

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 3 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных  
систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/MEBG1583>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Талипов О. М.

*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 44.31.35

<https://doi.org/10.48081/INOP2947>**\*Г. А. Айтмагамбетова<sup>1</sup>, А. С. Никуфоров<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

1ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7934-9990>2ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6977-0957>\*e-mail: [gul\\_2904@mail.ru](mailto:gul_2904@mail.ru)

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ПО ПРОКАЛКЕ КОКСА**

*Данная статья представляет исследование, посвященное вопросам оптимизации энергоэффективности комплекса по прокатке кокса. Авторы осуществляют анализ процесса с использованием метода графов, который является мощным инструментом для изучения технологических схем. Они демонстрируют процесс построения ориентированного графа, а также составления структурной матрицы и матрицы смежности контуров схемы. Это позволяет подробно описать структуру графа и предоставить математическую основу для оптимизации процесса моделирования. Дополнительно, для каждого элемента схемы разрабатываются балансовые уравнения энергетических потоков, анализируются перепады давлений и энтальпий. Такой подход способствует более эффективному управлению энергопотоками и оптимизации работы комплекса, что важно для повышения его производительности и снижения затрат. Дополнительно к анализу энергоэффективности и оптимизации процесса прокатки кокса, статья также обсуждает значимость этих методов для современной промышленности. Представленный подход к моделированию и оптимизации процессов является ключевым для улучшения конкурентоспособности предприятий и снижения их экологического воздействия. Такой комплексный подход не только способствует повышению эффективности*

*производства, но и позволяет сократить затраты и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Таким образом, статья представляет не только теоретический анализ, но и практические рекомендации для улучшения энергоэффективности промышленных процессов.*

*Ключевые слова: оптимизация, энергоэффективность, прокалка кокса, метод графа, матрица.*

## **Введение**

Промышленные предприятия, занимающиеся прокалкой кокса, сталкиваются с постоянной потребностью в оптимизации процессов, направленных на повышение энергоэффективности и снижение негативного воздействия на окружающую среду. В данном исследовании внимание уделено некоторым ключевым аспектам оптимизационной задачи энергоэффективной работы комплекса по прокалке кокса и рассматриваются методы и подходы к их решению [1, с. 12].

Сжигание кокса является основным источником энергии для процесса прокалки кокса. Эффективное управление этим процессом позволяет сократить расход топлива и минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Достижение оптимального состава газовой среды и контроль скорости сжигания кокса играют решающую роль в эффективности этого процесса [2, с. 36].

Однако, достижение оптимальных результатов в процессе прокалки кокса требует комплексного подхода и внимательного изучения различных факторов, влияющих на энергетическую эффективность. На протяжении десятилетий инженеры и ученые активно работают над разработкой новых технологий и методов, направленных на улучшение процессов прокалки кокса и снижение потребления энергии.

Одним из ключевых аспектов оптимизации является внедрение современных систем мониторинга и управления, которые позволяют непрерывно контролировать параметры процесса и оперативно реагировать на изменения. Это включает в себя использование автоматизированных систем управления, а также разработку алгоритмов оптимального управления, основанных на математических моделях процесса.

Размещение датчиков температуры в различных зонах печи позволяет непрерывно отслеживать и контролировать температурный режим внутри печи.

Контроль теплового режима в печах прокалки является ключевым фактором для обеспечения равномерности прокалки кокса и минимизации энергозатрат. Оптимизация распределения тепла внутри печей позволяет снизить потери тепла и повысить эффективность процесса [3, с. 46].

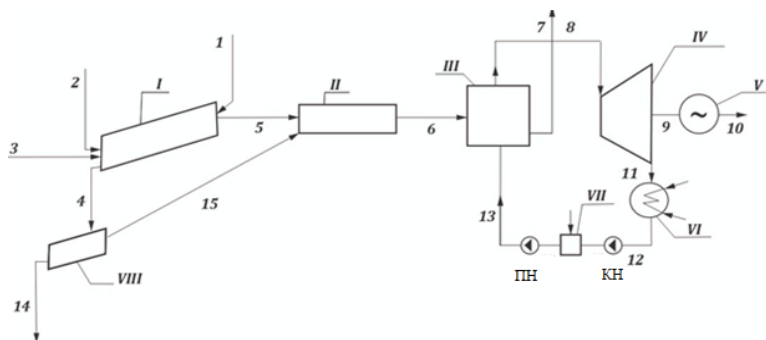
Применение математических моделей для анализа и оптимизации процессов прокалики кокса позволяет предсказать поведение системы при различных условиях и определить оптимальные параметры работы комплекса [4, с. 536]. Это позволяет сократить время настройки оборудования и повысить его эффективность.

