, steel, BOF.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день сталь остается одним из наиболее используемых материалов с высокой степенью переработки, который можно повторно использовать без потери основных свойств. Сегодня около 90 % стальных изделий по истечении срока службы извлекается и перерабатывается для производства новой стали. Теоретически всю новую сталь можно было бы производить из переработанной стали, поскольку ее свойства остаются неизменными в процессе переработки. Однако в настоящее время это невозможно из-за нехватки качественного лома. Спрос на лом черных металлов будет продолжать расти во всем мире на фоне растущего внимания к материалу как ключевому сырью в процессе производства стали с низким уровнем выбросов углерода.

Для производства стали с низким уровнем выбросов углерода сталелитейные заводы по всему миру приобретают установки для переработки лома в рамках стратегии обеспечения доступа к сырью, поскольку спрос продолжает расти на фоне стремления к обезуглероживанию. Особую роль в металлургическом производстве все чаще играют современные технологии переработки металлолома.

Отрасль по заготовке, переработке и поставке металлолома, организованная в 1922 году, начала развиваться по сути дела с нулевой отметки, в основном за счет собственных сил и средств, а также инициативы ее специалистов.

В самом начале производственные площади не имели никаких подъемно-транспортных средств, все погрузочно-разгрузочные работы выполнялись, как правило, вручную, широко использовался для транспортировки заготовленного лома гужевой транспорт, отгрузка металлолома осуществлялась по железной дороге, при этом загрузка вагонов производилась ручным способом.

Важнейшую роль в развитии подотрасли сыграл созданный в 1962 году в г. Липецке научно-исследовательский и проектный институт «ВНИПИвторчермет». В составе института работали лаборатории: ресурсов металлолома, металлофонда,

технологическая, по переработке легированного металлолома, экономическая, оборудования и механизации, металлургическая, труда и нормативов и полный комплект отделов по проектированию предприятий, в том числе группа изыскателей.

Впервые предприятия подотрасли от института получили всю нормативную базу по своему роду деятельности. Были разработаны: государственный стандарт и технические условия на лом и отходы черных металлов, технологические инструкции, принципиальные технологические решения участков, цехов по заготовке и переработке металлолома.

Лаборатория ресурсов разрабатывала балансы лomoобразования по стране и регионам, балансы потребности металлолома для металлургической плавки по конкретным потребителям. Все это позволило с достаточной достоверностью планировать размещение мощностей по заготовке и переработке металлолома.

Институтом выполнены десятки научно-исследовательских работ, которые легли в основу разработки новых технологических процессов, технических условий по изготовлению лomoперерабатывающего оборудования, систем АСУ и других.

К началу семидесятых годов в стране практически были созданы мощности по заготовке металлолома, но база по переработке лома не отвечала требованиям времени. Значительная часть активных фондов требовала замены, требовалось повышение культуры ремонтов и эксплуатации оборудования, возникла необходимость решения проблем по организации заготовки и переработки лома во вновь осваиваемых районах Сибири, Востока, утилизации объектов флота, в некоторых регионах страны мощности по переработке металлолома были недостаточны для подготовки к плавке всех объемов заготавливаемого металлолома. Например, в Тюменской области мощности по механизированной переработке составляли до 30 тысяч тонн в год, а ресурсы металлолома в связи с расширением деятельности нефтегазового

комплекса многократно превышали возможности переработки [1].

В настоящее время особенно актуален вопрос эффективности использования материальных ресурсов с последующим снижением их потребления. Именно к такой мысли в настоящее время приходят индустриально-цивилизированные страны, в особенности, те, которые располагают обширными запасами ресурсов, чтобы снизить их потребление. Выходит, что гораздо дешевле перерабатывать использованные ресурсы, чем постоянно добывать новые.

В металлургии решение ресурсных проблем заключается в повышении использования лома (вторичного металла) и отходов производства, так как 1,8 тонны руды, окатышей и агломерата, 45 кг флюсов, 0,5 тонны кокса и около 100 куб. м газа – все это позволяет сэкономить лишь одна тонна подготовленного металлолома. Кроме того, сокращается использование энергии (вплоть до половины), которая идет на цикл переработки руды и частично решаются вопросы экологии [2].

ПРОБЛЕМАТИКА СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ ЛОМОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сегодня в России объективно существуют все предпосылки для начала активной программы по увеличению переработки вторичных металлопродуктов и конкурентоспособному выходу на мировой рынок. Отрасль ломопереработки сохраняет свою основную цель – решить вопрос продуктивного использования ресурсного потенциала. Актуальность данной работы предопределена малой изученностью целого комплекса управленческих, организационных и экономических проблем в сфере переработки отходов производства и лома черных металлов.

Существует проблема, связанная с накоплением заготовки лома и его переработки на больших предприятиях отрасли и привлечением средств Фонда поддержки малого предпринимательства для их технического перевооружения. Причины, по которым появляются повышенные риски в обеспечении ломом металлургической отрасли:

1) неравномерность сбора и образования лома в разных регионах России;

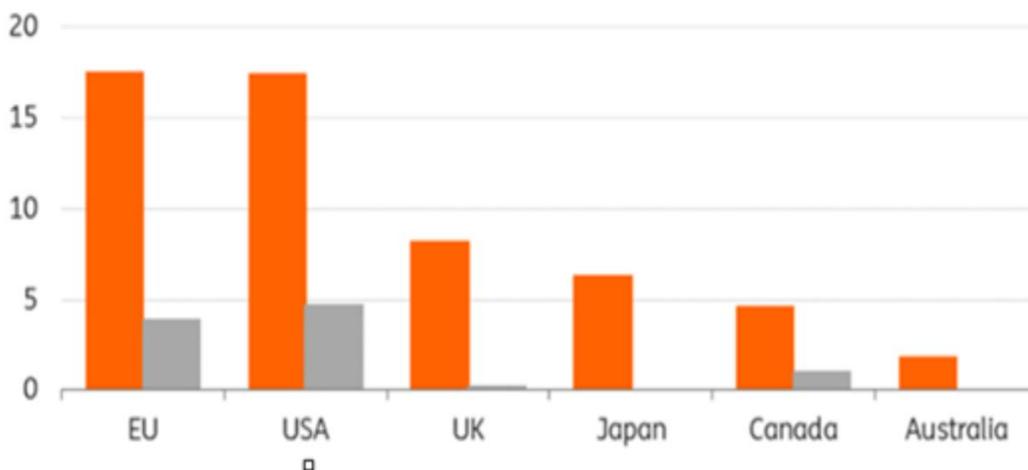
2) существенная волатильность заготовки лома от планового ремонта оборудования;

3) нестабильность прочих ценовых и рыночных факторов.

Если произойдет спад или полное отсутствие стимулирования обновления главных фондов в машиностроительной отрасли, вполне можно предсказать возникновение нехватки лома уже до 2025 года, что оставит негативный след на конкурентоспособности отечественной металлопромышленности.

Черный металлолом – стратегический ресурс в производстве стали. Одной из самых важнейших проблем для развития российской металлургии, и, в целом, для экономики России на данный момент является рациональное и эффективное использование текущих ресурсов металлолома [3, 4].

Благодаря переработке вторичного сырья появится возможность сократить и без того колоссальный вред окружающей среде от техногенной нагрузки, уменьшить потребление невозобновляемых природных ресурсов. Получение тех же продуктов с использованием переработанных отходов требует минимальные расходы энергии (для черного металла – 1:3) [5]. Таким образом, можно сделать вывод, что развитие ломооперерабатывающей отрасли является чрезвычайно актуальной задачей как для внешнего, так и для внутреннего рынков. На крупных металлургических предприятиях, таких как ПАО НЛМК, эта проблема решается наличием Копрового цеха, который, имея два участка, готовит металлический скрап для конвертерных цехов КЦ-1 и КЦ-2. Средний срок службы стальных изделий может варьироваться: от нескольких недель для стальной упаковки до 100 лет для зданий и инфраструктуры. Только по мере того, как все больше стальных изделий устаревает, мир может производить больше переработанной стали, рис. 1 [6].



Официальная статистика экспорта и импорта стального лома

Рис. 1. Основные экспортеры стального лома в 2023 г (млн. тонн)

Основной потенциал ресурсов лома находится в азиатских странах. В ЕС, Северной Америке и Японии ресурсы лома не демонстрируют значительного роста, в то время как спрос продолжит расти. Вот почему тенденция введения ограничений на экспорт стального лома набирает обороты во всем мире.

Стальной лом занимает важное место в процессе декарбонизации, направленном на создание экономики замкнутого цикла. В прошлом году доля переработанной стали, используемой при производстве сырой стали, увеличилась до 22 % в Китае, 58 % в ЕС, 70 % в США и приблизилась к 37 % в Японии, рис. 2 [6].

ЕС является крупнейшим экспортером лома в мире, рис. 3. В прошлом году блок сохранил свои позиции, несмотря на снижение объемов отгрузки на 9,4 % в годовом исчислении до 17,596 млн. тонн; по данным BIR, основным покупателем была Турция (-18,9 % до 10,563 млн. тонн). Ограничения в Европе, вероятно, будут иметь значительные последствия для мирового рынка лома. В настоящее время 25 % экспорта лома из ЕС направляется в страны, не входящие в ОЭСР, и эти объемы экспорта, вероятно, сократятся из-за регулирования [6].

