

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Металлургия черных и цветных сплавов»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой  
«Металлургия черных и цветных  
сплавов»

д. т. н., профессор Немененок Б.М.


  
« 20 » 06 2019 г.

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В  
ТОПЛИВНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ**

Специальность 1- 42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка»  
Направление 1 – 42 01 01 03 «Металлургическое производство и материалобработка»  
специальности (промышленная безопасность)

Обучающейся группы 10405314

  
« 17 » 06 2019 г. А.Н. Роскач

Руководитель

  
« 19 » 06 2019 г. П.Э. Ратников

Консультанты:

по технологическому и специальному  
разделам

  
« 19 » 06 2019 г. П.Э. Ратников

по разделу экономика  
и организация производства

  
« 19 » 06 2019 г. П.Э. Ратников

по разделу охрана труда

  
« 10 » 06 2019 г. А. М. Лазаренков

по разделу экологическая безопас-  
ность

  
« 19 » 06 2019 г. И. А. Трусова

Ответственный за нормоконтроль

  
« 20 » 06 2019 г. Г. А. Румянцева

Объем проекта:

Расчетно - пояснительная записка – 108 страниц;

Графическая часть – 8 листов;

Цифровые носители – 1 единица.

Минск 2019

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект: 108 с., 21 рис., 31 табл., 38 источников.

СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА, ОКСИДЫ АЗОТА, ТОПЛИВНЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ, ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ ОБОГАЩЕННОГО КИСЛОРОДНОГО ДУТЯ, СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ.

**Цель дипломного проекта:** разработать мероприятия по снижению вредных выбросов в топливных нагревательных печах.

**Объектом исследования** являются процессы сжигания газообразного топлива и процессы образования вредных выбросов в газовых печах.

В дипломном проекте проведен литературный обзор, посвященный механизму образования оксидов азота и методов борьбы с ними в газовых печах. В работе предложен метод снижения образования оксидов азота путем обогащения воздушного дутья кислородом. Проведены расчеты показывающие снижение удельного выброса оксида азота на единицу сжигаемого топлива при обогащении воздушного дутья кислородом. Приведены теплотехнические расчеты, подтверждающие существенную экономию топлива при использовании данного метода. Также в дипломном проекте уделено внимание вопросам обеспечения безопасной эксплуатации газового нагревательного оборудования, вопросам защиты персонала от воздействия вредных производственных факторов, вопросам охраны труда и экологической безопасности.

Студент-дипломник подтверждает, что приведенный в дипломном проекте расчетно-аналитический материал объективно отражает состояние исследуемого процесса, все заимствованные из литературных и других источников теоретические и методологические положения и концепции сопровождаются ссылками на их авторов.

					ДП-1040531413-2019-РПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Реферат	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Роскач А.Н.		19.04				
Провер.		Ратников П.Э.		19.04			3	108
Т. Контр.		Ратников П.Э.		19.04				
Н. Контр.		Румянцева Г.А.		20.04				
Утверд.		Немененок Б.М.		20.06.19				
						1-42 01 01 БНТУ, г. Минск		

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Practical Consideration for the Development of Industrial Low Emissions Combustor Study [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2006/PAPERS/483.PDF](https://icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2006/PAPERS/483.PDF) – Дата доступа: 29.03.2019

2. Использование топлива и загрязнение окружающей среды [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://www.docme.ru/doc/1519725/ispol.\\_zovanie-topliva-i-zagryaznenie-okruzhayushhej-sredy--chas](https://www.docme.ru/doc/1519725/ispol._zovanie-topliva-i-zagryaznenie-okruzhayushhej-sredy--chas) – Дата доступа: 29.03.2019

3. Combustion Fundamentals and Concepts of Advanced Burner Technology [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/industries\\_technologies/combustion/pdfs/combustion\\_roadmap2.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/industries_technologies/combustion/pdfs/combustion_roadmap2.pdf) – Дата доступа: 15.04.2019

4. Высокотемпературные (HTR) сводовые излучающие горелки Bloom low-NO<sub>x</sub> [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.k-s-ural.ru/media/catalog/files/1344243349.pdf> – Дата доступа: 15.04.2019

5. Совершенствование высокотемпературных рекуператоров как способ повышения эффективности использования топлива в нагревательных печах [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://pandia.ru/text/80/468/71073-4.php> – Дата доступа: 15.04.2019

6. Расширение технологических возможностей схем рециркуляции продуктов сгорания на газомазутных котлах / В. В. Ульянов [и др.]. – М.: Электрические станции, 2005. – № 2. – С. 30–35.

