

ISSN (Print) 2616-7263  
ISSN (Online) 2663-1261

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

# ХАБАРШЫСЫ

---

**BULLETIN**

of L.N. Gumilyov Eurasian  
National University

**ВЕСТНИК**

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР** сериясы

**TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY** Series

Серия **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

№1(130)/2020

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

*Бас редакторы Мерзадинова Г.Т.  
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

*Бас редактордың орынбасары Жусупбеков А.Ж.  
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

*Бас редактордың орынбасары Тогизбаева Б.Б.  
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

*Бас редактордың орынбасары Сарсембаев Б.К.  
т.ғ.к., доцент, Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

*Редакция алқасы*

<b>Акира Хасегава</b>	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
<b>Акитоши Мочизуки</b>	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
<b>Базарбаев Д.О.</b>	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Байдабеков А.К.</b>	т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Дер Вэн Чанг</b>	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
<b>Жардемов Б.Б.</b>	т.ғ.д., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Жумагулов М.Г.</b>	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Йошинори Ивасаки</b>	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
<b>Калякин В.Н.</b>	проф., Делавэр Университеті, Ньюарк, АҚШ
<b>Тадатсугу Танака</b>	проф., Токио Университеті, Токия, Жапония
<b>Тулбекова А.С.</b>	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Хое Линг</b>	проф. Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
<b>Утепов Е.Б.</b>	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Чекаева Р.У.</b>	а.к., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Шахмов Ж.А.</b>	PhD, доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Юн Чул Шин</b>	проф., Инчئون ұлттық университеті, Инчئون, Оңтүстік Корея

*Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.  
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-428). E-mail: [vest\\_techsci@enu.kz](mailto:vest_techsci@enu.kz)*

*Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат*

**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.**

**ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы**

Меншіктенуші: ҚР БжҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.

№16991 -ж тіркеу қуәлігімен тіркелген

Басуға 30.03.2020ж. қол қойылды.

Тиражы: 25 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі 12/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-428). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

*Editor-in-Chief* **Gulnara Merzadinova**

*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

*Deputy Editor-in-Chief* **Askar Zhussupbekov**

*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

*Deputy Editor-in-Chief* **Baglan Togizbayeva**

*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

*Deputy Editor-in-Chief* **Bayandy Sarsembayev**

*Assoc. Prof., Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

**Editorial Board**

<b>Akira Hasegawa</b>	Prof., Hachinohe Institute of Thechnology, Hachinohe, Japan
<b>Akitoshi Mochizuki</b>	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
<b>Daniyar Bazarbayev</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Auez Baydabekov</b>	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Rahima Chekaeva</b>	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Der Wen Chang</b>	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
<b>Eun Chul Shin</b>	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea
<b>Hoe Ling</b>	Prof., Columbia University, New York, USA
<b>Viktor Kaliakin</b>	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
<b>Zhanbolat Shakhmov</b>	Assoc.Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Tadatsugu Tanaka</b>	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
<b>Assel Tulebekova</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Yelbek Uteпов</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Yoshinori Iwasaki</b>	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
<b>Bolat Zardemov</b>	Doctor of Engineering, L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Mihail Zhumagulov</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan

*Editorial address:*

2, Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan,  
010008

Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-428), E-mail: vest\_techsci@enu.kz

*Responsible secretary, computer layout:* Aizhan Nurbolat

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series**

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Registration certificate №16991-ж from 27.03.2018. Signed in print 30.03.2020. Circulation: 25 copies

Address of Printing Office: 12/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-428). Website: <http://bultech.enu.kz>

© L.N.Gumilyov Eurasian National University

*Главный редактор Мерзудинова Г.Т.*  
*д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

*Зам. главного редактора Жусупбеков А.Ж.*  
*д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

*Зам. главного редактора Тогизбаева Б.Б.*  
*д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

*Зам. главного редактора Сарсембаев Б.К.*  
*к.т.н., доцент, Назарбаев университет, Нур-Султан, Казахстан*

*Редакционная коллегия*

<b>Акира Хасегава</b>	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
<b>Акитоши Мочизуки</b>	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
<b>Базарбаев Д.О.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Байдабеков А.К.</b>	д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Дер Вэн Чанг</b>	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
<b>Жардемов Б.Б.</b>	д.т.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Жумагулов М.Г.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Йошинори Ивасаки</b>	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
<b>Калякин В.Н.</b>	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
<b>Тадатсугу Танака</b>	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
<b>Тулбекова А.С.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Хое Линг</b>	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
<b>Утепов Е.Б.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Чекаева Р.У.</b>	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Шахмов Ж.А.</b>	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Юн Чул Шин</b>	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

*Адрес редакции:* 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402  
*Тел:* +7(7172) 709-500 (вн. 31-428). *E-mail:* [vest\\_techsci@enu.kz](mailto:vest_techsci@enu.kz)

*Ответственный секретарь, компьютерная верстка:* А. Нурболат

**Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.**  
**Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

Собственник: РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК  
Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Регистрационное свидетельство №16991-ж от 27.03.2018 г. Подписано в печать 30.03.2020г.