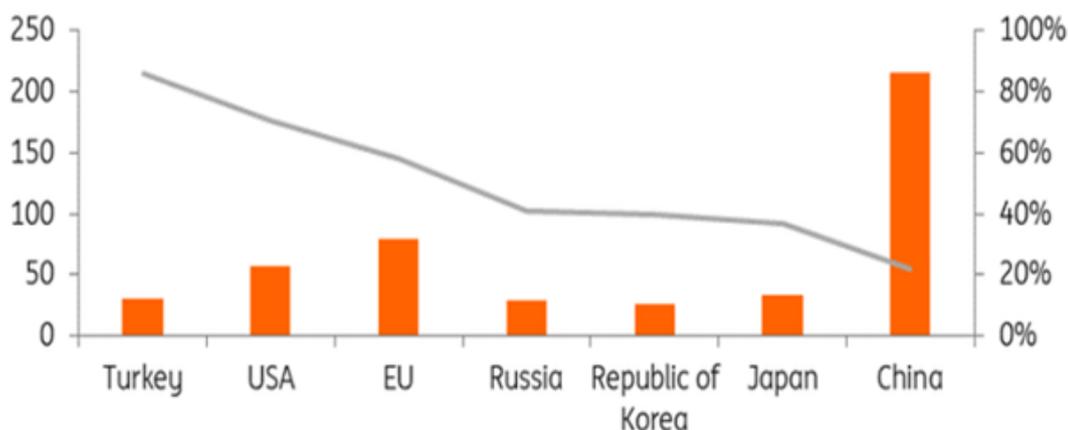


Рис. 2. Использование стального лома в производстве сырой стали в 2023 году



Рис. 3. Основные потоки экспорта стального лома из ЕС в 2023 году (млн. тонн)

В ЕС Европейский парламент одобрил предложение о пересмотре Правил перевозки отходов (WSR) ранее в этом году. Согласно поправкам к WSR, начиная с 2025 года экспорт безопасных отходов для вторичной переработки – в частности, лома черных и цветных металлов – в страны, не входящие в ОЭСР, будет разрешен только в том случае, если эти страны подадут заявку на получение согласия и продемонстрируют свою способность эффективно управлять отходами. Европейская комиссия также будет тщательно контролировать экспорт отходов в страны-члены ОЭСР. В результате ЕС может превратиться из нетто-экспортера лома в нетто-импортера лома всего за пять лет, как показывают данные Международной ассоциации производителей и экспортеров арматуры (IREPAS) [6].

МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛОМОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В РФ для переработки лома в сталеплавильных и сталелитейных цехах стальной и чугунный лом и отходы должны соответствовать требованиям ГОСТ 2787 «Металлы черные вторичные» и дополнительным соглашениям к договорам на поставку. Металлизированные окатыши должны соответствовать требованиям

технических условий ТУ 14-1-5347-97. Каждую партию окатышей сопровождают сертификатом. Брикеты железной руды (ГБЖ) должны соответствовать требованиям технических условий ТУ 0726-003-00186803. Лом шредерованный («шрот») должен соответствовать требованиям технических условий ТУ 078100-007-45413739. Лом и отходы углеродистых марок стали, поступающие из цехов комбината, не должны смешиваться с легированным и цветным ломом и отходами. Каждую партию легированного лома и отходов сопровождают документом с указанием марки стали или группы легированного лома [7, 8].

Качество углеродистого стального лома определяется следующими основными параметрами – металлургической ценностью, замусоренностью, величиной содержания загрязняющих элементов и насыпной плотностью. Металлургической ценностью металлолома называется степень его эквивалентности заменяемому им первичному сырью (передельному чугуну и др.), т.е. способность металлолома превращаться под воздействием труда в продукт металлургического производства. Замусоренность лома характеризуется содержанием железа в ломе и оказывает влияние на технико-экономические и экологические аспекты выплавки стали.

Величина содержания остаточных загрязняющих элементов (в первую очередь таких, как медь, хром, никель, олово, молибден, цинк) определяет возможность выполнения требований к химическому составу готовой стали. Насыпная плотность (разделение на легкий, средний и тяжелый лом) и максимальные размеры кусков стального лома (мелкий с длиной кусков до 100 мм, средний – от 100 до 400 мм и крупный до 1000 мм) оказывает непосредственное влияние на количество подвалок шихты и другие технико-экономические показатели плавки.

Металлические отходы сталеплавильных цехов (обрезь слябов) и прокатных цехов (обрезь кромки, забракованные рулоны, обрезь начала и конца полосы) должны иметь в сопроводительном документе указание об их происхождении и категории. Металлоотходы от забракованного по химическому составу металла сопровождают результатом химического анализа по забракованному элементу. Смешивание металлических отходов с амортизационным металлическим ломом в одном полувагоне запрещается. Кроме того, металлический лом и отходы сталеплавильных и прокатных цехов должны иметь определенную массу куска, так например, для условий переработки в КЦ-1 и КЦ-2 ПАО «НЛМК» эти требования заключаются в следующем:

- 1) скрап – не более 30 т;
- 2) массивы из аварийных емкостей, чугуновозных, сталеразливочных и промежуточных ковшей, а также амортизационный лом – 75 т;
- 3) недокат, бунты, рулоны – не более 10 т.

Массу куска рассчитывают как произведение плотности ($7,0-7,5 \text{ т/м}^3$) на его объем, который определяют исходя из линейных размеров. Металлический лом и отходы должны быть погружены на предварительно очищенные платформы или в полувагоны в положение, удобное для крановой выгрузки. При этом скрап со шлакового двора в виде доньшек шлаковых чаш должен быть погружен сферической частью вниз. Передельный чугун для сталеплавильного производства

должен соответствовать требованиям внутренней нормативной документации, ГОСТ 805 и поставляется в виде чушек марок П1, П2, ПЛ1, ПЛ2 категорий 1, 2, 3, 4, 5. Стальной скрап переработки ЦПМШ должен соответствовать требованиям ТУ 14-106-758 с размерами кусков от 0,3 до 1,5 м, а скрап чугунный должен соответствовать требованиям ТУ 14-104-764 [7, 8].

Складирование металлического лома по сортам в закрома технологических отделений и на площадки временного хранения производят исходя из производственной необходимости для бесперебойного обеспечения КЦ-1, 2 металлическим ломом, при этом максимальная высота штабеля должна быть более чем на 2 м ниже верхнего положения грузозахватного органа крана. При обнаружении в процессе выгрузки следующих видов лома:

- немагнитный (легированный) металлический лом,
- лом цветных металлов,
- лом черных металлов, содержащий цветные металлы и сплавы,

производят его сортировку и отделение от чёрного лома на площадках огневой резки. По мере накопления его отгружают на технологический участок по сбору, переработке и отгрузке легированного и цветного лома. На технологическом участке по сбору, переработке и отгрузке легированного и цветного лома при необходимости лом перерабатывают при помощи газовой резки на габаритные куски, сортируют в соответствии с ГОСТ 2787 и ГОСТ 1639 и складировать для дальнейшей реализации. Отсортированный сернистый лом, а также луженый и покрытый другими цветными металлами лом складировать отдельно для дальнейшей реализации.

В условиях ломозаготовительного производства, и в частности Копрового цеха, существует несколько технологических методов подготовки стального лома и отходов к выплавке стали, такие как газовая резка, копровое дробление, взрывное дробление, пакетирование, резка. Далее некоторые из

видов подготовки представлены более подробно.

Газовая резка негабаритного металлического лома и отходов. Негабаритный металлический лом, в том числе стальной скрап, раскладывают на площадках газовой резки в один слой и разделяют на куски установленного размера, при этом стальной скрап разделяют на куски массой не более 2 т, при этом массу куска определяют визуально по габаритным размерам. Лом цветных металлов, находящийся в составе

узлов агрегатов (электродвигатели, calorиферы и т. п.) отделяют и отгружают на технологический участок по сбору, переработке и отгрузке легированного и цветного лома.

Пакетирование металлического лома на пакетировочных прессах.

Пакетирование металлического лома производят на пакетировочных прессах, например, в условиях Копрового цеха НЛМК используется пресс марки «Б 1642» (рис. 4).



Рис. 4. Легковесный лом в загрузочном коробе пакетировочного пресса

Завалку металлического лома в загрузочный короб пресса производят полипом и/или шайбой. Пакеты формируют из стального легковесного лома (видов 11А и 12А), проволоки и изделий из нее, вьюнообразной стальной стружки, металлоконструкций, имеющих толщину не более 6 мм. Количество стружки должно составлять не более 20 % от вместимости загрузочного короба. Линейные размеры отдельных кусков легковесного лома не должны превышать внутренних размеров загрузочного короба. Не допускается попадание в загрузочный короб толстостенных изделий толщиной более 6 мм. Не допускается наличие выступающих частей металлического лома между

крышкой пресса и боковиной, а также между крышкой и загрузочным коробом во избежание заклинивания крышки и деформации оси короба. При изготовлении пакетов запрещается запрессовка в них неметаллических предметов, а также полых предметов (сосуды, трубы и т.п.), содержащих масло, воду или лед.