7. ГОСТ Р 50591–93. Введ. 01.07.94. Горелки газовые промышленные. Предельные нормы концентраций NO<sub>x</sub> в продуктах сгорания: – М: ИПК Изд-во Стандартов, 1997. – 6 с.

8. First Annual Top Plants Survey [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://energy.bntu.by/jour/article/view/161?locale=en\\_US](https://energy.bntu.by/jour/article/view/161?locale=en_US) – Дата доступа: 15.04.2019

9. Абрютин, А. А. Исследование влияния ступенчатого сжигания топлива на теплообмен в топках газомазутных котлов. / А. А. Абрютин, В. В. Чупров. – М.: Теплоэнергетика, 2007. – № 2. – С. 54–61.

ДП–1040531413–2019–РПЗ									
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Список использованной литературы	Лит.	Лист	Листов	
		Роскач А.Н.		20.6.19					
		Ратников П.Э.		19.06				105	108
		Ратников П.Э.		19.06					
		Румянцева Г.А.		20.06					
		Немененок Б.М.		20.6.19					
1-42 01 01 БНТУ, г. Минск									

10. Тумановский, А. Г. Перспективы решения экологических проблем тепловых электростанций. / А. Г. Тумановский, В. Р. Котлер. – М.: Теплоэнергетика, 2007. – № 6. – С. 5–11.

11. Котлер, В. Р. Использование газа на тепловых электростанциях США и проблемы экологии. / В. Р. Котлер, С. Е. Беликов, В. А. Верещетин,. – М.: Электрические станции, 2004. – № 4. – С. 66–68.

12. Курочкин, А. В. Уменьшение выбросов оксидов азота за счет режимных мероприятий при сжигании природного газа. / А. В. Курочкин, А. Ф. Беляев, С. Е. Беликов. – М.: Промышленная энергетика, 2004. – № 12. – С. 49–52.

13. Результаты исследования некоторых методов снижения выбросов оксидов азота на ПГУ 170 Невинномысской ГРЭС / А. Ф. Гаврилов [и др.]. – М.: Электрические станции, 2005. – № 8. – С. 32–37.

14. Внуков, А. К. Цена подавления оксидов азота рециркуляцией газов на котлах / А. К. Внуков, Ф. А. Розанова. – Минск: Энергетик, 2008. – № 7. – С. 35–36.

15. Давидсон, А. М. Исследование и совершенствование процесса сжигания газообразного топлива. / А. М. Давидсон, А. Л. Рутковский. – М.: Известие вузов Черная металлургия, 2006. – № 4. – С. 67–71.

16. Сравнительная оценка экологических характеристик печей [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://energy.bntu.by/jour/article/view/1217?locale=en\\_US](https://energy.bntu.by/jour/article/view/1217?locale=en_US) Дата доступа: 15.04.2019

17. Промышленные печи в проблеме снижения выбросов оксида азота [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://energy.bntu.by/jour/article/viewFile/1156/1130> – Дата доступа: 28.04.2019

18. North American Mfg Co [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://euromash.net/producers/north-american-mfg-co> – Дата доступа: 28.04.2019

19. Ultra-low emission burners INFUR NO<sub>x</sub> [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.bceitalia.com/products/ultra-low-nox-burners-dtpje/> – Дата доступа: 28.04.2019

20. Regenerative Burners or Oxy-Fuel Burners for Your Furnace Upgrade [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.industrialheating.com/articles/90063-regenerative-burners-or-oxy-fuel-burners-for-your-furnace-upgrade?v=preview> – Дата доступа: 28.04.2019