В целом, оптимизация энергоэффективной работы комплекса по прокалике кокса является ключевым фактором для повышения его конкурентоспособности и сокращения негативного воздействия на окружающую среду. Эффективное управление процессами прокалики кокса и внедрение новых технологий - основные направления работы для достижения этих целей.

#### **Материалы и методы**

Процесс обработки нефтяного кокса перед его использованием в промышленности для производства различных видов электродной продукции, такой как аноды и графит, называется прокаливанием.

В последнее время спрос на этот тип кокса постоянно растет, но внутренние производственные мощности не могут полностью удовлетворить его. Особенно остро нехватка кокса ощущается в алюминиевой промышленности, где потребность достигает около 500 тысяч тонн в год. Этот недостаток может еще усилиться с увеличением производства алюминия и электродов в будущем. Ситуация с поставками кокса становится все сложнее из-за сокращения его доступности на мировом рынке, что приводит к необходимости оптимизации процессов прокаливания для удовлетворения растущего спроса отечественной промышленности. Важные детали о технологической схеме и распределении материальных потоков в процессе производства прокаленного кокса представлены на рисунке 1 [5, с. 5].



I - печь прокаливания, II – печь дожига, III – котел-утилизатор, IV- турбина, V – электрогенератор, VI – конденсатор, VII - деаэратор, VIII – холодильник, КП - конденсационный насос, ПН-питательный насос. 1 – подача нефтяного кокса, 2 –топливо, 3 - воздух, 4, 14 – прокаленный кокс, 5, 6 – отходящие газы, 7 - дымовые газы, 8, 15 – пар, 9 – связь по механической энергии, 10– связь по электроэнергии, 11– отработавший пар, 12 –конденсат, 13 – питательная вода.

Рисунок 1 – Технологическая схема комплекса по производству прокаленного кокса в барабанных печах

Исходным материалом для процесса проковки нефтяного кокса служит сырой нефтяной кокс, получаемый в результате вторичной переработки нефти. Процедура проковки предполагает нагревание кокса до температуры, колеблющейся в пределах от 1250 до 1350 °С.

Во время этого процесса происходят изменения в структуре кокса, сопровождаемые выделением водорода в форме метана и других углеводородных соединений, которые последующе сжигаются в специальных печах.

Главная цель проковки заключается в улучшении физических и химических характеристик кокса, включая электрическое сопротивление, плотность, окисляемость и реакционную способность [6, с. 32]. Это позволяет достичь необходимых свойств конечного продукта.

Процесс проковки кокса представляет собой технологическую операцию, в ходе которой сырой нефтяной кокс подвергается нагреванию в специальной барабанной печи. Эта печь имеет конструктивные характеристики, такие как размеры 65 м в длину и 3,47 м в диаметре, а также установлена под углом 4° к горизонту. Печь способна вращаться со скоростью до двух оборотов в минуту.

Процесс начинается с загрузки сырого нефтяного кокса в печь. Подача топлива для горения и воздуха осуществляется с противоположных

сторон, что позволяет обеспечить эффективный теплообмен. Воздух, необходимый для полного сгорания, подается в печь с помощью вентиляторов.

В процессе сжигания, кокс полностью освобождается от влаги и летучих веществ, и его подвергают нагреванию до 1350 °С.

Основным топливом в печах является мазут, но для розжига и увеличения температуры свыше 350 °С используют дизельное топливо.

В холодильнике, предназначенном для охлаждения прокаленного кокса до температуры 100 °С, используют способ прямого орошения водой. При охлаждение кокса вода испаряется, образовавшийся пар улавливают и направляют в печь дожига, предварительно проведя очистку в циклонном пылеуловителе от мелких частиц прокаленного кокса, которые вследствие поступают на ленточный конвейер как готовая продукция. Охлажденный кокс направляется на хранение.