Копровое дробление металлического лома. Стальной и чугунный скрап раскладывают на стальной плите (шаботе) в бойном зале и падающим грузом дробят на куски массой не более 2 т (массу куска определяют визуально по габаритным размерам), а затем грузят в совки магнитной шайбой (рис. 5).

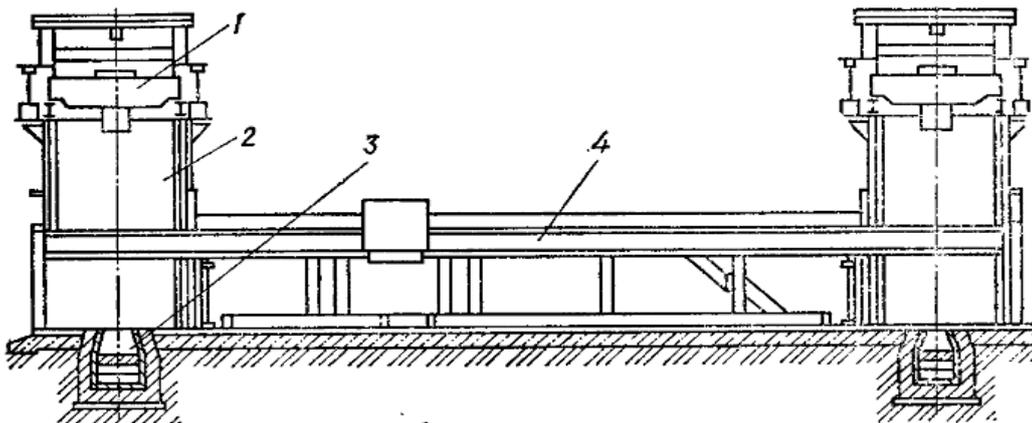


Рис. 5. Эстакадный копер

1 – кран с захватом «бабы»; 2 – зал; 3 – шабот; 4 – крановая эстакада

Регистрацию результатов копрового дробления металлического лома производят в «Журнале приемки и сдачи смен на участке копрового и взрывного дробления».

Взрывное дробление металлического лома. Этим способом взрывного дробления перерабатывают стальные и чугунные массивы, прокатные валки и ролики УНРС на куски массой более 2 т (массу куска определяют визуально по габаритным размерам).

При взрывном дроблении применяют следующие взрывчатые вещества: аммонит

6 ЖВ-патронированный, электродетонаторы ЭД-З-Т, детонирующий шнур (рис. 6). В стальных и чугунных массивах прожигают отверстия (шпуры) для закладывания взрывчатого вещества. Глубина шпуров должна быть от 2/3 до 3/4 толщины взрываемого массива, диаметр отверстия от 60 до 100 мм. Количество шпуров и линию их расположения определяют в зависимости от величины массива и с учетом получения куска массой не более 2 т.



Рис. 6. Броняма копрового цеха после взрывного дробления

Металлический массив помещают в броняму, затем производят зарядку шпуров взрывчатым веществом. После накрытия бронямы крышкой производят взрыв. Следующий цикл взрывания производят после проветривания бронямы и проверки наличия не взорвавшихся

зарядов, но не ранее, чем через 15 минут после взрыва.

Переработка металлического лома на пресс-ножницах. Пакетирование и резку металлического лома производят на пресс-ножницах «CNS 1100-100-CV2» (рис. 7). Завалку металлического лома в

загрузочный короб пресс-ножниц производят полипом и/или шайбой. Для переработки применяют стальной легковесный лом (видов 11А и 12А), проволоку и изделия из нее,

металлоконструкции, имеющие толщину не более 6 мм, вьюнообразную стальную стружку. Линейные размеры отдельных кусков не должны выходить за пределы внутренних размеров загрузочного короба.



Рис. 7. Гидравлические пресс-ножницы

Не допускается загружать металлический лом, содержащий закрытые сосуды или открытые недостаточно, то есть с отверстиями более 100 мм. Переработанный металлический лом и отходы, предназначенные для использования в качестве металлической шихты в конвертерных цехах, подразделяют на 1 и 2 сорт и лом специального назначения:

а) 1 сорт – обрезь слябов и стальной скрап конвертерных цехов, металлические отходы прокатных цехов (обрезь кромки, забракованные рулоны, недокат) за исключением трансформаторной стали, стальные листовые отходы с автозаводов;

б) 2 сорт – рельсы, металлоконструкции, лом сельскохозяйственных машин, автомобилей, железнодорожных вагонов без силовых агрегатов и деталей привода и другие изделия из углеродистой стали, пакеты собственного производства и пакеты из чистых легковесных стальных отходов, листовый и сортовой прокат, стальные канаты и проволока;

в) лом специального назначения: чугунный скрап, разделанные прокатные валки и ролики УНРС, скрап ЦПМШ, изделия из низколегированной стали

(шестерни, коленвалы, подшипники, детали буровых установок, разделанные прокатные валки и ролики УНРС и т. д.), отходы трансформаторной стали, отходы низкокремнистых и/или низкофосфористых марок стали, лом шредерованный (шрот), металлизированные окатыши, брикеты железной руды и твердый чушковый чугун (1, 2 и 3 сортов).

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛОМОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Структура оборотного и покупного лома ПАО «НЛМК» представлена на диаграммах рис. 8 и 9. Металлическая шихта, отгружаемая в конвертерные цехи, не должна содержать неметаллические материалы (шлак, бой огнеупоров, мусор, грунт и др.), стружку (кроме пакетированной), цветные металлы, окалину, взрывоопасные и вредные примеси (взрывчатые вещества, закрытые сосуды, пакеты со льдом, маслом), сернистый лом (трубчатые конструкции теплообменников, дымогарные котлы, сосуды, содержащие остатки химических продуктов, обрезиненные изделия),

немагнитный (легированный) лом, электродвигатели.

Следует отметить, что последние 10-15 лет требования к качеству лома черных металлов для сталеплавильного производства постоянно повышается. Насыпная плотность должна обеспечивать

функциональную эффективную работу печей, металлолом не должен содержать взрывоопасных предметов, токопроводящей шихты, вредных примесей, а также луженый лом и пакеты с его наличием.

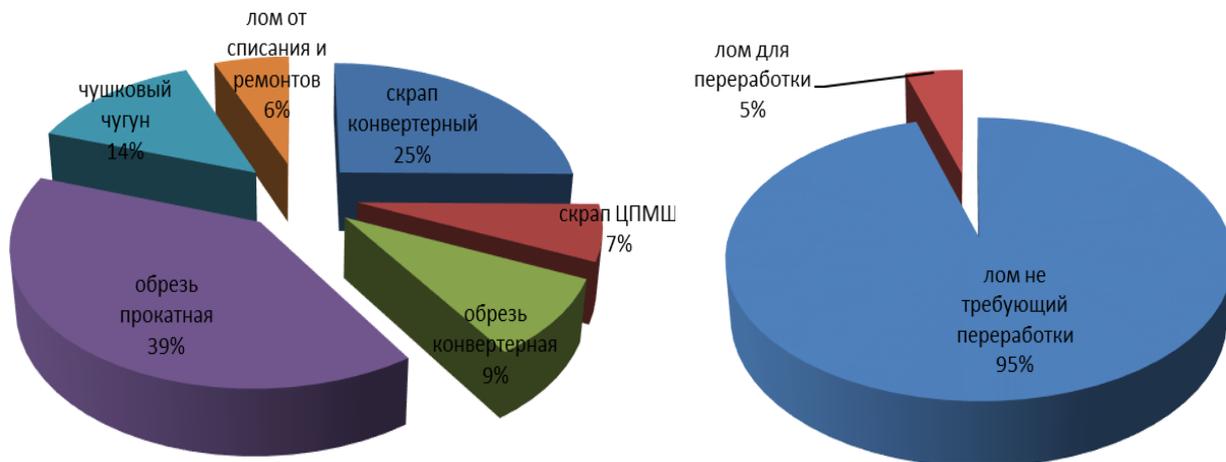


Рис. 8. Структура лома: слева – внутреннего (оборотного), справа – покупного

Среди направлений совершенствования процесса ломозаготовки с использованием сырьевой базы ЦФО РФ можно рассматривать шредерные установки стационарного или мобильного назначения. Для переработки тонколистового металла (например,

б/у автомобилей, бытовой техники и прочего) целесообразно иметь в составе Копрового цеха шредеры для металлолома, например марки ZB-GROUP, моделей FRZB 1580 – 2980, производительностью 15 – 120 т/ч или его мобильных версий, рис. 9.



Рис. 9. Шредер марки ZB-GROUP модели FRZB

Шредерный лом является самым благоприятным сырьем для сталеплавильного производства. Шредерные машины кардинально решают проблемы подготовки металлического лома, автоматизируя и механическое измельчение материала, и последующую

сортировку на составляющие – цветной и черный металлы, резину, пластик, стекло и др., устраняя множество предварительных операций, таких как резка, сортировка металла от прочих материалов, прессование [9].