Тираж: 25 экземпляров. Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-428). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ХАБАРШЫСЫ. ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

№1(130)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Балабекова К.Г.</i> Мобильді жол өтпе тіреуінің жұмысының математикалық үлгісін зерттеу	8
<i>Оразбаев Б.Б., Сантеева С.А., Оразбаева К.Н., Шагаева А.Б., Утенова Б.Е., Дюсеев К.А.</i> Оптималды технологияны таңдау үшін мұнай қалдықтары мен шламдарды жою әдістерін эксперттік бағалау	16
<i>Ниязбекова Р.К., Серекпаева М.А., Калиева Ж.Е., Оспанова Н.М.</i> Қорғаныш жабындарды өндіруде металлургиялық қождарды стандарттау тәсілдерін әзірлеу	23
<i>Ниязбекова Р.К., Джексембаева А.Е., Кривобородов Ю.Р.</i> Цемент композиттерінің құрылымын өзгерту. Болаттан жасалғанқожын қосумен құрылыс қоспаларын стандарттау бойынша өнімділігі	30
<i>Джумабаев А.А., Тлеубаева А.К.</i> Үлкен диаметрлі газқұбырындағы қирау жарықшасын шектеуді және тоқтатуды зерттеу	37
<i>Козбагарова Н.Ж., Сулайманова Ш.А.</i> Қалаларды сәулеттік-ландшафтық ұйымдастырудағы әлеуметтік жобалау	42
<i>Казиева Г.Д., Абжанова А.Е., Есекеева М.Ж., Сағнаева С.К., Сембина Г.К.</i> Биомониторингтегі деректерді зияткерлік талдаудың кейбір тәсілдері мен аспаптық құралдары	50
<i>Туякбаева А.К., Садықова С.Ш.</i> Жол бойындағы сервис кешендерінің архитектурасын дамыту туралы	59
<i>Садықова С.Б., Еркалина М., Жумагулов М.Г., Картджанов Н.Р.</i> Күн энергиясымен суды тұщыту	66
<i>Садықова С.Б., Достияров А.М., Достиярова А.М., Картджанов Н.Р.</i> ГТҚ жану камерасының жұмыстық режимдерін модельдеу	71
<i>Жартыбаева М.Г., Есимова Н., Фураева И.И., Жукабаева Т.К., Жумадилаева А.К.</i> МББЖ таңдау және Алматы қаласындағы атмосфералық ауаның ауыр металдармен ластануы туралы мәліметтер базасын толтыру	78
<i>Жакупова А.Е., Канафин М.Ж., Рустемов А.Р., Келман А.А., Мустафинов Е.К.</i> Оптикалық суреттер негізінде ауыл шаруашылығы дақылдарының шығымдылығын мониторингілеу	89
<i>Жаркенов Е.Б.</i> Нөсерлік кәріз саласындағы эксперименталдық зертеулер	95
<i>Жусупбеков А.Ж., Жаркенов Е.Б., Чанг Д., Жаркенова А.Б.</i> Нұр-Сұлтан қаласындағы I-1 нөсер кәріз бассейнін гидравликалық модельдеу	101
<i>Штыкова И.В., Обухова О.Н., Шинкевич Т.А., Маданов К.С.</i> Илектеустанының алдында дайындамаларды автоматты қыздыру жүйесін талдау және оңтайландыру	107
<i>Әлдарова Ә.Ә., Старовойтов В.В., Исақов К.Т.</i> Цифрлық кескіндегі шуылды азайту әдістерінің тиімділігін бағалау нәтижелері	114

**BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY.  
TECHNICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY SERIES**

