

НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

Научно-технический журнал Vol. 2(153) 2022



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ГОСУДАРСТВЕННОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЕРТИЗЫ



www.vestnik.nauka.kz

НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№2 (153)

Научно-технический журнал **«Новости науки Казахстана»** публикует статьи по следующим направлениям фундаментальных и прикладных исследований: технические и сельскохозяйственные науки, науки о Земле, пищевая и перерабатывающая промышленность, экономика, науковедение, стандартизация и пр.

Журнал основан в 1989 г. и выходит 4 раза в год.

Предназначен для профессорско-преподавательского состава вузов, докторов PhD, магистрантов, студентов и сотрудников научно-исследовательских институтов, предприятий и организаций, а также работников министерств и ведомств.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

М.К. Бапиева (главный редактор)

М.Е. Сейткалиева (ответственный секретарь)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Р.Г. Бияшев, д.т.н.; **К.А. Исаков**, д.т.н.; **К.Д. Досумов**, д.х.н., проф.;

С.Е. Соколов, д.т.н., акад. МАИН; **Б.Р. Ракишев**, д.т.н., акад. НАН РК;

Ж.С. Алимкулов, д.т.н.; **М.Т. Велямов**, д.б.н., проф., акад. НАН РК;

Ю.А. Юлдашбаев, д.с.-х.н. (Россия);

М.А. Рахматуллаев, д.т.н. (Узбекистан);

А. Сладковски, д.т.н., проф. (Польша);

Д. Пажес, гл. специалист (Франция)

Республика Казахстан, 050026, г. Алматы,

ул. Богенбай батыра, 221

Тел./факс: +7 727 355 55 01 внт 204

e-mail: bapiyeva@inti.kz, n.nauka@inti.kz

www.vestnik.nauka.kz

СОДЕРЖАНИЕ НАУКОВЕДЕНИЕ

Г.А. Козбагарова, Н.И. Пономарева

Библиометрический анализ казахстанских публикаций
с использованием аналитических сервисов Web of Science 6

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

**Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б.,
Аргын А.А.**

К вопросу очистки отходящих газов ТЭС и металлургических
предприятий от SO₂: регенерация карбонатно-сульфатного
расплава природным газом 17

Н.К. Досмухамедов, Е.Е. Жолдасбай

Балансовые опыты по очистке отходящих газов ТЭЦ от SO₂ и NO_x
карбонатным расплавом 26

АВТОМАТИКА. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. Хабай, Е.А. Тулешов, А.А. Шадыманова, С.К. Садыков,

В.К. Байтурганова

Анализ датчика измерения влажности на основе оптического
волокна 35

ЭНЕРГЕТИКА

А.А. Генбач, Н.О Джаманкулова

Экспериментальное исследование теплообмена в капиллярно-
пористых системах 42

МАЗМҰНЫ

ҒЫЛЫМТАНУ

Г.А. Қозбағарова, Н.И. Пономарев

Web of Science аналитикалық қызметтерді пайдаланатын

қазақстан басылымдарының библиометриялық талдауы 6

ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ. АДАМ ЭКОЛОГИЯСЫ

**Н.Қ. Досмұхамедов, М.Г. Егізекөв, Е.Е. Жолдасбай, М.Б. Құрмансейтов,
А.А. Арғын**

ЖЭС және металлургиялық кәсіпорындардан шығатын газдарды

SO₂ тазалау мәселесіне: карбонатты-сульфатты ерітіндіні табиғи

газбен регенерациялау 17

Н.К. Досмұхамедов, Е.Е.Жолдасбай

ЖЭС шығатын газдарды SO₂ және NO_x карбонатты

Балқымамен тазарту бойынша баланстық тәжірибелер..... 26

АВТОМАТТАНДЫРУ. ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ

А. Хабай, Е.А. Төлешов, А.А. Шадыманова, С.Қ. Садықов,

В.Қ. Байтұрғанова

Оптикалық талшық негізінде ылғалдықты өлшейтін датчикті

анықтау..... 35

ЭНЕРГЕТИКА

А.А. Генбач, Н.О. Джаманқұлова

Капиллярлы-кеуекті жүйелердегі жылу алмасуды эксперименттік

зерттеу 42

CONTENT

SCIENCE

G.A. Kozbagarova, N.I. Ponomareva

Bibliometric analysis of kazakhstan publications using Web of Science
analytical services 6

ENVIRONMENTAL PROTECTION. HUMAN ECOLOGY

N.K. Dosmukhamedov, M.G. Egizekov, E.E. Zholdasbai,

M.B. Kurmanseitov, A.A. Argyn

About the issue of cleaning exhaust gases from tpps and metallurgical
enterprises from SO₂: regeneration of carbonate-sulfate melt
with natural gas 17