ВЫВОДЫ

По оценке «Руслом.ком», объёмы заготовки и потребления лома начнут расти уже в следующем году, однако полное восстановление отрасли возможно только к 2030 году. В 2023 году заготовка лома составила 19,8 млн. тонн, потребление – 18,6 млн. тонн. На динамику будет влиять ряд факторов: принятие законодательных инициатив, направленных на поддержку и развитие отрасли; отмена или сохранение ограничительных мер, экономическая ситуация в мире.

Можно предположить, что ломозаготовительная отрасль в России будет динамично развиваться не только в связи с планируемым ростом выпуска продукции чёрной и цветной металлургии, но и благодаря приверженности страны концепции устойчивого развития и глобальной ESG-повестке. В средне- и долгосрочной перспективе металлопродукция из лома чёрных и цветных металлов на глобальных рынках будет иметь приоритет перед металлопродукцией, произведённой из

полезных ископаемых. Между тем темпы развития отрасли будут зависеть от того, насколько эффективно российские металлурги смогут перестроить производственно-логистические процессы и выработать новые подходы к развитию рынка ломосбора и ломопереработки.

В целях повышения металлургической ценности металлолома и, как следствие, увеличения рентабельности сталеплавильного производства качество лома черных металлов необходимо постоянно повышать. Насыпная плотность должна обеспечивать функционально эффективную работу печей, металлолом не должен содержать взрывоопасных предметов, токонепроводящей шихты, вредных примесей. В целях выполнения современных требований к качеству металлической шихты целесообразно предусмотреть в планах технического перевооружения Копрового цеха закупку высокопроизводительных шредеров, например марки ZB-GROUP, моделей FRZB 1580–2980, производительностью 15–120 т/ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Маточкин, В.А.** Вторчермет: история созидания. – Текст : электронный. – В.А. Маточкин // Отраслевой портал «Отходы.Ру». 2003-2024. – URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=433> (дата обращения 20.08.2024).

2. **Бродов, А.** Анализ образования ресурсов лома и отходов черных металлов, их использования в Российской Федерации / А. Бродов, М. Сорокина. – Текст : непосредственный // Научный отчет Института экономики ФПП «ЦНИИЧЕРМЕТ им И.П. Бардина». – Москва, 2019.

3. **Стаханов, Д.В.** Управление логистическим обеспечением процесса товародвижения / Д.В. Стаханов. – Москва: Издательство «Перо», 2020. – 134 с. – Текст : непосредственный.

4. **Стаханов, Д.В.** Состояние и перспективы развития

ломоперерабатывающей отрасли РФ / Д.В. Стаханов, С.С. Федорцова. – Текст : непосредственный // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. – 2021. – № 2. – С. 70–74.

5. **Воронцова, О.В.** Глобальные цепочки стоимости: окно возможностей для России / О.В. Воронцова, С.С. Федорцова, Г.А. Ряполова. – Москва: Финансы и статистика, 2018. – Текст : непосредственный.

6. Manthey, E. Why ferrous scrap is emerging as a key strategic raw material / E. Manthey. – Text : immediate // ING THINK. – 2023. 16 November. URL: <https://think.ing.com/articles/why-is-ferrous-scrap-a-strategic-raw-material> / (дата обращения 21.08.2024).

7. **ТИ 05757665-КЦ- 01-2014** Приёмка металлолома, распределение по отделениям, переработка его и отгрузка в конвертерные цехи. – Введ. с 21.04.2014 –

Липецк : ПАО «НЛМК», 2014. – Текст : непосредственный.

8. **ГОСТ 2787–75.** Металлы черные вторичные. Общие технические условия = Ferrous secondary metals. General specifications : Государственный стандарт союза ССР : издание официальное : утвержден Постановлением Госстандарта СССР от 26.12.1975 № 4035. – введен с 1.01.1977. – Москва : Изд-во

Сведения об авторах:

Шипельников Алексей Александрович
кандидат технических наук, доцент
кафедры металлургических технологий,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

ashipelnikov@yandex.ru

Бобылева Наталия Александровна
учебный мастер кафедры
металлургических технологий,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

bobyleva.n.a@yandex.ru

Толмачев Семен Александрович
магистрант кафедры металлургических
технологий,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

стандартов, 1977. – Текст :
непосредственный.

9. Оборудование для переработки черного
и цветного лома. – Текст : электронный // Лидер. 2020. –

URL: [https://liderpress.ru/shredery-dlya-](https://liderpress.ru/shredery-dlya-metalloloma-1?ysclid=m15hlm5pby210048424)
[metalloloma-](https://liderpress.ru/shredery-dlya-metalloloma-1?ysclid=m15hlm5pby210048424)

[1?ysclid=m15hlm5pby210048424](https://liderpress.ru/shredery-dlya-metalloloma-1?ysclid=m15hlm5pby210048424) (дата
обращения 20.08.2024).

Information about the authors:

Shipelnikov Alexey Alexandrovich
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Metallurgical
Technologies,

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

Bobyleva Natalia Alexandrovna
Training Master of The Department
of Metallurgical Technologies,
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

Tolmachev Semyon Alexandrovich
Master's student at the Department
of Metallurgical Technologies,
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

А.Ю. КРИВЦОВ, В.Н. ТИТОВ

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БЛОКА ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В работе рассмотрен способ повышения температуры доменного дутья за счет изменения режимов работы доменных воздухонагревателей. На основе математической модели регенеративного теплообмена определены оптимальные режимы (последовательный и смешанный) работы для блока, состоящего из трех доменных воздухонагревателей. Отмечено, что последующее повышение температуры дутья возможно за счет увеличения времени нагрева при сокращении длительности перекидки клапанов, либо за счет повышения расхода отопительного газа при сокращении длительности всего цикла работы доменных воздухонагревателей.

Ключевые слова: доменный воздухонагреватель, температура дутья, цикл работы, отопительный газ, промышленный регенератор.

A.Y. KRIVTSOV, V.N. TITOV

ANALYSIS OF THE HOT-BLAST STOVE UNIT OPERATION EFFICIENCY

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper considers a method for increasing the blast temperature by changing the operating modes of hot-blast stoves. A mathematical model of regenerative heat exchange is used to determine the optimal operating modes (sequential and mixed) for a unit consisting of three hot-blast stoves. It is noted that the blast temperature can further be increased by increasing the heating time while reducing the reversal time or by increasing the heating gas consumption while reducing the duration of the hot-blast stove operating cycle.

Keywords: hot-blast stove, blast temperature, operating cycle, heating gas, regenerator.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение температуры дутья имеет большое значение для доменного производства, в связи с тем, что никакое другое мероприятие за всё время существования доменных печей не приводило к такому резкому снижению удельного расхода кокса и повышению производительности доменной печи. Проблема повышения температуры дутья остается актуальной и в настоящее время.

Одним из путей решения данной проблемы является реализация наиболее рациональных режимов эксплуатации доменных воздухонагревателей.

В ряде работ методика оптимизации режима функционирования воздухонагревателей применялась к блокам, включающим различные по мощности воздухонагреватели [1–7]. Однако практический интерес также представляет поиск возможности оптимизации режима работы блока, состоящего из трех одинаковых воздухонагревателей.

Как правило, при оптимизации режимов воздухонагревателей в качестве критерия оптимизации принимают среднюю или минимальную температуру нагрева дутья за полный цикл работы аппаратов блока.

Однако этот выбор не всегда однозначен. Например, при работе без смесителя, что наиболее выгодно с теплотехнической точки зрения, максимальная температура горячего дутья может быть достигнута при чрезмерных колебаниях температуры. Поэтому оптимум должен достигаться при ограничениях на изменение температуры дутья в течение дутьевого периода каждого аппарата и при подключении вновь нагретого.

В любом случае постановка задачи, а, следовательно, и способ ее решения, должны осуществляться в зависимости от конкретных условий эксплуатации доменных воздухонагревателей и требования технологического процесса доменной плавки.

Наиболее полно возможные варианты режимов работы воздухонагревателей изложены в работах [8–11].

Задача оптимизации режима эксплуатации рассмотрена на примере блока из трех воздухонагревателей доменной печи объемом 4 290 м³, работающих в последовательном режиме со смесителем (фактические данные):

длительность периода нагрева насадки каждого аппарата (τ_n) 5 400 с;

длительность периода дутья каждого аппарата (τ_d) 3 600 с;

продолжительность перекидки клапанов (τ_k) 1 800 с:

максимальный расход отопительного газа 39 м³/с;

температура дутья после смесителя 1 157 °С.

Для определения температуры дутья использована адаптированная математическая модель тепломассопереноса в насадке доменного воздухонагревателя Меньшикова–Соломенцева [12–18], реализованная в программе KAUPER-GSS. Расчеты произведены для двух вариантов режима работы: последовательного (с сокращением времени цикла) и смешанного (с заданной длительностью цикла).

Время цикла (τ_u) при последовательном (1) и смешанном (2) режиме работы определяется из соотношений:

$$\tau_u = 3 \cdot \tau_d, \quad (1)$$

$$\tau_u = \tau_n + \tau_d + \tau_k;$$

$$\tau_u = 3 \cdot \left(\tau_d - \frac{\tau_{cp}}{2} \right), \quad (2)$$

где τ_{cp} – время совместной работы двух аппаратов на дутье в смешанном режиме.