№1(130)/2020

**CONTENTS**

<i>Balabekova K.G.</i> Research of a mathematical model of mobile overpass support operation	8
<i>Orazbayev B.B., Santeyeva S.A., Orazbayeva K.N., Shagayeva A.B., Utenova B.E., K.A. Dyussekeyev</i> Expert evaluation of methods for removing oil deposits and sludge in order to select the optimal technology	16
<i>Niyazbekova R.K., Serekpayeva M.A., Kaliyeva Zh.E., Ospanova N.M.</i> Development of approaches to the standardization of metallurgical slag in the production of protective coatings	23
<i>Niyazbekova R.K., Jexembayeva A.Y., Krivoborodov Yu.R.</i> Modification of the structure of cement composites. Research of operational properties for standardization of building mixes with the addition of steelmaking slag	30
<i>Jumabayev A.A., Tleubayeva A.K.</i> Investigation of the localization and stopping of a developing fracture fracture in larger diameter gas pipelines	37
<i>Kozbagarova N.Zh., Sulaimanova Sh.A.</i> Social design in the architectural and landscape organization of cities	42
<i>Kaziyeva G.D., Abzhanova A.E., Esekeeva M.Zh., Sagnayeva S.K., Sembina G.K.</i> Some approaches and tools for intellectual analysis of data in biomonitoring	50
<i>Tuyakaeva A.K., Sadykova S.</i> On the development of the architecture of roadside service complexes	59
<i>Sadykova S.B., Yerkalina M., Zhumagulov M.G., Kartjanov N.R.</i> Solar-powered water desalination	66
<i>Sadykova S.B., Dostiyarov A.M., Dostiyarova A.M., Kartjanov N.R.</i> Simulation of the operating conditions in a gas turbine engine combustion chamber	71
<i>Zhartybayeva M.G., Esimov N., Furayeva I.I., Zhukabayeva T.K., Zhumadillayeva A.K.</i> Rationale for choosing a DBMS and updating the database of atmospheric air pollution in Almaty city with heavy metals	78
<i>Zhakupova A.Y., Kanafin M.Z., Rustemov A.R., Kelman A.A., Mustafinov Y.K.</i> Monitoring crop yields on the basis of optical	89
<i>Zharkenov Y.B.</i> Experimental studies in the field of storm water drainage	95
<i>Zhussupbekov A.Zh., Zharkenov Y.B., Jang D., Zharkenova A.B.</i> Hydraulic simulation of the storm sewer basin I-1 of Nur-Sultan city	101
<i>Shtykova I.V., Obuhov O.N., Shinkevich T.A., Madanov K.S.</i> Analysis and optimization of the system of automatic heating billets before a rolling mill	107
<i>Eldarova E.E., Starovoitov V.V., Iskakov K.T.</i> Results evaluation effectiveness of noise reduction techniques of digital images	114

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Балабекова К.Г.</i> Исследование математической модели работы опоры мобильного путепровода	8
<i>Оразбаев Б.Б., Сантеева С.А., Оразбаева К.Н., Шагаева А.Б., Утенова Б.Е., Дюсекеев К.А.</i> Экспертная оценка методов удаления нефтяных отложений и шламов с целью выбора оптимальной технологии	16
<i>Ниязбекова Р.К., Серекпаева М.А., Калиева Ж.Е., Оспанова Н.М.</i> Разработка подходов для стандартизации металлургических шлаков при получении защитных покрытий	23
<i>Ниязбекова Р.К., Джесксембаева А.Е., Кривобородов Ю.Р.</i> Модификация структуры цементных композитов. Исследования эксплуатационных свойств для стандартизации строительных смесей с добавкой сталеплавильного шлака	30
<i>Джумабаев А.А., Глеубаева А.К.</i> Исследование локализации и остановки развивающегося трещины разрушения в газопроводах большого диаметра	37
<i>Козбагарова Н.Ж., Сулайманова Ш.А.</i> Социальное проектирование в архитектурно-ландшафтной организации городов	42
<i>Казиева Г.Д., Абжанова А.Е., Есекеева М.Ж., Сагнаева С.К., Сембина Г.К.</i> Некоторые подходы и инструментальные средства интеллектуального анализа данных в биомониторинге	50
<i>Туякаева А.К., Садыкова С.Ш.</i> Зарубежные тенденции архитектуры придорожных комплексов	59
<i>Садыкова С.Б., Еркалина М., Жумагулов М.Г., Картджанов Н.Р.</i> Солнечное опреснение воды	66
<i>Садыкова С.Б., Достияров А.М., Достиярова А.М., Картджанов Н.Р.</i> Моделирование рабочих условий камеры сгорания ГТД	71
<i>Жартыбаева М.Г., Есимова Н., Фураева И.И., Жукабаева Т.К., Жумадилаева А.К.</i> Обоснование выбора СУБД и пополнение базы данных по загрязнению атмосферного воздуха города Алматы тяжелыми металлами	78
<i>Жакупова А.Е., Канафин М.Ж., Рустемов А.Р., Келман А.А., Мустафинов Е.К.</i> Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур на основе оптических снимков	89
<i>Жаркенов Е.Б.</i> Экспериментальные исследования в области ливневой канализации	95
<i>Жусупбеков А.Ж., Жаркенов Е.Б., Чанг Д., Жаркенова А.Б.</i> Гидравлическое моделирование ливневого канализационного бассейна I-1 г. Нур-Султан	101
<i>Штыкова И.В., Обухова О.Н., Шинкевич Т.А., Маданов К.С.</i> Анализ и оптимизация системы автоматического нагрева заготовок перед прокатным станом	107
<i>Эльдарова Э.Э., Старовойтов В.В., Искаков К.Т.</i> Оценка эффективности методов подавления шума цифровых изображений	114

И.В. Штыкова<sup>1</sup>, О.Н.Обухова<sup>2</sup>, Т.А. Шинкевич<sup>1</sup>, К.С. Маданов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

<sup>2</sup> АО «Соколовско-Сарбайское горно-производственное объединение», Рудный, Казахстан  
(E-mail: iren\_2409@mail.ru, obuchova\_o@mail.ru, shinkevich80@mail.ru, madanov@mail.ru)

### Анализ и оптимизация системы автоматического нагрева заготовок перед прокатным станом

**Аннотация:** В статье рассматривается математическая модель системы автоматического регулирования (САР) температуры в томильной зоне нагревательной печи, реализованная в виде двух подсистем: «регуляция подачи газа – температура в печи» и «регуляция подачи кислорода – температура в печи». Целью работы является коррекция и оптимизация данной модели для получения системы, способной обеспечить высокую точность управления температурным режимом. На основе анализа и синтеза переходных характеристик систем автоматического регулирования - исходной, с ПИ-регулятором и с ПИД-регулятором - построена качественная схема управления, в которой ошибка регулирования практически равна нулю.