Весь процесс занимает не менее 45 минут и осуществляется под контролем для обеспечения качественного прокаленного продукта.

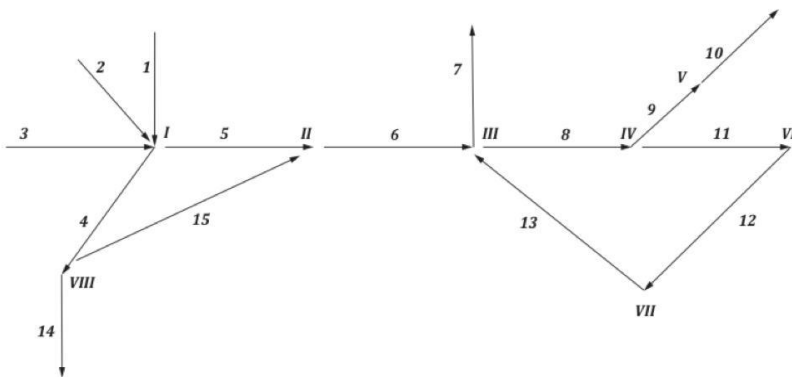
Тепло, которое выделяется в процессе прокаливания нефтяного кокса используется для получения пара в котлах-утилизаторах. Далее пар, как и в традиционных паротурбинных установках, используется при выработки электроэнергии для собственных нужд промышленного предприятия. Паропроизводительность одного котла-утилизатора составляет 35 т/час, общий расход пара на производство электроэнергии – 54-64 т/час.

Турбины, установленные в данной технологической схеме, конденсационные, мощностью по 3 МВт, суммарная мощность – 12 МВт. Избыток электрической энергии, не используемый на предприятии реализуется.

Для обеспечения котла-утилизатора питательной водой используется смесь конденсата отработавшего в турбине пара и обессоленной добавочной воды, которая дополнительно очищается от агрессивных газов в термическом деаэраторе. Деаэрация осуществляется при давлении 0,12 МПа и температуре 104 °С.

Для оптимизации энергоэффективности работы комплекса проковки кокса используется математический аппарат теории графов [7, с. 202].

Для оптимизации производственного процесса проковки кокса часто используется ориентированный граф, который отражает технологическую схему комплекса. В соответствии с технологической схемой (рисунок 1), составляется ориентированный граф (рисунок 2).



*I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII - номера элементов;  
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – номера связей.*

Рисунок 2 – Ориентированный граф технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса

На графе отображаются такие элементы, как загрузка сырья, нагревочные печи, системы охлаждения, управляющие устройства и прочие компоненты процесса. Каждый узел графа представляет собой определенный этап производства, а ребра указывают направление потока материалов или информации между этапами. Таким образом, ориентированный граф дает общее представление о том, как происходит производство прокаленного кокса. Каждый этап может быть детализирован с учетом конкретных технологических особенностей комплекса.

Ориентированный граф технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса является важным инструментом для анализа и оптимизации производственных процессов. Для создания структурной матрицы технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса, мы должны выделить все связи между элементами системы и представить их в виде матрицы.

Структурная матрица состоит из строк и столбцов. Каждый столбец и каждая строка соответствуют элементу системы. Элементы матрицы представляют собой связи между этими элементами.

Таблица 1 – Структурная матрица

Номер связи (i)	Номер элемента (j)								Сумма признаков
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1								1



2	1								1
3	1								1
4	-1							1	0
5	-1	1							0
6		-1	1						0
7			-1						-1
8			-1	1					0
9				-1	1				0
10					-1				-1
11					-1	1			0
12						-1	1		0
13			1				-1		0
14								-1	-1
15		1						-1	0
Сумма признаков	5	3	4	2	3	2	2	3	

Структурная матрица имеет один дополнительный столбец, который отражает тип связи (внешняя или внутренняя). Для внешних связей используются значения «-1» - для исходящих и «+1» - для входящих (в зависимости от направления связи), а для внутренних связей - значения «1» и «-1» (с противоположными знаками, дающими в сумме ноль).