Для проверки достоверности модели произведены расчеты в последовательном режиме со смесителем. Показано, что расчетные значения близки к фактическим: ошибка определения температуры дутья составила 3 °С (рис. 1).

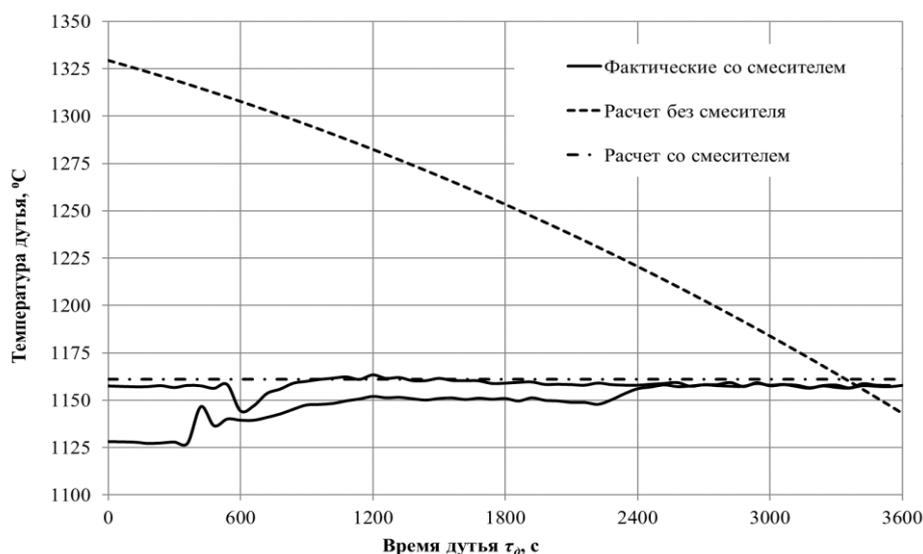


Рис. 1. Температура дутья при последовательном режиме

Сокращение длительности цикла приводит к превышению допустимого расхода отопительного газа. Допустимому расходу отопительного газа соответствует длительность цикла $\tau_{ц} = 10\ 800$ с, которая реализуется в настоящее время. Резервом для увеличения температуры дутья в последовательном режиме является сокращение времени перекидки клапанов, техническая возможность для этого имеется. Так при сокращении времени перекидки клапанов до $\tau_{к} = 900$ с, время цикла составит $\tau_{ц} = 9\ 900$ с, а минимальная температура дутья (в конце периода дутья) увеличится на $18\ ^\circ\text{C}$. Ограничение длительности цикла связано лишь с удобством обслуживания.

Произведена расчетная оценка возможности перехода блока аппаратов к смешанному режиму эксплуатации. Этот режим требует повышенного расхода топлива в сравнении с последовательным.

Эксплуатация воздухонагревателей в смешанном режиме (время совместной работы на дутье $\tau_{ср} = 600$ с, время перекидки клапанов $\tau_{к} = 1800$ с) возможна

при длительности цикла $12\ 600$ с, поскольку расход отопительного газа составит $38\ \text{м}^3/\text{с}$, значение минимальной температуры дутья возрастает до $1\ 175\ ^\circ\text{C}$, что на $18\ ^\circ\text{C}$ выше с фактической. Увеличение $\tau_{ср}$ и уменьшение $\tau_{ц}$ приводит к превышению расхода отопительного газа.

Результаты расчетов показали, что положительный эффект в рамках ограничения по расходу может быть достигнут при сокращении времени перекидки клапанов. Так при уменьшении времени перекидки с $1\ 800$ с до 900 с при длительности цикла $10\ 800$ с и времени смещения периодов дутья $1\ 500$ с рост минимальной температуры дутья составит более $20\ ^\circ\text{C}$, а при длительности цикла $9\ 900$ с и времени смещения 900 с рост минимальной температуры дутья составит $30\ ^\circ\text{C}$.

На рис. 2 представлен график температуры дутья при смешанном режиме работы аппаратов для длительности цикла $9\ 900$ с и временем перекидки клапанов 900 с.

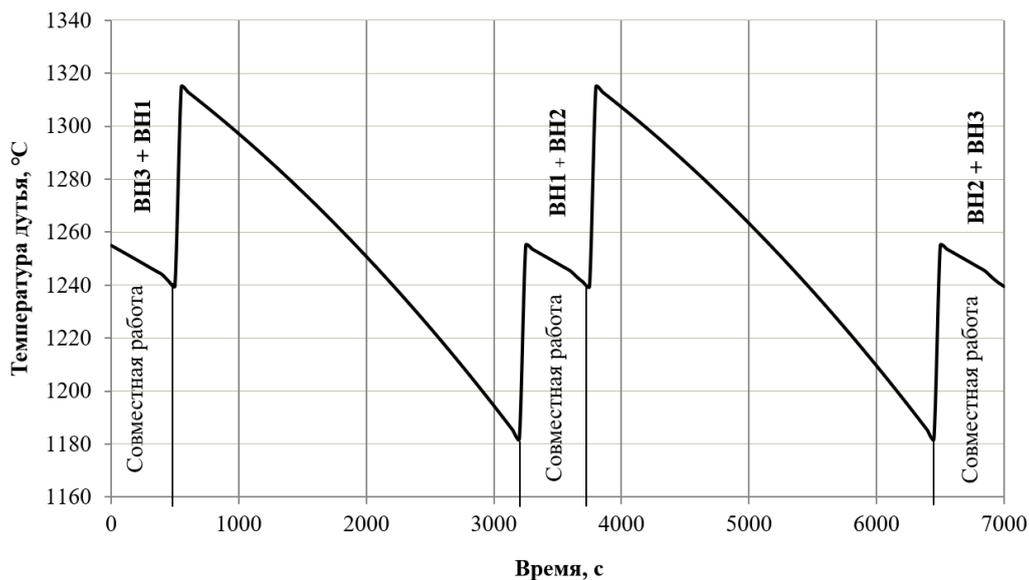


Рис. 2. Изменение температуры дутья при смешанном режиме

Циклограмма оптимального смешанного режима представлена на рис. 3.

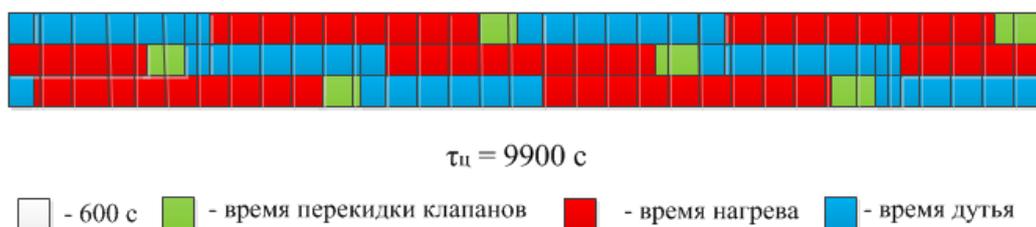


Рис. 3. Циклограмма режима блока воздухонагревателей

Графики изменения температуры дутья перед смесителем при оптимальных

последовательном режиме и режиме со смещением показаны на рис. 4.

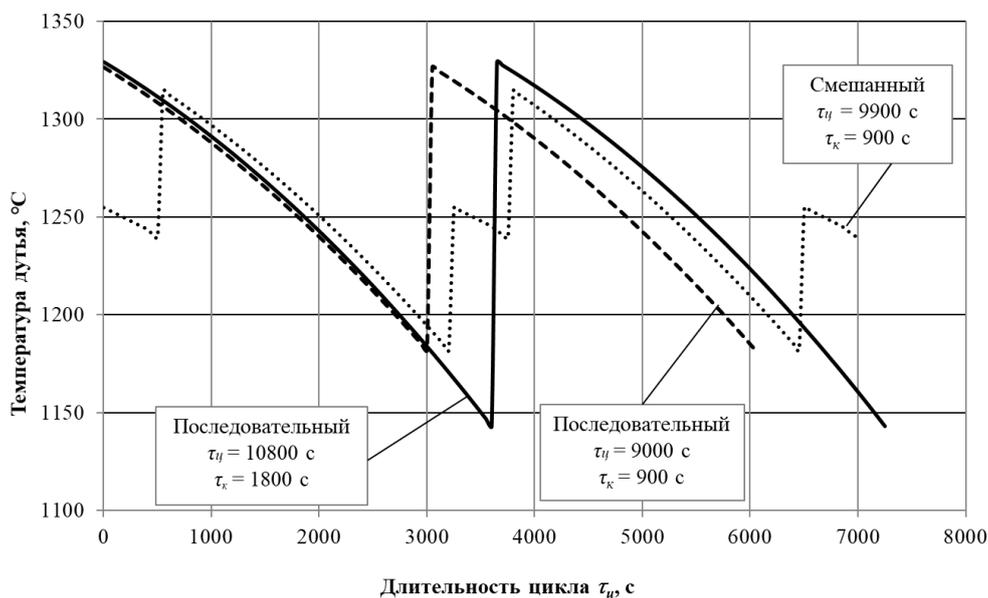


Рис. 4. Изменение температуры дутья при оптимальных режимах работы воздухонагревателей

ВЫВОДЫ

При работе блока из трех одинаковых по мощности воздухонагревателей в последовательном режиме повышение температуры дутья возможно обеспечить за счет сокращения длительности цикла.