Математическая модель системы автоматического регулирования температуры в томильной зоне нагревательной печи реализована с помощью программы виртуального моделирования – ViSSim. Переходные характеристики и запасы устойчивости логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристик системы построены и проанализированы также с помощью ViSSim.

**Ключевые слова:** автоматизированное управление, нагревательная печь, передаточная функция, томильная зона, температурный режим.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2020-130-1-107-121>

Нагрев металла является важнейшей технологической операцией всего прокатного производства. Чтобы обеспечить необходимую пластичность металла в процессе нагрева, должно быть достигнуто равномерное распределение температуры по всему сечению заготовки без чрезмерного перегрева и при минимальном расходе топлива. Основной проблемой автоматизации нагревательных печей является недостаточно точное регулирование температур по зонам печи, приводящее к большим перепадам температур, а также к перегреву или недогреву заготовок, в результате чего страдает качество выпускаемой продукции. Особенно важно выравнивать температуру перед выдачей из печи, так как на нижней поверхности сляба, в местах контакта с водоохлаждаемыми опорными трубами, в методической и сварочных зонах остаются непрогретые участки. Более точное управление позволит повысить качество нагрева металла. Это приведет к уменьшению брака по переделу на стане, а также к уменьшению износа валков и расхода электроэнергии на прокатку [1, 117-120 стр.].

Функциональная схема контура регулирования температуры в томильной зоне нагревательной печи представлена на рисунке 1.

Управляемой величиной является температура в томильной зоне. Управляющей величиной является соотношение расхода топлива на зону и расхода воздуха на зону. Основные возмущающие воздействия: изменение калорийности и теплоты сгорания топлива в процессе подачи, изменение производительности прокатного стана.

Температура заготовок, поступающих на прокатный стан, может лежать в пределах 1230-1250 °С, в этом случае температура в томильной зоне должна лежать в пределах 1260-1320 °С. Температура в зоне печи может отличаться от задания вследствие неконтролируемых возмущений.

Контур регулирования представляет собой систему управления с обратной связью. Схема содержит регулятор, исполнительный механизм с регулирующим органом, объект управления и датчики обратной связи [2, 125-126 стр.].



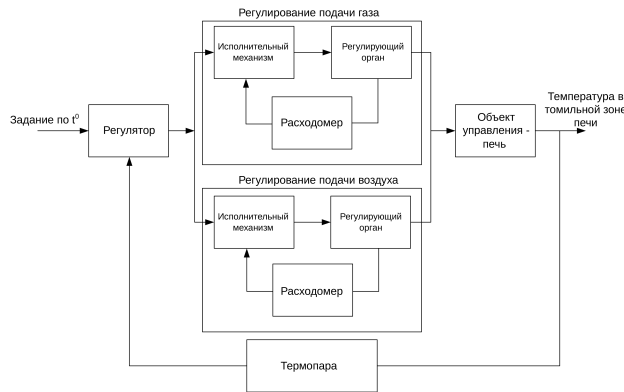


Рисунок 1 – Функциональная схема контура регулирования температуры в томительной зоне

Передаточная функция объекта по каналу процента открытия топливного клапана – расход природного газа имеет вид:

$$W_1(s) = \frac{K_1}{T_{11}^2 s^2 + T_{12} s + 1} \quad (1)$$

$$W_1(s) = \frac{70}{1.1s^2 + 1.8s + 1}$$

Передаточная функция объекта по каналу "соотношение газ-воздух – температура в зоне печи":

$$W_2(s) = \frac{K_2}{T_{21}^2 s^2 + T_{22} s + 1} \quad (2)$$

$$W_2(s) = \frac{7}{341018s^2 + 812s + 1}$$

Передаточная функция объекта по каналу "угол открытия клапана – расход кислорода":

$$W_3(s) = \frac{K_3}{T_3 s + 1} \quad (3)$$

$$W_3(s) = \frac{16}{5s + 1}$$

Коэффициенты передачи датчиков расхода газа и воздуха равны, соответственно, 3 и 5 [3, 63-64 стр.].

Исходя из этого, можно составить схему системы в программе виртуального моделирования Vissim, приведенную на рисунке 2.

Система состоит из двух подсистем. Первая из них реализует цепочку "регуляция подачи газа – температура в печи". Вторая из них реализует цепочку "регуляция подачи кислорода – температура в печи".