Следовательно, структурная матрица полностью описывает структуру графа технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса и позволяет переписать граф в математическом виде для дальнейшей оптимизации процесса моделирования [8, с. 53].

Структурная матрица содержит элементы служебного столбца, которые представляют сумму признаков связи вдоль каждого столбца:

- I элемента соответствует 5 признаков;
- II элемента соответствует 3 признака;
- III элемента соответствует 4 признака;
- IV элемента соответствует 2 признака;
- V элемента соответствует 3 признака;
- VI элемента соответствует 2 признака;
- VII элемента соответствует 2 признака;

- VIII элемента соответствует 3 признака.

В дополнительном столбце таблицы, элемент  $i$ -го ( $n+1$ )-го столбца матрицы представляет тип связи в системе (внешняя или внутренняя). Номер каждой связи сопровождается указанием количества признаков: для 1-й связи 1 признак, для 2-й связи 1 признак, для 3-й связи 1 признак и так далее.

Для анализа рассматриваемой технологической схемы применяются дополнительные матрицы, включая матрицу смежности (таблица 2).

Таблица 2 Матрица смежности

Номера элементов (i)	Номера элементов (j)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I		1						1
II			1					
III				1				
IV					1	1		
V								
VI							1	
VII			1					
VIII		1						

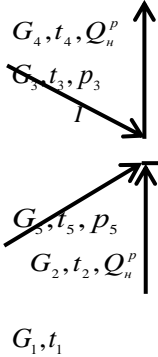
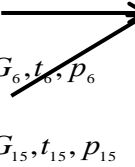
Матрица смежности отражает соединения между различными компонентами. Это таблица, в которой строки и столбцы обозначаются номерами элементов в схеме. Если в ячейке ( $i, j$ ) есть «1», это означает наличие связи от элемента  $i$  к элементу  $j$ .

Анализируя эту матрицу, можно определить количество контуров в схеме и компоненты, входящие в эти контуры. В технологической схеме обнаружено 9 связей между элементами.

Совокупность уравнений материального, энергетического балансов, уравнений изменения давления и энтальпий записывается для каждого элемента системы, образуя систему балансовых уравнений. Для удобства, эти уравнения представлены в таблице 3.

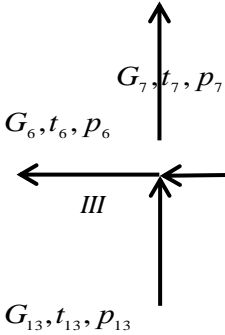
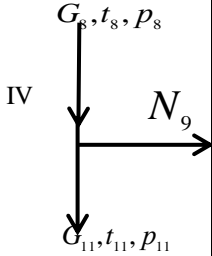
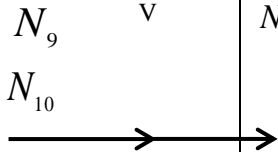
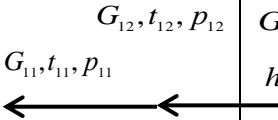
Таблица 3 – Система балансовых уравнений

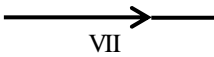
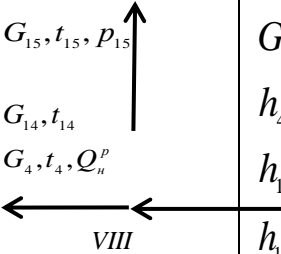
№	Граф (обозначение) элемента	Балансовые уравнения	
			Номер уравне
1	2	3	4