Сокращение времени перекидки клапанов положительно влияет на увеличение температуры дутья за счет увеличения времени нагрева при постоянной длительности цикла.

Переход к смешанному режиму работы трех воздухонагревателей равных по мощности хотя и приводит к

существенному росту температуры дутья, однако требует повышенного расхода отопительного газа и не имеет преимуществ перед оптимальным последовательным. Положительный эффект смешанного режима в рамках ограничения по расходу топлива может быть достигнут за счет сокращения длительности перекидки клапанов.

Данную методику оптимизации режимов эксплуатации можно рекомендовать для реализации на действующих доменных воздухонагревателях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кривцов, А.Ю.** Исследование и разработка методов повышения эффективности режимов работы доменных воздухонагревателей с учетом их индивидуальных теплотехнических характеристик : специальность 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кривцов Алексей Юрьевич ; – Липецкий государственный технический университет. – Липецк, 2007. – 119 с. – Текст : непосредственный.

2. **Бянкин, И.Г.** Статистическая методика оптимизации режимов работы доменных воздухонагревателей / И.Г. Бянкин, В.Д. Коршиков, А.Ю. Кривцов. – Текст : непосредственный // Современная металлургия начала нового тысячелетия: к 80-летию НЛМК («Кадры для регионов»): сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Липецк, 17–21 ноября 2014 года. В 2 частях. Часть 2. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2014. – С. 170–176.

3. **Рыженкова, А.А.** Повышение эффективности работы блока доменных воздухонагревателей / А.А. Рыженкова, А.Ю. Кривцов. – Текст : непосредственный // Повышение эффективности металлургического производства : сборник материалов XXVII областной научно-технической конференции, Липецк, 06 марта 2019 года. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2019. – С. 168–171.

4. **Бянкин, И.Г.** Исследование эффективности режимов работы блока доменных воздухонагревателей / И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов, С.В. Скаков [и др.]. – Текст : непосредственный // Современная металлургия нового тысячелетия : сборник научных трудов международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 2. Липецк. ЛГТУ. 2009. – С. 38–44.

5. **Бянкин, И.Г.** Оптимизация режимов работы доменных воздухонагревателей /

И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов. – Текст : непосредственный // Современная металлургия нового тысячелетия : сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Часть 1. Липецк : ЛГТУ, 2013. – С. 170–176.

6. **Бянкин, И.Г.** К вопросу оптимизации конструктивных, технологических и режимных параметров доменных воздухонагревателей / И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов, В.Д. Коршиков. – Текст : непосредственный // Современная металлургия нового тысячелетия: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Липецк, 08–11 декабря 2015 года. В 2 томах. Том 2. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2015. – С. 289–293.

7. Методика оптимизации работы блока доменных воздухонагревателей / И.Г. Бянкин, В.Д. Коршиков, А.Ю. Кривцов, С.В. Скаков. – Текст : непосредственный // Прогрессивные технологии и оборудование в машиностроении и металлургии : сборник научных трудов. В 2 частях. Часть 2. – Липецк : ЛГТУ, 2006. – С. 63–66.

8. **Соломенцев, С.Л.** Рациональные типы насадок и доменных воздухонагревателей / С.Л. Соломенцев. – Липецк: ЛГТУ, 2001. – 432 с. – Текст : непосредственный.

9. **Трофимов, Н.И.** Выбор и анализ оптимальных тепловых режимов воздухонагревателей доменных печей / Н.И. Трофимов, В.Л. Советкин, Ф.Р. Шкляр. – Текст : непосредственный // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1988. – № 10. – С. 134–136.

10. **Советкин, В.Л.** Выбор критерия оптимальности тепловых режимов воздухонагревателей доменных печей / В.Л. Советкин, Ф.Р. Шкляр, Б.Б. Вегнер. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1981. – № 11. – С. 27–29.

11. Доменные воздухонагреватели (конструкция, теория, режимы работы) / Ф.Р. Шкляр, В.М. Малкин, С.П. Каштанова [и др.]. – Москва :

Металлургия, 1982. – 176 с. – Текст : непосредственный.

12. **Бянкин, И.Г.** Исследование влияния распределения теплоносителей в насадке доменного воздухонагревателя на температуру нагрева дутья. / И.Г. Бянкин, С.В. Скаков, А.Ю. Кривцов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2006. – № 7. – С. 52–55.

13. Оценка влияния параметров регенеративного теплообмена при формировании его расчётной модели. / И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов, В.Д. Коршиков, С.В. Скаков – Текст: непосредственный // Вестник ВГТУ. Т. 3. – 2007. – № 9. – С. 141–145.

14. **Бянкин, И.Г.** Оценка влияния размерности модели на точность расчета теплопереноса в высокотемпературных регенераторах / И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов, В.Д. Коршиков. – Текст : непосредственный // Современная металлургия нового тысячелетия: сборник научных трудов, Липецк, 08–11 декабря 2015 года. Том 1. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2015. – С. 307–311.

15. Адаптация расчетной модели блока доменных воздухонагревателей к реальным условиям. – Текст : непосредственный / И.Г. Бянкин,

А.Ю. Кривцов, С.В. Скаков [и др.] // Современная металлургия нового тысячелетия : сборник научных трудов. В 2 частях. Часть 2. – Липецк : ЛГТУ, 2009. – С.55–59.

16. Критерий оптимальности смешанного режима работы блока доменных воздухонагревателей. – Текст : непосредственный / И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов, С.В. Скаков, В.Д. Коршиков // Современная металлургия нового тысячелетия : сборник научных трудов. В 2 частях. Часть 2. Липецк : ЛГТУ, 2009. – С.45–50.

17. О повышении адекватности расчетной модели регенеративного теплообмена / И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов, С.В. Скаков [и др.]. – Текст : непосредственный // Экология ЦЧО РФ. – Липецк : ЛЭГИ. – № 1 (18). – 2007. – С.14–20.

18. Адаптация математической модели регенеративного теплообмена к условиям функционирования действующих аппаратов. – Текст : непосредственный / И.Г. Бянкин, А.Ю. Кривцов, С.В. Скаков [и др.] // Повышение эффективности металлургического производства : сборник тезисов докладов XVI научно-технической конференции. – Липецк : 2007. – С. 50–52.

Сведения об авторах:

Кривцов Алексей Юрьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: mt@stu.lipetsk.ru

Титов Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: mt@stu.lipetsk.ru

Information about the authors:

Krivtsov Alexey Yuryevich

Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: mt@stu.lipetsk.ru

Titov Vladimir Nikolaevich

Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: mt@stu.lipetsk.ru

А.И. ШАРАПОВ, М.С. ИВАНОВ, М.С. НИКИФОРОВ

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВРУ КAr-30 ЗА СЧЁТ НАЛИЧИЯ В СХЕМЕ СИСТЕМЫ АВО

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В данной статье рассматривается снижение расхода электроэнергии воздуходелительной установки (ВРУ) КAr-30 за счёт наличия в схеме системы азотно-водяного охлаждения воздуха. Проведён анализ текущего режимы работы ВРУ КAr-30. На основе материальных и тепловых балансов составлена математическая модель, позволяющая регулировать режимы работы установки.

Ключевые слова: воздуходелительная установка, снижение электроэнергии, система азотно-водяного охлаждения.

A.I. SHARAPOV, M.S. IVANOV, M.S. NIKIFOROV

REDUCING ENERGY CONSUMPTION IN THE KAr-30 AIR SEPARATION UNIT BY INTRODUCING A NITROGEN-WATER COOLING SYSTEM IN THE CIRCUIT

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses the reduction of energy consumption in the KAr-30 air separation unit by introducing a nitrogen-water cooling system in the air circuit. The current operating mode of the KAr-30 air separation unit has been analyzed. The material and heat balances were used to develop a mathematical model to regulate the operating modes of the unit.

Keywords: air separation unit, energy consumption reduction, nitrogen-water cooling system.

ВВЕДЕНИЕ

Современное металлургическое предприятие уделяет особое значение в стратегии развития энергосбережению ресурсов. Разрабатываются различные мероприятия, которые позволяют снизить статьи затрат.

Металлургическое производство состоит из комплекса взаимосвязанных подразделений. Важную роль в технологической цепочке занимает кислородный цех. Основными агрегатами являются воздуходелительные установки (далее по тексту ВРУ).

ВРУ предназначены для получения следующих продуктов разделения воздуха:

кислород, азот, аргон, водород, криптон, гелий и ксенон. Разделение воздуха происходит в результате процесса ректификации [1].

Кислород широко применяется в металлургии, например, в конвертерном производстве сталь получают путём продувки жидкого чугуна кислородом. В доменном производстве готовый продукт - жидкий чугун, который получается с помощью обогащённого кислородом дутья [2].

Азот и аргон применяют в металлургическом производстве с целью создания инертной среды и удаления газообразных примесей при производстве и обработке продукции.

Содержание криптона, ксенона, гелия и неона в воздухе очень мало. Данные газы являются редкими и чаще всего применяются в производстве электроламп.