Как видно по переходной характеристике на рисунке 3, исходная САП имеет низкое качество регулирования.

Время переходного процесса - около 3000 секунд, имеет место колебательность контура, перерегулирование составляет 27 процентов, ошибка регулирования равна 23 процентам. К тому же система имеет некорректные запасы устойчивости по логарифмическим характеристикам, изображенным на рисунке 4. Запас по фазе небольшой, равный 40 градусов, тогда как запас по амплитуде более чем достаточный и составляет 72 децибела. Таким образом, система требует коррекции [2, 160-161 стр.].

Ошибка регулирования почти в 25 % делает нецелесообразным введение П-регулятора с понижающим коэффициентом, который увеличил бы запас устойчивости по фазе и уменьшил бы колебательность и перерегулирование, однако сделал бы ошибку еще большей, что недопустимо. Поэтому необходимо введение пропорционально-интегрального закона

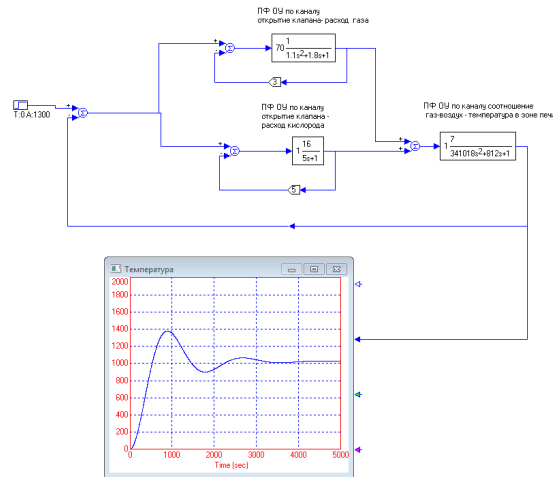


Рисунок 2 – Исходная схема модели САР температуры в зоне печи

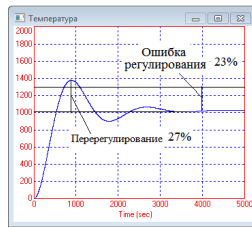


Рисунок 3 – Переходная характеристика исходной САР

регулирования. Для это по ЛАЧХ, по методу пересечения двух касательных, определяем постоянную времени  $T_{И} = 909$  сек. Коэффициент пропорциональности берем  $K_{ПИ} = 0.5$ .

Переходная характеристика на рисунке 5 показывает, что введение в систему ПИ-регулятора позволило уменьшить ошибку практически до нуля. Однако другие показатели остались на прежнем уровне, в частности, не уменьшились ни время переходного процесса, ни колебательность контура. Совсем незначительно меньше стала величина перерегулирования. Таким образом, пропорционально-интегральный закон регулирования не достаточен для данной системы. Необходимо введение дифференциальной составляющей, то есть ПИД-регулятора.

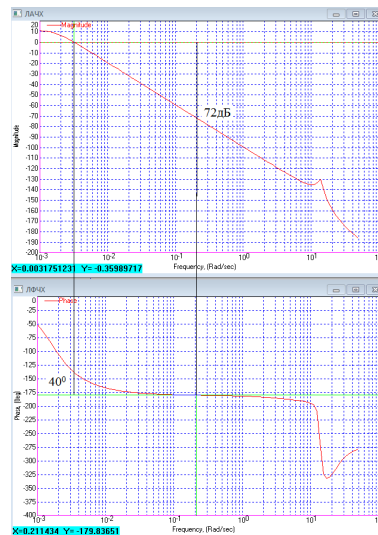


Рисунок 4 – Определение запасов устойчивости по ЛАЧХ и ЛФЧХ

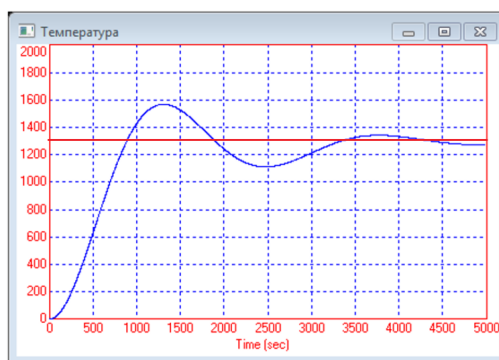


Рисунок 5 – Переходная характеристика системы с ПИ-регулятором

Для нахождения коэффициента усиления ПИД-регулятора необходимо вывести систему на границу устойчивости. Затем полученный коэффициент усиления, согласно методике, следует умножить на 0,6. Таким образом, получили  $K_{ПИД} = 6$ . Для нахождения постоянной времени дифференцирования проводим касательную с наклоном  $-40$  дБ/дек. По точке сопряжения определяем  $T_D = 333$  сек. На рисунке 6 представлена оптимизированная модель системы автоматического регулирования температуры в томильной зоне нагревательной печи.