N.K. Dosmukhamedov, E.E. Zholdasbay

Balance experiments on the purification of waste gases of thermal
power plants from SO₂ and NO_x by carbonate melt 26

AUTOMATION. COMPUTER ENGINEERING

A. Khabay, Y.A. Tuleshov, A.A. Shadymanova, S.K. Sadykov,

V.K. Bayturganova

Humidity measurement is based on the optical fiber sensor 35

ENERGY

A.A. Genbach, N.O. Dzhamankulova

Capillary-keuekti zhyelerdegi zhylyu almasudy experimenttik zertteu..... 42

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЗАХСТАНСКИХ ПУБЛИКАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕРВИСОВ WEB OF SCIENCE

Г.А. Козбагарова,¹ Н.И. Пономарева¹

¹ АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы»,
Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье проводится анализ ряда параметров, характеризующих публикационную активность Казахстана в сопоставлении с ведущими странами. В частности, это динамика ежегодного числа публикаций, темпы изменения этого числа, динамика изменений доли публикаций в мировом потоке, распределение казахстанских научных трудов по языкам их опубликования, место Казахстана в международном рейтинге по количеству публикаций и индексу цитируемости. Показаны наиболее продуктивные по публикациям и их востребованности казахстанские организации в разрезе ВУЗов и НИИ; распределены журналы с казахстанскими публикациями по их значимости; изучена структура областей казахстанской науки за исследуемый период в сопоставлении с мировой; проведен SWOT-анализ состояния научных направлений страны. Анализ охватывает периоды 2001–2021 гг., 2019–2021 гг. и основывается на обработке данных Web of Science Core Collection.

Ключевые слова: публикационная активность, нормализованная средняя цитируемость, области наук, научная специализация, SWOT-анализ

Введение. Важным индикатором научной производительности являются публикации, посредством которых ученые разных стран вносят вклад в мировую базу знаний. Объем рецензируемых научно-исследовательских публикаций даёт общее представление о научно-исследовательской и технологической активности во всём мире, а также по отдельным странам [1-7]. Показатель уровня научно-исследовательской активности считается одним из ключевых показателей научно-технического развития страны и определяется как общее количество научно-исследовательских статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах и изданиях, включённых в базы данных научного цитирования. К ведущим международным базам цитирования относятся информационные ресурсы Web of Science компании Clarivate Analytics и Scopus компании Elsevier, которые позиционируют себя как информационно-аналитические системы и позволяют проводить библиометрический анализ эффективности исследовательской деятельности отдельных ученых, организаций,

развития отраслей знания и науки страны в целом [8-9]. Повышенный интерес к этим проблемам вызван необходимостью в современном, рациональном планировании и организации научных исследований [10].

Методы исследований. Основой для анализа послужили массивы документов информационного ресурса Web of Science компании Clarivate Analytics, в том числе базы данных Web of Science Core Collection и аналитического инструмента для оценки научной деятельности InCites [11-13]. Для определения приоритетных направлений науки исследуемых стран использованы 22 тематические категории по естественным и общественным наукам рубрикатора Essential Science Indicators.

Результаты и обсуждение. Для Казахстана задача вхождения на мировую образовательную и научную арену остается приоритетной и существенной, при этом качество отечественных научных трудов должно иметь высокий уровень.

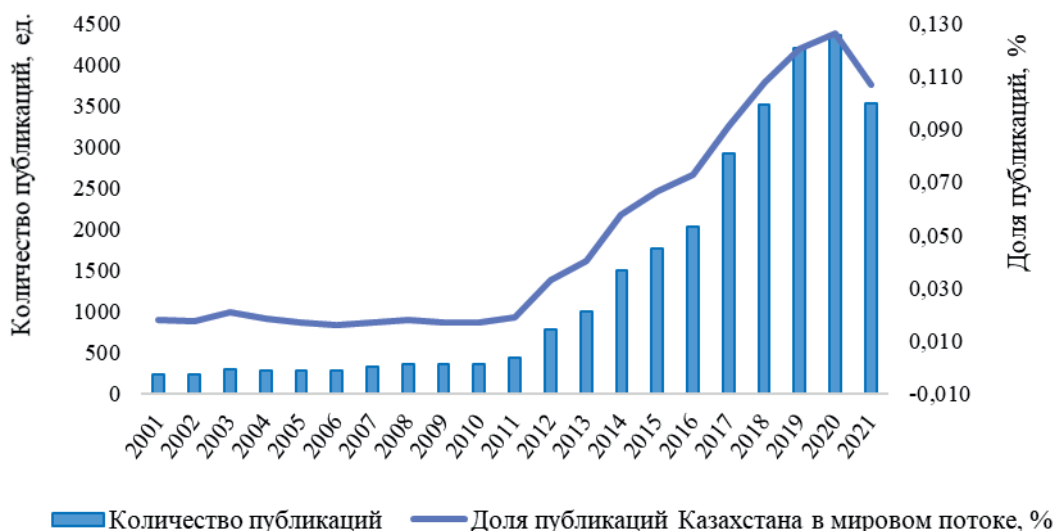
Исследование динамики отечественных научных трудов в базе данных