I	<p>Печь прокаливания</p> 	$G_1 - G_4 = 0; G_2 + G_3 - G_5 = 0;$ $G_1 h_1 - G_4 h_4 + G_2 h_2 + G_3 h_3 - \gamma_1 G_5 h_5 = 0$ $h_1 + \Delta h_{1,4} - h_4 = 0; h_2 + \Delta h_2 = 0;$ $h_3 + \Delta h_3 = 0; h_5 - \Delta h_5 = 0;$ $p_1 + \Delta p_{1,4} - p_4 = 0;$ $p_2 - \Delta p_2 = 0; p_3 - \Delta p_3 = 0;$ $p_5 + \Delta p_5 = 0;$ $h_1 = f(t_1, Q_n^p); h_2 = f(t_2, p_2, Q_n^p);$ $h_3 = f(t_3, p_3); h_4 = f(t_4, Q_n^p);$ $h_5 = f(t_5, p_5, \text{состав}).$	(1.1)
II	<p>Печь дожига</p> 	$G_5 + G_{15} - G_6 = 0;$ $G_5 h_5 + G_{15} h_{15} - \gamma_2 G_6 h_6 = 0$ $h_5 - \Delta h_5 = 0; h_6 - \Delta h_6 = 0;$ $h_{15} - \Delta h_{15} = 0;$ $p_5 - \Delta p_5 = 0; p_6 + \Delta p_6 = 0;$ $p_{15} - \Delta p_{15} = 0;$ $h_6 = f(t_6, p_6, \text{состав});$ $h_{15} = f(t_{15}, p_{15})$	(1.2)

продолжение таблицы 3

1	2	3	4
---	---	---	---

<p>III</p>	<p>Котел утилизатор</p>  <p><math>G_8, t_8, p_8</math></p> <p><math>G_7, t_7, p_7</math></p> <p><math>G_6, t_6, p_6</math></p> <p>III</p> <p><math>G_{13}, t_{13}, p_{13}</math></p>	<p><math>G_6 - \gamma_3 G_7 = 0; \quad G_{13} - G_8 = 0</math></p> <p>;</p> <p><math>G_6 h_6 - \gamma_2 G_7 h_7 + G_{13} h_{13} - G_8 h_8 = 0;</math></p> <p><math>h_6 - \Delta h_6 = 0; \quad h_7 - \Delta h_7 = 0;</math></p> <p><math>h_{13} - \Delta h_{13} = 0; \quad h_8 - \Delta h_8 = 0;</math></p> <p><math>p_6 - \Delta p_6 = 0; \quad p_7 - \Delta p_7 = 0;</math></p> <p><math>p_8 - \Delta p_8 = 0; \quad p_{13} - \Delta p_{13} = 0;</math></p> <p><math>h_7 = f(t_7, p_7); \quad h_8 = f(t_8, p_8);</math></p> <p><math>h_{13} = f(t_{13}, p_{13}).</math></p>	<p>(1.3)</p>
<p>IV</p>	<p>Турбина</p>  <p><math>G_8, t_8, p_8</math></p> <p>IV</p> <p><math>N_9</math></p> <p><math>G_{11}, t_{11}, p_{11}</math></p>	<p>;</p> <p><math>G_8 - G_{11} - \frac{1}{\gamma_4} \cdot N_9 = 0</math></p> <p>;</p> <p><math>G_8 h_8 - G_{11} h_{11} - \frac{1}{\gamma_4} \cdot N_9 = 0</math></p> <p><math>h_8 - \Delta h_{8,11} - h_{11} = 0;</math></p> <p><math>p_8 - \Delta p_{8,11} - p_{11} = 0;</math></p> <p><math>h_{11} = f(t_{11}, p_{11})</math></p>	<p>(1.4)</p>
<p>V</p>	<p>Электрогенератор</p>  <p><math>N_9</math></p> <p>V</p> <p><math>N_{10}</math></p>	<p>;</p> <p><math>N_9 - \frac{1}{\gamma_5} \cdot N_{10} = 0</math></p>	<p>(1.5)</p>
<p>VI</p>	<p>Конденсатор</p>  <p><math>G_{12}, t_{12}, p_{12}</math></p> <p><math>G_{11}, t_{11}, p_{11}</math></p> <p>VI</p>	<p><math>G_{11} - \gamma_6 G_{12} = 0;</math></p> <p><math>G_{11} h_{11} - \gamma_6 G_{12} h_{12} = 0;</math></p> <p><math>h_{11} - \Delta h_{11} = 0; \quad h_{12} - \Delta h_{12} = 0;</math></p>	<p>(1.6)</p>