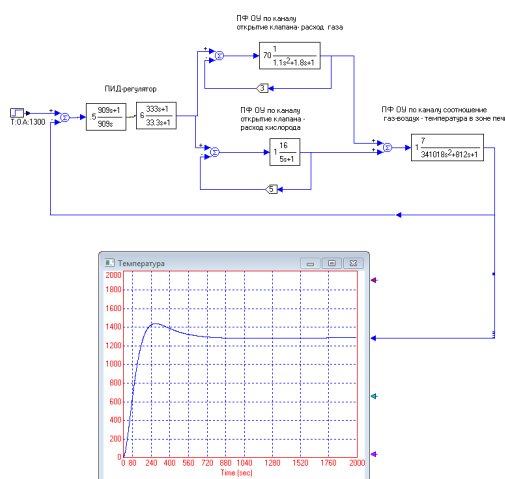


Рисунок 6 – Оптимизированная система с ПИД регулятором

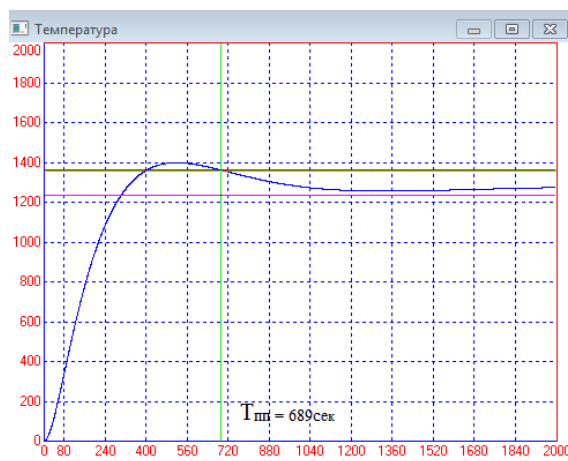


Рисунок 7 – Переходная характеристика окончательно скорректированной системы

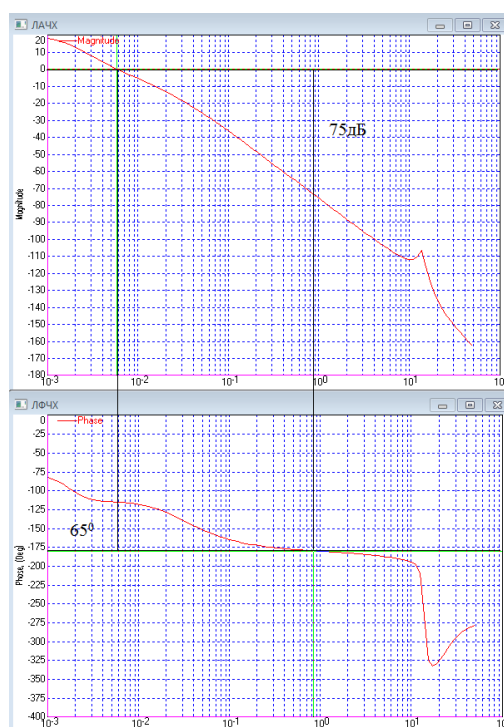


Рисунок 8 – Запасы устойчивости скорректированной САР

Таким образом, изначально проектируемая система не отвечала требованиям, предъявляемым к системам автоматического регулирования. Потребовалась коррекция и оптимизация системы. Введение в контур ПИД-регулятора позволило получить систему с достаточно хорошим качеством. Время переходного процесса составило 989 секунд или 11,5 минуты, что для данного процесса является неплохим показателем. Ошибка регулирования практически равна нулю, что подтверждает высокую точность управления. Система имеет незначительное (менее 5%) перерегулирование и хорошие запасы устойчивости: по амплитуде 75дБ, по фазе 65°. Цель анализа и синтеза системы управления температурным режимом нагревательной печи достигнута.

Вывод: в результате работы получена математическая модель системы автоматического регулирования температуры в томительной зоне нагревательной печи. Применение данной модели позволяет получить динамические характеристики объекта управления по требуемым каналам регулирования, а также формализовать процесс синтеза системы автоматического управления процессом нагрева заготовок в методических нагревательных печах. Рассмотренная модель может служить типовым элементом программного обеспечения АСУТП нагрева металлов, обеспечивающей высокое качество выпускаемой продукции.

### Список литературы

- 1 Зайцев В. С., Добровольская Л. А., Черевко Е. А. Автоматизация процессов прокатного производства : учебное пособие. – Мариуполь : ПГТУ, 2016. – 246 с.
- 2 Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.
- 3 Федюк Р.В., Федотов Е.С. Математическая модель процесса нагрева заготовок в методической нагревательной печи. - Донецк, Донецкий национальный технический университет, 2011. – Наукові праці ДонНТУ Випуск 21 (183).
- 4 Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов. – М.: Мир, 2003. – 528 с.
- 5 Теория автоматического управления: учеб. для машиностроит. спец. вузов. /Под ред. Ю. М. Соломенцева. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 268 с.
- 6 Ким Д. П. Теория автоматического управления. – Т. 1: Линейные системы. – М.: Физматлит, 2003. – 288 с.
- 7 Волобуева О.П. Основы теории управления: учеб. для вузов. – Алматы: Изд-во КазНТУ, 2005. – 256 с.
- 8 Кондратьева М. Н. Экономика предприятия: учебник. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 174 с.