ВРУКАр-30 работает по циклу низкого давления, разработанного П.Л. Капицей в 1937 г. Основной продукт, производимый данной ВРУ – газообразный кислород в количестве 30 тыс. м³/ч. Принцип работы ВРУ КАр-30 подробно описан в [3]. В данной статье рассматривается снижение расхода электроэнергии ВРУ КАр-30 за счёт наличия в схеме системы АВО.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

При отсутствии системы АВО сжатый после компрессоров воздух с температурой +40°C поступает в блок разделения [4]. Из-за высокой температуры возрастает тепловая нагрузка на регенераторы, продолжительность их дутья уменьшается.

В куб нижней колонны подается меньшее количество воздуха по причине увеличения нагрузки на турбодетандер [5]. В результате увеличиваются потери холода, снижается производительность и увеличивается удельный расход энергии.

Введение в технологическую схему системы АВО позволит решить данную проблему. Наличие системы АВО позволит предварительно охладить воздух до +22°C летом и зимой до +18°C.

Для анализа режимов работы установки до и после внедрения системы АВО была разработана математическая модель.

В ходе научного исследования была подготовлена расчётная схема воздухоразделительной установки, представленная на рис. 1 и создан алгоритм разработки математической модели.

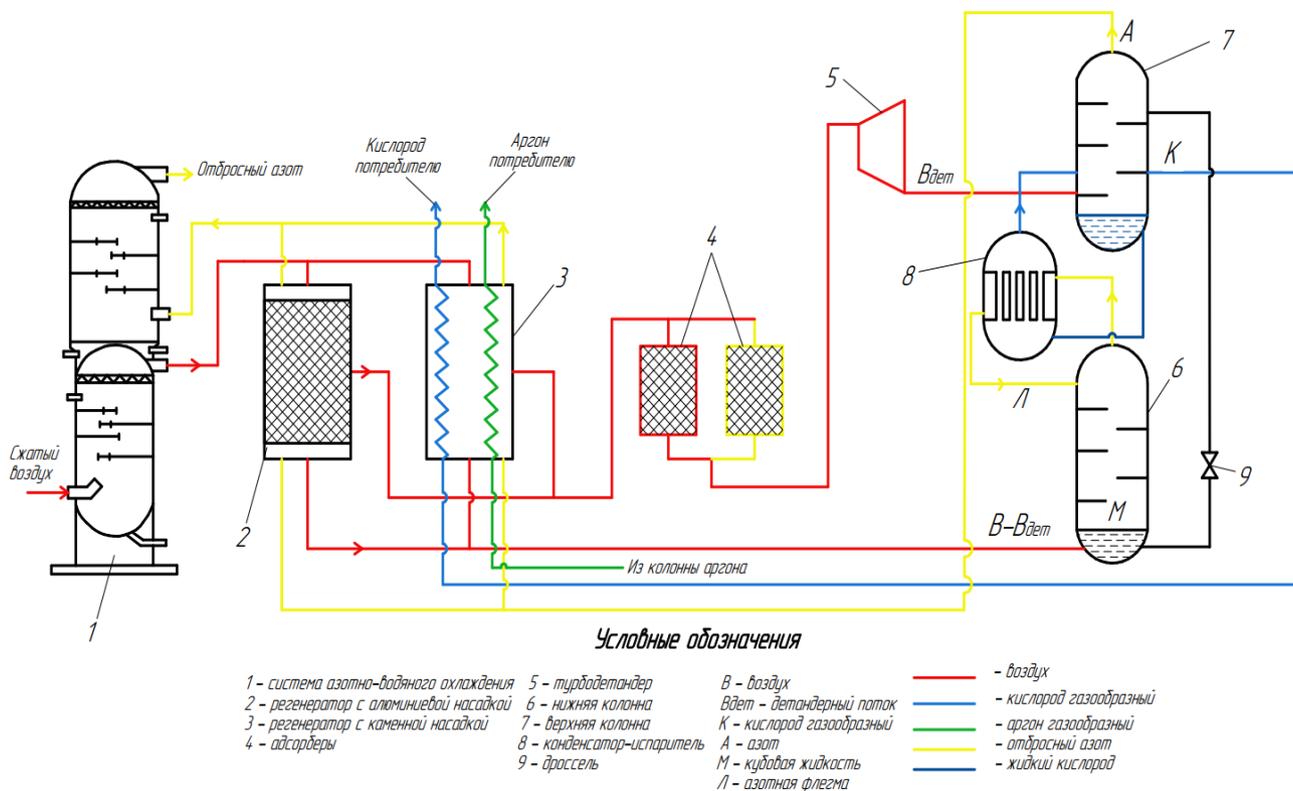


Рис.1. Расчётная схема ВРУ КАр-30.

На начальном этапе разработки математической модели был составлен общий тепловой баланс ВРУ КАр-30, в котором был определён приход холода в результате дросселирования воздуха и его расширения в турбодетандере [6]. Основываясь на приходе и потери холода, определён расход воздуха через турбодетандер [7].

В ходе следующего этапа разработки был составлен тепловой баланс нижней и верхней колонн. Основываясь на полученных результатах, определена тепловая нагрузка на конденсатор-испаритель.

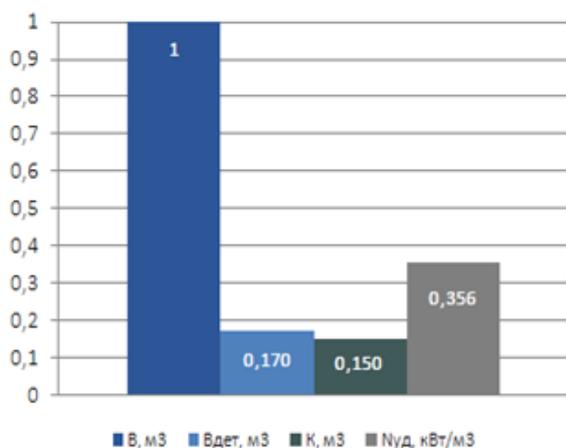


Рис.2. Режим работы ВРУ КАр-30 без системы АВО.

В – расход воздуха, м³; Вдет – расход детандерного потока, м³; К – расход продукционного кислорода м³; Нуд – удельный расход энергии, кВт/ м³.

Отметим, что расчёт проводился на 1 м³ перерабатываемого воздуха.

На заключительном этапе разработки математической модели произведён расчёт материального баланса установки.

Разработанная математическая модель при тестировании доказала свою адекватность. Исходные данные совпали с данными действующего кислородного производства металлургического предприятия.

Результат расчёта режимов работы ВРУ КАр-30 представлен в графическом виде на рис. 2, 3.

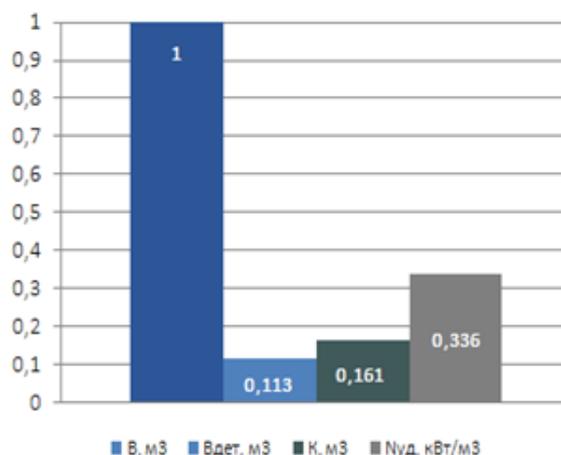


Рис.3. Режим работы ВРУ КАр-30 с системой АВО.

ВЫВОД

Из полученных расчётов видно, что наличие системы АВО в схемы позволяет добиться снижения детандерного потока на 33,5 %, увеличения производительности по кислороду на 7,3 % и снижения удельных затрат энергии на 0,020 кВт/м³. Следовательно, в воздухоразделительных установках большой производительности необходимо использовать систему азотно-водяного охлаждения воздуха. Она позволяет снизить затраты на электроэнергию металлургического предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иванов, М.С.** Анализ работы системы азотно-водяного охлаждения на производительность ВРУ КАр-30 / М.С. Иванов. – Текст : непосредственный // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: Сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции. В 3-х томах. Том 3. Редколлегия: А.А. Горохов (отв. редактор). – Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. – С. 478–481.

2. **Шарапов, А.И.** Снабжение холодным дутьем доменных печей при совместной работе двух воздуходувок с использованием струйного аппарата / А.И. Шарапов, Р.М. Некрасов, М.С. Никифоров. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 1(50). – С. 64–69.

3. **Иванов, М.С.** Исследование влияния давления в нижней ректификационной колонне на производительность воздухоразделительной установки / М.С. Иванов. – Текст : непосредственный // Молодежь и системная модернизация страны : сборник научных статей 8-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах, Курск, 16–17 мая 2024 года. – Курск: ЗАО

"Университетская книга", 2024. – С. 436–439. – Текст : непосредственный.

4. **Свит, Т.Ф.** Основы разделения воздуха методом глубокого охлаждения и ректификации: учебное пособие / Т.Ф. Свит / Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2005. – 132 с. – Текст : непосредственный

5. **Иванов, М.С.** Снижение доли петлевого потока за счёт уменьшения температуры на тёплом конце регенераторов в ВРУ КАр-30 / М.С. Иванов, А.И. Шарапов. – Текст : непосредственный // Нано-био-технологии. Теплоэнергетика. Математическое моделирование : Сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк, 27–28 февраля 2024 года. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 112–116.