		$p_{11} - \Delta p_{11} = 0;$ $p_{12} - \Delta p_{12} = 0;$ $h_{12} = f(t_{12}, p_{12}).$	
VII	Деаэратор  $G_{12}, t_{12}, p_{12}$ $G_{13}, t_{13}, p_{13}$  	$G_{12} - \gamma_7 G_{13} = 0;$ $G_{12} h_{12} - \gamma_7 G_{13} h_{13} = 0;$ $h_{12} - \Delta h_{12} = 0;$ $h_{13} - \Delta h_{13} = 0;$ $p_{12} - \Delta p_{12} = 0;$ $p_{13} - \Delta p_{13} = 0.$	(1.7)
VIII	Холодильник  $G_{15}, t_{15}, p_{15}$ $G_{14}, t_{14}$ $G_4, t_4, Q_n^p$  	$G_4 - \gamma_8 G_{14} - G_{15} = 0;$ $G_4 h_4 - \gamma_8 G_{14} h_{14} - G_{15} h_{15} = 0;$ $h_4 - \Delta h_4 = 0;$ $h_{14} - \Delta h_{14} = 0;$ $h_{15} - \Delta h_{15} = 0; p_4 - \Delta p_4 = 0;$ $p_{14} - \Delta p_{14} = 0;$ $p_{15} - \Delta p_{15} = 0;$ $h_{14} = f(t_{14}, Q_n^p).$	(1.8)

Из таблицы 3 видно, что для всех элементов, составлены энергетические, материальные балансы потоков, перепады давления, изменения энтальпии потоков в оборудовании технологической схемы комплекса прокатки кокса [9, с.498].

Уравнения балансов каждого элемента представлены в виде:  
– равенство прихода и расхода энергий  $k$ -го элемента:

$$\sum_{j=1}^{N_k} (\gamma Gh)_j + \sum_{n=1}^{P_k} (\gamma G)_n = 0 \quad ; \quad (1.1)$$

– равенства расходов  $i$ -го энергетических потоков  $k$ -го элемента:

$$\sum_{j=1}^{N_k} G_j = 0 \quad ; \quad (1.2)$$

– перепад давлений  $i$ -го энергетического потока  $k$ -го элемента:

$$(p' \pm \Delta p - p'')_{ki} = 0; \quad (1.3)$$

– теплоперепад  $i$ -го энергетического потока  $k$ -го элемента:

$$(h' \pm \Delta h - h'')_{ki} = 0; \quad (1.4)$$

где  $G$  – расход энергетического потока;

$E$  – мощность электрических или механических связей;

$p$  и  $h$  – давления и энтальпии энергетических потоков исходящей (//) или входящей (') связи элемента;

$\Delta p$  и  $\Delta h$  – перепады давлений и энтальпий энергетических потоков каждого из элементов;

$\gamma$  – значение постоянного коэффициента для учета потерь энергий потоков энергоносителей в окружающую среду (потоков теплоты, механический или электрический КПД – для входящих связей, и в обратном направлении – для исходящих потоков);

$N$  и  $P$  – значение мощностей, соответственно, для связи с множеством параметров и с одним параметром.

Составляя уравнения, потоки, входящие в элемент, обозначаются как положительные, а выходящие – как отрицательные. Для удобства определения коэффициентов, учитывающих потери энергии в окружающую среду, в уравнениях можно привести коэффициенты при всех потоках к одному значению, которое соответствует максимальной мощности, присущей данному элементу.

### Результаты и обсуждение

Для оптимизации энергоэффективности работы комплекса по производству прокаленного кокса, применяется математический аппарат теории графов. Ориентированный граф, отображающий технологическую

схему комплекса, является ключевым инструментом для анализа и оптимизации производственных процессов [10, с. 85].

Составляя структурную матрицу технологической схемы, были выделены все связи между элементами системы и представлены в виде матрицы.

Для анализа рассматриваемой технологической схемы также были применены дополнительные матрицы, включая матрицу смежности. Матрица смежности позволяет определить количество контуров в схеме и компоненты, входящие в эти контуры. В технической схеме обнаружено 9 связей между элементами.

Для каждого элемента системы были составлены системы балансовых уравнений, включая энергетический баланс, материальные балансы вещественных потоков, изменения давления и энтальпии.