21. Ovako, Hofors Works – 13 Years’ Experince of Using Oxy-fuel for Steel Reheating [Электронный ресурс] – режим доступа: [http://www.linde-gas.ru/ru/images/13%20years%20with%20oxyfuel%20reheating%20at%20ovako\\_tcm482-10831.pdf](http://www.linde-gas.ru/ru/images/13%20years%20with%20oxyfuel%20reheating%20at%20ovako_tcm482-10831.pdf) – Дата доступа: 28.04.2019

					ДП – 1040531413-2019 - РПЗ	Лист 106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

22. 25 % Increased Reheating Throughput and 50 % reduced Fuel Consumption by Flameless Oxy-fuel at Arcelor Mittal Shelby – Tubular Products [Электронный ресурс] – режим доступа: [http://www.linde-gas.kz/en/images/Installation%20in%20rotary%20hearth%20furnace%20at%20arcelor\\_mittal\\_tcm920-10822.pdf](http://www.linde-gas.kz/en/images/Installation%20in%20rotary%20hearth%20furnace%20at%20arcelor_mittal_tcm920-10822.pdf) – Дата доступа: 28.04.2019

23. Oxyfuel Firing System on the No [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-7991-9\\_39](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-7991-9_39) – Дата доступа: 03.05.2019

24. 30% Increased Capacity of Metal Coating Lines at Thyssen Krupp Stell [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.linde-gas.ru/en/legacy/attachment?files=tcm:1469-10818,tcm:469-10818,tcm:69-10818> – Дата доступа: 03.05.2019

25. North American Combustion Handbook [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://combustion.fivesgroup.com/literature/north-american/handbooks.html> – Дата доступа: 03.05.2019

26. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах (состав и термодинамические свойства) / Карп И.Н [и др.]. – Киев: Техника, 1967. – 381с.

27. Тымчак, В. М. Справочник конструктора печей прокатного производства / В.М. Тымчак. – М.: Металлургия, 1970. – 575 с.

28. Ревун, М.П. Интенсификация работы нагревательных печей / М. П. Ревун, В. И. Гранковский, А. Н. Байбуз. – Киев: Техника, 1987. – 137 с.

29. Интенсификация тепловых процессов в высокотемпературных установках на примере нагревательных печей РУП «БМЗ» путем обогащения воздушной смеси кислородом [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/intensifikatsiya-teplovyyh-protseessov-v-vysokotemperaturnyh-ustanovkah-na-primere-nagrevatelnyh-pechey-oao-bmz-putem-obogascheniya> Дата доступа: 03.05.2019

30. Комплексные экспериментальные и теоретические исследования температурно-тепловых режимов работы нагревательных устройств прокатных станов РУП «Белорусский металлургический завод» [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://lib.knigi-x.ru/23tehnicheskie/107583-1-kompleksnie-eksperimentalnie-teoreticheskie-issledovaniya-primenitelno-nagrevatelnim-pecham-rup-beloru.php> – Дата доступа: 03.05.2019

31. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/86049/> – Дата доступа: 24.05.2019

32. Математическая теория горения и взрыва / Я. Б. Зельдович, [и др.]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

										Лист
										107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

33. Повышение экономической эффективности процессов топливных теплоэнергетических установок путем обогащения технологического воздуха кислородом [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2011/11/5024> – Дата доступа: 24.05.2019

34. Лазаренков, А. М. Охрана труда в машиностроении: учебное пособие / А. М. Лазаренков. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 446 с.

35. ГОСТ 12.1.030–81. ССБТ. Электробезопасность: – Введ. 01.07.82. – М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1981. 9 с.

36. ГОСТ 12.3.027–04. ССБТ. Работы литейные. Требования безопасности: – Введ. 19.07.05; – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2005. – 6 с.

37. ГОСТ 12.2.04.60–04. ССБТ. Оборудование для литейного производства. Требования безопасности: – Введ. 19.07.05. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2005. – 5 с.

38. ТКП 45-3.02-209–2010. Административные и бытовые здания. Строительные нормы проектирования: – Введ. 15.07.2010. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 7 с.

					ДП – 1040531413-2019 - РПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108