Web of Science Core Collection за двадцатилетний период показывает незначительное увеличение ежегодного числа публикаций в первые 10 лет по сравнению с 2001 годом, в среднем в 1,3 раза. В последующие десятилетия наблюдается активное увеличение публикационной активности, темпы роста количества публикаций ежегодно увеличиваются в разы. Так в 2012 году данный показатель возрос в 3,3 раза, а в 2020 году - в 18 раз. Изменение доли публикаций в мировом потоке также имеет положительное значение. Если доля казахстанских публикаций в потоке научной информации базы данных Web of Science Core Collection составляла в 2001 году 0,018%, в 2012 – 0,033%, то 2020 году уже 0,126% (рис. 1).

Оставшиеся 0,3% трудов опубликованы на таких языках как португальский, французский, украинский, испанский, китайский, немецкий, болгарский, польский, казахский, венгерский, словацкий, эстонский. Отмечено, что в первое десятилетие казахстанские научные труды публиковались в основном на английском и русском языках, в дальнейшем языковой диапазон расширился.

По данным InCites количество публикаций Казахстана за 2019–2021 гг. составило 11645 документов, что позволило стране занять 76-е место в мировом рейтинге из 213 стран (рис. 2).

На рисунке приведен топ 10 стран, занимающих в мировом рейтинге передовые позиции по количеству публикаций. Это США, Китай,



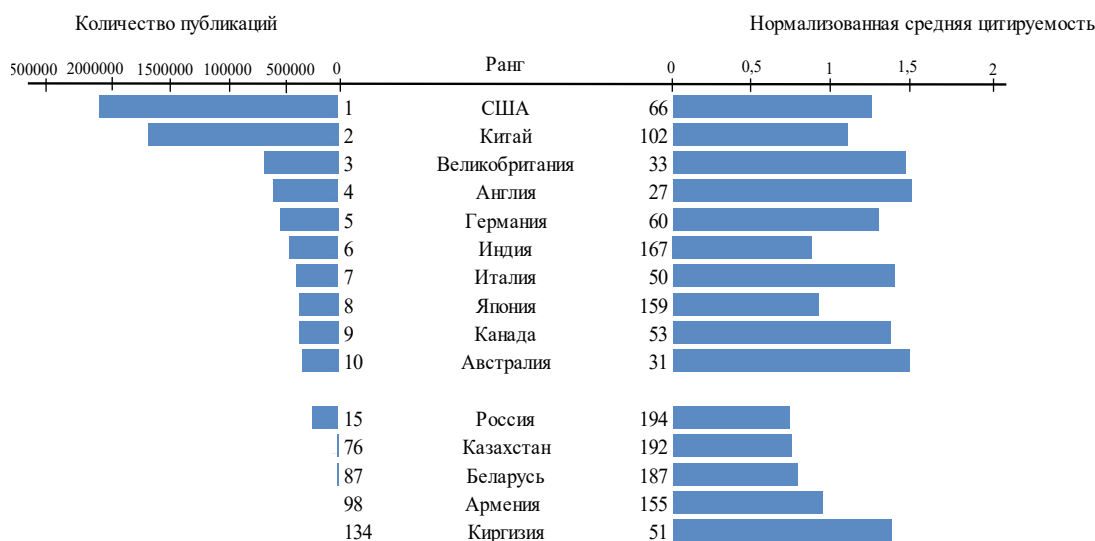
По данным Web of Science Core Collection по состоянию на 28.02.2022 г.

Рисунок 1 - Динамика публикаций Казахстана и их доля

Важной характеристикой процессов глобализации в науке являются распределения публикаций по языкам. Результаты анализа показали, что на протяжении всего исследуемого периода лидирующее положение в казахстанском массиве занимают публикации на английском языке, доля которых в разные годы колеблется от 83,5 до 98,9%, в среднем за весь период – 95,5%. На 2-м месте – публикации на русском языке – их 4%. Далее следуют публикации на турецком языке – 0,2%.

Великобритания и др. Также представлены страны-партнеры Казахстана по Евразийскому экономическому союзу (ЕАЭС), которые распределились следующим образом: Россия – 15 место; Беларусь – 87; Армения – 98; Кыргызстан – 134.