### **Выводы**

Таким образом, использование математического аппарата теории графов и системы балансовых уравнений является эффективным подходом к оптимизации производственного процесса прокалики кокса. Эти методы обеспечивают комплексное моделирование и анализ системы, что способствует повышению энергоэффективности и экономической эффективности производства.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Качан, Д. М.** Интенсификация процесса прокаливания нефтяного кокса в камерных печах [Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук]. – Санкт-Петербург. – 2005. – 17 с.

2 Обзор рынка нефтяного кокса (сырого и прокаленного) в России, СНГ и мире. Язык отчета: Русский, 2023 г. – 188 с.

3 **Эльканци, Э. М.** Кинетический анализ процессов обжига кокса во вращающихся печах [Kinetic Analysis of the Coke Calcination Processes in Rotary Kilns], Методики, технологии и приложения моделирования и симуляции [Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications]. 2014. – С. 45–54.

4 **Бун, Р. Т., Симард, Г., Шаретт, А., Кокаефе, Ю., Перрон, Дж.** Математическое моделирование вращающейся печи для обжига кокса [Mathematical modeling of the rotary coke calcining kiln First published], Канадский журнал химической инженерии [Canadian Journal of Chemical Engineering]. Том 73. – Выпуск 4 – 1995 г., – С. 534–545.

5 **Кочаефе, Я.** Математическое моделирование вращающейся печи обжига кокса [Mathematical modeling of a rotary coke kiln], Канадский журнал химической инженерии [Canadian Journal of Chemical Engineering]. – 1995. – 12 с.

6 **Седнин, В. А.** Моделирование, оптимизация и управление теплотехническими системами: учебно-методическое пособие для

студентов специальности «Промышленная теплоэнергетика» – Минск: БНТУ, 2021. – 67 с.

7 **Попырин, Л. С.** Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок – М.: Энергия. – 1978. – 342 с.

8 **Вульман, Ф. А., Корягин, А. В., Кривошей, М. З.** Математическое моделирование тепловых схем – М.: Машиностроение. – 1985. – 112 с.

9 **Тарасюк, В. П.** Математическое моделирование технических систем – Минск: ДизайнПРО. – 1997. – 640 с.

10 **Березина, Л. Ю.** Графы и их применение: пособие для учителей – М.: Просвещение. – 1979. – 143 с.

## REFERENCES

1 **Kachan, D. M.** Intensifikaciya processa prokalivaniya neftyanogo koxsa v kamerny`x pechax [Intensification of the process of calcination of petroleum coke in chamber furnaces], Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenojstepeni kandidata texnicheskix nauk [Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Saint Petersburg, 2005. – 17 p.

2 **Obzor ry`nka neftyanogo koxsa (sy`rogo i prokalenogo) v Rossii, SNG i mire** [Review of the petroleum coke market (raw and calcined) in Russia, the CIS and the world], Yazy`k otcheta: Russkij [Report language: Russian], 2023. – 188 p.

3 **Elkanzi, E. M.** Kinetic Analysis of the Coke Calcination Processes in Rotary Kilns, Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 2014, pp. 45-54

4 **Bui, R. T., Simard, G., Charette, A., Kocaefe, Y., Perron, J.** Mathematical modeling of the rotary coke calcining kiln First published: Volume 73, Issue 4, 1995, p. 534-545

5 **Kocaefe, Yasar** Mathematical modeling of the rotary coke calcining kiln, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1995. - 12 p.

6 **Sednin, V. A.** Modelirovanie, optimizaciya i upravlenie teplotexnicheskimi sistemami [Modeling, optimization and control of thermal systems], uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov special`nosti «Promy`shlennaya teploe`nergetika» [educational and methodological manual for students of the specialty «Industrial Heat and Power Engineering»] – Минск: БНТУ, 2021. – 67 p.

7 **Попырин, Л. С.** Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок [Mathematical modeling and optimization of thermal power plants] – М.: Энергия, 1978. – 342 p.

8 **Вульман, Ф. А., Корягин, А. В., Кривошей, М. З.** Математическое моделирование тепловых схем [Mathematical modeling of thermal circuits] – М.: Mechanical Engineering. – 1985. – 112 p.