6. **Нитченко, К.А.** Анализ эффективности работы измерительных приборов и автоматики на воздухоразделительных установках типа АК 40/35 / К.А. Нитченко, А.И. Шарапов, А.В. Курина. – Текст : непосредственный // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. – 2021. – № 2. – С. 76–78.

7. Methods for assessing the impact of technological variables of systems on costs / L.S. Abdullah, A.I. Sharapov, A.G. Arzamastsev [et al.] – Text : immediate // Tec Empresarial. – 2024. – Vol. 19, № 1. – P. 2848–2855.

Сведения об авторах:

Шарапов Алексей Иванович

кандидат технических наук,
доцент кафедры промышленной теплоэнергетики,
Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Иванов Максим Сергеевич

магистрант кафедры промышленной теплоэнергетики,
Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Sharapov Alexey Ivanovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department,
Industrial Heat and Power Engineering
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: sharapov-lipetsk@yandex.ru

Ivanov Maxim Sergeevich

Master's student of the Department,
Industrial Heat and Power Engineering
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: ivanovm.s@rambler.ru

Никифоров Максим Сергеевич
аспирант кафедры промышленной
теплоэнергетики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
e-mail:nikmaks1999@yandex.ru

Nikiforov Maxim Sergeevich
Postgraduate student of the Department of
Industrial Thermal Power Engineering,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.
e-mail:nikmaks1999@yandex.ru

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; характеристику объекта исследования; качество постановки целей работы и задач исследования; степень научной новизны исследования, практическую значимость работы; учебно-методическую 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, в две колонки. 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, с 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, с 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. Перечень литературных источников должен содержать не менее 15 наименований.

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

7. К статье прилагаются: аннотации (200–250 слов); ключевые слова (не менее трех); имена и фамилии авторов, ученые звания, должности и адрес места работы, электронный адрес; на английском языке название статьи, аннотация, ключевые слова, имена и фамилии авторов.

Ю.Н. РИЗАЕВА, В.А. ЛОГИНОВ

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ ВО ВРЕМЕНИ СПРОСЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматриваются подходы к планированию поставок продукции. Предложен алгоритм сокращения потерь у потребителя и производителя при изменяющемся во времени спросе потребителя. Акцент сделан на современные требования в развитии отрасли за счет совершенствования планирования деятельности предприятий по показателям, которые являются функцией от спроса. Применение нового подхода к планированию поставок продукции заключается в учете изменяющегося во времени спроса потребителя. Математическое моделирование выполняется применительно к реальным эксплуатационным условиям. Планирование реализуется за счет разработанной математической модели и методики, направленных на сокращение общесистемных потерь. Применение разработанного подхода в практике работы предприятий позволит формировать общесистемные потери и использовать новое программное обеспечение для разработки и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: поставка продукции, спрос, потери потребителя, потери производителя, планирование поставок продукции.

Yu.N. RIZAEVA, V.A. LOGINOV

SUPPLY PLANNING AT TIME-VARYING CONSUMER DEMAND

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses approaches to product supply planning. An algorithm is proposed for reducing consumer and producer losses at time-varying consumer demand. Modern requirements are emphasized in the industry development by improving production planning according to indicators that are a function of demand. The new approach to supply planning is manifested in taking into account the time-varying consumer demand. Mathematical modeling is performed with respect to real operating conditions. Planning is implemented through the developed mathematical model and methodology aimed at reducing system-wide losses. The practical application of the developed approach will form system-wide losses and use new software to develop and make managerial decisions.

Keywords: product supply, demand, consumer losses, producer losses, product supply planning.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим процесс производства и поставки продукции в дискретные моменты времени $t=0,1, \dots, T$,

где T – период планирования [1, 2].

Спрос потребителя на продукцию в эти моменты времени задан и определяется функцией $q(t)$. Обозначим неизвестный размер поставки в момент времени как $x(t)$. При несовпадении поставки $x(t)$ и спроса $q(t)$ возникают общесистемные потери. При дефиците, то есть когда

$$d(t)=x(t)-q(t)<0 ,$$

общесистемные потери обуславливаются неудовлетворенностью спроса [3–5]. При превышении поставки над спросом, когда $d(t)>0$, потери вызваны дополнительными затратами на хранение избытка продукции.

Так как потери от превышения объема поставки продукции над спросом $d(t)>0$ меньше, чем потери от дефицита $d(t)<0$, то при одинаковом значении разности (в абсолютном значении) d , график функции потерь $f_1(d)$ будет иметь вид, как на рис. 1 (потери прямо пропорциональны разности d).

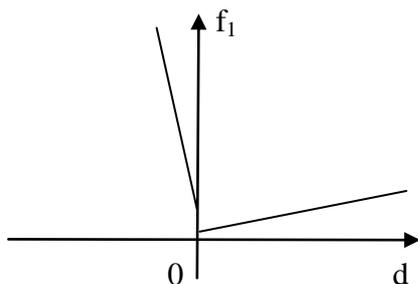


Рис. 1. График функции потерь потребителя

Функциональную зависимость, представленную на рис. 1, аппроксимируем:

$$f_1(d)=\begin{cases} a_1 d, & \text{если } d \geq 0 \\ b_1 d, & \text{если } d \leq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где a_1 и b_1 – удельные потери потребителя на единицу продукции. При этом $b_1 > a_1 > 0$.

Для поставщика продукции желательна постоянная интенсивность производства, то есть $x(t) = \text{const}$, когда

$$u(t)=x(t+1)-x(t)=0 .$$

В случае $u(t)>0$ или $u(t)<0$ производитель несет потери из-за перестройки производства. Функция потерь производителя имеет вид, показанный на рис. 2.

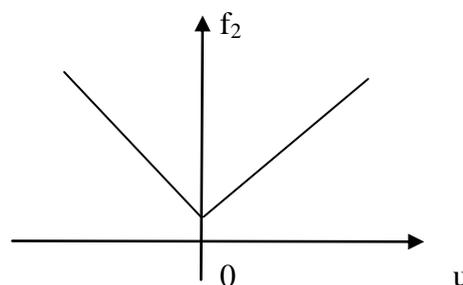


Рис. 2. График функции потерь производителя

В аналитическом виде аппроксимируем эту функцию в виде

$$f_2(u)=\begin{cases} a_2 u, & \text{если } u \geq 0 \\ b_2 u, & \text{если } u \leq 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где a_2 и b_2 – удельные потери производителя на единицу продукции. Величины коэффициентов зависят от конкретных условий производства. Ясно только, что $a_2 > 0$, $b_2 > 0$ [6, 7].

Сформулируем задачу планирования поставки продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя: найти функцию поставки продукции $x(t)$, $t=1,2, \dots, T$, и динамику изменения этого объема поставки

$$u(t)=x(t+1)-x(t), \quad t=1,2, \dots, T-1 ,$$

чтобы минимизировать суммарные потери потребителя в течение планового периода T .

ВЫВОДЫ

Исходя из проведенного исследования, можно сделать вывод о возможности применения данного алгоритма в планировании поставок продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя, при этом общесистемные потери сокращаются. Результаты исследования предназначены для практики работы предприятий на этапе определения показателя общесистемных потерь.

Сведения об авторах:

Ризаева Юлия Николаевна

доктор технических наук, заведующий кафедрой управления автотранспортом, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

rizaeva.u.n@yandex.ru

Логинов Владимир Анатольевич

кандидат экономических наук, доцент кафедры управления автотранспортом, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

v_loginov@lipetsk.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Логинов, В.А.** Устойчивость развития транспортных систем / В.А. Логинов, А.К. Карташова. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки : сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. В 2-х частях. Часть 1. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2017. – С. 538–541.
2. **Быстров, Н.В.** Обзор современных мировых тенденций развития асфальтобетонов / Н.В. Быстров. – Текст : непосредственный // Дороги России. – 2020. – № 1 (115). – С. 90–95.
3. Интеллектуальные методы управления транспортными системами (2- изд.) / А.С. Сысоев, С.А. Ляпин, А.В. Галкин [и др.]. – Москва : Издательско-торговая корпорация Дашков и К, 2022. – 192 с. – Текст : непосредственный.

Information about the authors:

Rizaeva Yulia Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Vehicle Management, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

rizaeva.u.n@yandex.ru

Loginov Vladimir Anatolyevich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Vehicle Management,

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

v_loginov@lipetsk.ru

ISSN 3034-3275

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета

(Вестник ЛГТУ)

№ 3 (56) 2024 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Scientific and technical journal «Vestnik LSTU»

Регистрационный номер средства массовой информации Эл № **ФС77-87639**.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 25.06.2024 г.

Выходит 4 раза в год.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.

Адрес редакции: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.

Телефон: (4742) 32-81-33.

Липецкий государственный технический университет.

Отдел полиграфических работ и услуг.

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.

Телефон: (4742) 32-82-43.

Редакторы: Г.В. Казьмина, Е.А. Федюшина

Перевод (англ.) Н.В. Барышев

Дата подписания к использованию 10 октября 2024 года