- 9 Артамонов Д.В. Основы теории линейных систем автоматического управления.– Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 135 с.
- 10 Рыбин Ю. И. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. – М.: Наука, 2013. – 644 с.
- 11 Фельдштейн Е. Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – М.: Инфра-М, Новое знание, 2011. – 272 с.
- 12 Федосов Б.Т. Руководство по курсовому и дипломному проектированию на тему "Идентификация объекта управления. Построение, оптимизация и исследование моделей САР с использованием современных программных средств". – Рудный, 2007. – 42 с.
- 13 Совершенствование управления режимом нагрева металла в методической печи за счет использования модели процесса/ Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, М.Ю. Рябчиков и др. // Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии. - 2009. - №3. - С. 131-149.
- 14 Сайров А.М. Оптимизация управления тепловым режимом в рабочем пространстве нагревательной печи // Автоматизированные технологии и производства. - 2013. - №5. - С. 296-301.
- 15 Попов Е.В. Способы снижения термической неоднородности массивных стальных слэбов при нагреве в методических нагревательных печах / Г.М.Дружинин, Ю.А.Самойлович, Е.В.Попов // Известия вузов. Черная металлургия, 2013, №7. — С. 27-32.

И.В. Штыкова<sup>1</sup>, О.Н.Обухова<sup>2</sup>, Т.А. Шинкевич<sup>1</sup>, К.С. Маданов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Рудненский индустриальный институт, Рудный, Қазақстан

<sup>2</sup> АҚ "Соколов-Сарыбай тау-кен өндірістік бірлестігі", Рудный, Қазақстан

#### Илектеустанының алдында дайындамаларды автоматты қыздыру жүйесін талдау және оңтайландыру

**Аңдатпа.** Мақалада қыздыру пешінің қыздырылған аймағындағы температураны автоматты реттеу жүйесінің (САР) математикалық моделі қарастырылады, екікіші жүйе түрінде өткізілген: "газ беруді реттеу - пештегі температура" және "оттегі беруді реттеу - пештегі температура". Жұмыстың мақсаты температура режимін басқарудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етуге қабілетті жүйені алу үшін осы модельді түзету және оқтайландыру болып табылады. Автоматты реттеу жүйелерінің өтпелі сипаттамаларын талдау және синтездеу негізінде: бастапқы, ПИ-реттеуіш және ПИД-реттеуішпен реттеудің қателігін өлгетең болатын басқарудың сапалы схемасы құрылған. Қыздыру пешінің қыздырылған аймағындағы температураны автоматты реттеу жүйесінің математикалық моделі виртуалды модельдеу - ViSSim бағдарламасының көмегімен іске асырылған. өтпелі сипаттамалар және жүйенің логарифмді амплитудалық-фазалық жиілік сипаттамаларының орнықтылық қорлары ViSSim көмегімен салынып, талданды.

**Түйін сөздер.** автоматтандырылған басқару, жылыту пеші, беріліс функциясы, батпақты аймақ, температуралық режим.

I.V. Shtykova<sup>1</sup>, O.N. Obuhova<sup>2</sup>, T.A. Shinkevich<sup>1</sup>, K.S. Madanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

<sup>2</sup> JSC «SokolovSarbai Mining Production Association», Rudny, Kazakhstan

#### Analysis and optimization of the system of automatic heating billets before a rolling mill

**Abstract.** This article deals with a mathematical model of the temperature automatic control system (ACS) in the holding zone of the reheating furnace, implemented in the form of two subsystems: "regulation of the gas - temperature supply in the furnace" and "regulation of the oxygen - temperature supply in the furnace". The aim of the work is the correction and optimization of this model to obtain a system capable of providing high precision in temperature control. Based on the analysis and synthesis of the transition characteristics of automatic control systems: the original one, with a PI-controller and with a PID-controller, the high-quality control scheme is constructed in which the control error is practically zero.

The mathematical model of the temperature automatic control system in the holding zone of the reheating furnace is implemented using a virtual simulation program - ViSSim. Transient characteristics and stability margins of the logarithmic amplitude-phase frequency characteristics of the system are constructed and analyzed also using ViSSim.