9 **Tarasyuk, V. P.** Matematicheskoe modelirovanie texnicheskix system [Mathematical modeling of technical systems] – Minsk: DesignPRO, 1997. – 640 p.

10 **Berezina, L. Yu.** Grafy` i ix primeneniye: posobie dlya uchitelej [Graphs and their application: a manual for teachers] – M.: Education, 1979. – 143 p.

Поступило в редакцию 27.04.24

Поступило с исправлениями 29.04.24

Принято в печать 05.09.24

\* *Г. А. Айтмағамбетова*<sup>1</sup>, *А. С. Никифоров*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

27.04.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **КОКСТЫ КҮЙДІРУ КЕШЕНІНІҢ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ТИІМДІ ЖҰМЫСЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ МӘСЕЛЕСІНІҢ КЕЙБІР АСПЕКТІЛЕРІ**

*Бұл мақалада коксты күйдіру кешенінің энергия тиімділігін оңтайландыру бойынша зерттеу берілген. Авторлар процесті талдауды графикалық әдісті қолдана отырып жүзеге асырады, бұл процесс ағынының диаграммаларын зерттеудің қуатты құралы болып табылады. Олар бағытталған графикті құру процесін, сонымен қатар құрылымдық матрицаны және тізбек контурларының іргелес матрицасын құруды көрсетеді. Бұл график құрылымын егжей-тегжейлі сипаттауға және модельдеу процесін оңтайландырудың математикалық негізін беруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тізбектің әрбір элементі үшін энергия ағындарының тепе-теңдік теңдеулері әзірленеді, қысым мен энтальпиялық айырмашылықтар талданады. Бұл тәсіл энергия ағындарын тиімдірек басқаруға және кешен жұмысын оңтайландыруға ықпал етеді, бұл оның өнімділігін арттыру және шығындарды азайту үшін маңызды. Мақалада энергия тиімділігін талдаудан және коксты күйдіру процесін оңтайландырудан басқа,*

осы әдістердің заманауи өнеркәсіпке қатыстылығы да қарастырылады. Процестерді модельдеуге және оңтайландыруға ұсынылған тәсіл кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін арттыру және олардың қоршаған ортаға әсерін азайтудың кілті болып табылады. Бұл кешенді тәсіл өндіріс тиімділігін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар шығындарды азайтады және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтады. Осылайша, мақалада тек теориялық талдау ғана емес, сонымен қатар өндірістік процестердің энергия тиімділігін арттыру бойынша практикалық ұсыныстар берілген.

*Кілтімі сөздер:* оңтайландыру, энергия тиімділігі, коксты күйдіру, графиктік әдіс, матрица.

\***G. A. Aitmagambetova<sup>1</sup>, A. S. Nikiforov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 27.04.24

Received in revised form 29.04.24

Accepted for publication 05.09.24

## **SOME ASPECTS OF THE OPTIMIZATION PROBLEM ENERGY-EFFICIENT OPERATION OF THE COKE CALCINATION COMPLEX**

*This article presents a study on optimizing the energy efficiency of a coke calcination complex. The authors carry out process analysis using the graph method, which is a powerful tool for studying process flow diagrams. They demonstrate the process of constructing a directed graph, as well as constructing a structural matrix and an adjacency matrix of circuit contours. This allows us to describe the graph structure in detail and provide a mathematical basis for optimizing the modeling process. Additionally, for each element of the circuit, balance equations of energy flows are developed, and pressure and enthalpy differences are analyzed. This approach contributes to more efficient management of energy flows and optimization of the complex's operation, which is important for increasing its productivity and reducing costs. In addition to analyzing energy efficiency and optimizing the coke calcination process, the article*

*also discusses the relevance of these methods to modern industry. The presented approach to modeling and optimization of processes is key to improving the competitiveness of enterprises and reducing their environmental impact. This integrated approach not only improves production efficiency, but also reduces costs and reduces the negative impact on the environment. Thus, the article presents not only a theoretical analysis, but also practical recommendations for improving the energy efficiency of industrial processes.*

*Keywords: optimization, energy efficiency, coke calcination, graph method, matrix*

Теруге 10.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4277

Сдано в набор 10.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4277

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)