**Keywords.** automated control, reheating furnace, transfer function, zone, temperature regime.

## References

- 1 Zaitsev V.S., Dobrovolskaya L.A., Cherevko E.A. Avtomatizatsiya protsessov prokatnogo proizvodstva [Automation of rolling production processes] (PSTU, Mariupol, 2016, 246 p.) [in Russian].
- 2 Miroshnik I.V. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Lineinye sistemy [The theory of automatic control. Linear systems] - St. Petersburg: Peter, 2005. - 336 p.
- 3 Fedyun R.V., Fedotov E.S. Matematicheskaya model protsessa nagreva sagotovok v metodicheskoi nagrevatelnoi pechi [A mathematical model of the process of heating billets in a methodical heating furnace] DonNTU Vipusk [Science and technology] 21 (183) (Donetsk, Donetsk National Technical University, 2011)
- 4 Kudrin V.A. Teoriya i tehnologiya proizvodstva stali [Theory and technology of steel production] (Mir, M., 2003, 528 p.) [in Russian].
- 5 Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control: textbook. for machine building. special universities] /ed. Yu. M. Solomentseva (Higher. school, M., 2000, 268 p.) [in Russian].
- 6 Kim D. P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. T. 1. Lineinye sistemy [The theory of automatic control. T. 1: Linear systems.] (Fizmatlit, M., 2003, 288 p.) [in Russian].

- 7 Volobueva O.P. Osnovy teorii upravleniya[Fundamentals of control theory] (Publishing house of KazNTU, Almaty, 2005, 256 p.)[in Russian].
- 8 Kondratyev M. N. Ekonomika predpriyatiya [Enterprise Economics] (UlSTU, Ulyanovsk,2013, 174 p.)[in Russian].
- 9 Artamonov D.V.Osnovy teorii lineinyh system avtomaticheskogo upravleniya [Fundamentals of the theory of linear systems of automatic control] (Publishing House Penz. state University, Penza, 2003, 135 p.)[in Russian].
- 10 Rybin Yu. I. Matematicheskoe modelirovanie i proektirovanie tehnologicheskikh protsessov obrabotki metallov davleniem [Mathematical modeling and design of technological processes of metal pressure treatment] Nauka, M., 2013, 644 p.)[in Russian].
- 11 Feldstein E. E.Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v mashinostroenii [Automation of production processes in mechanical engineering] (Infra-M, New Knowledge, M., 2011, 272 p.)
- 12 Fedosov B.T. Rukovodstvo po kursovomu i diplomnomu proektirovaniu na temu: Identifikatsiya objekta upravleniya. Postroyeniye, optimizatsiya i issledovanie modeli SAR s ispolzovaniem sovremennykh programmnykh sredstv[Guidance on course and diploma design on the topic: Identification of the object of management. Construction, optimization and research of ATS models using modern software] (Rudny, 2007, 42 p.)[in Russian].
- 13 Improving the control of the heating mode of metal in a methodical furnace through the use of a process model / B.N. Parsunkin, S.M. Andreev, M.Yu. Ryabchikov et al. // Automation of technological and production processes in metallurgy. 2009. No3. S. 131-149
- 14 Sairov A.M. Optimization of thermal management in the working space of a heating furnace // Automated technologies and production. 2013. No5. S. 296-301
- 15 Popov E.V. Ways to reduce the thermal heterogeneity of massive steel slabs when heated in methodical heating furnaces / G.M. Druzhinin, Yu.A. Samoilovich, E.V. Popov // News of universities. Ferrous metallurgy, 2013, No. 7. - S. 27-32.

**Сведения об авторах:**

*Штыкова И.В.* – магистр экономики и менеджмента, старший преподаватель, заведующая кафедрой «Автоматизация, информационные системы и безопасность», Рудненский индустриальный институт, ул. 50 лет Октября, 38, Рудный, Казахстан.

*Обухова О.Н.* – к.т.н., ведущий инженер-программист, ПТУ «Рудоавтоматика», АО «Соколовско-Сарбайское горно-производственное объединение», ул. Ленина, 26, Рудный, Казахстан.

*Шинкевич Т.А.* – магистр автоматизации и управления, старший преподаватель кафедры «Автоматизация, информационные системы и безопасность», Рудненский индустриальный институт, ул. 50 лет Октября, 38, Рудный, Казахстан.

*Маданов К.С.* – студент группы АУ-15, специальность «Автоматизация и управления», Рудненский индустриальный институт, ул. 50 лет Октября, 38, Рудный, Казахстан.

*Shtykova I. V.* – Master of Economic and Management, Senior Lecturer, Head of the Department of Automation, Information Systems and Security, Rudny Industrial Institute, 50-let Oktyabrya, str.38, Rudny, Kazakhstan.

*Obukhova O.N.* – Candidate of Technical Sciences, Lead of Software Engineer, PTM "Rudoavtomatika", JSC "Sokolov Sarbai Mining Production Association", Lenin str.26, Rudny, Kazakhstan.

*Shinkevich T.A.* – Master of Automaton and Control, Senior Lecturer of the Department of Automation, Information Systems and Security, Rudny Industrial Institute, 50-let Oktyabrya, str. 38, Rudny, Kazakhstan.

*Madanov K.S.* – Student of the specialty group AU-15 "Automation and control", Rudny Industrial Institute, 50-let Oktyabrya, str. 38, Rudny, Kazakhstan.

*Поступила в редакцию 27.09.2019*