Важным и объективным показателем научной результативности является нормализованная средняя цитируемость. Этот критерий рассчитывается как отношение числа ссылок на статью к общему числу ссылок на все



По данным InCites (Clarivate Analytics) по состоянию на 28.01.2022 г.

Рисунок 2 – Рейтинги стран по количеству публикаций и нормализованной цитируемости за 2019–2021 гг.

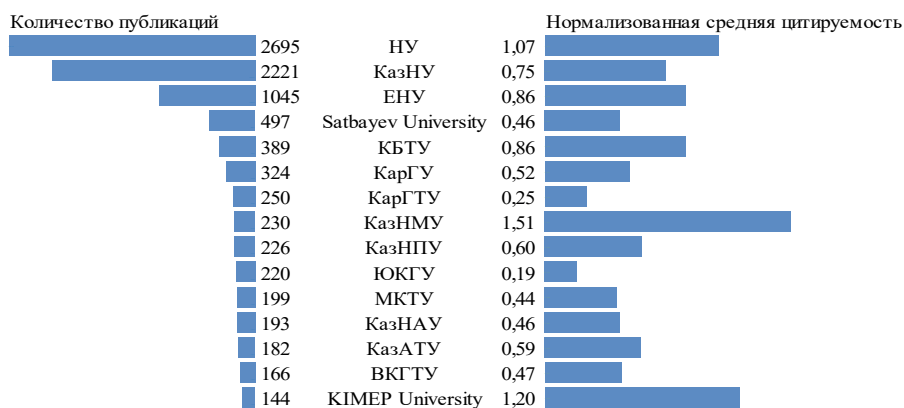
статьи того же типа, опубликованных в этой предметной области в этом же году. Если полученное значение больше единицы, то исследование хорошо цитируется и высоко ценится в мире, если меньше единицы — популярность статьи не высока, она цитируется хуже, чем статьи по этой тематике [11]. Нормализованная средняя цитируемость казахстанских публикаций в исследуемый период не достигла среднемирового уровня и составила 0,76. В первой группе стран наиболее высокий уровень данного показателя у Англии – 1,52, позволивший занять 27 место в рейтинге.

Из стран ЕАЭС Киргизия при небольшом

количестве публикаций занимает 51-е место, имея нормализованную среднюю цитируемость 1,40.

Публикационный массив Казахстана за 2019–2021 годы аффилирован со 128 казахстанскими организациями, из которых вузов – 72, НИИ – 51, общественных организаций – 5. Более 96% научных трудов или 11157 публикаций подготовлены при участии исследователей ВУЗов.

Со значительным отрывом по количеству публикаций лидируют Назарбаев Университет и Казахский национальный университет им. аль-Фараби (рис. 3).



По данным InCites (Clarivate Analytics) по состоянию на 28.01.2022

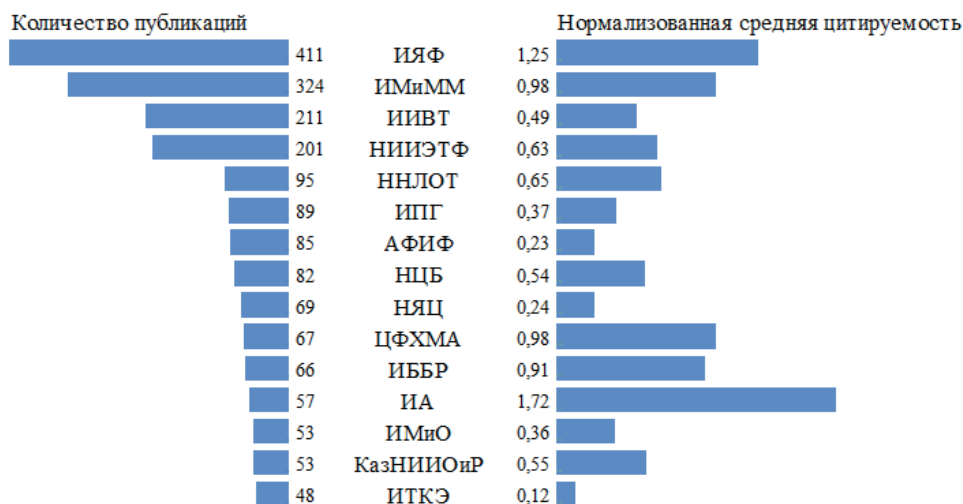
Рисунок 3 - Библиометрические показатели казахстанских ВУЗов, топ-15

Среди НИИ - Институт ядерной физики, Институт математики и математического моделирования и Институт информационных и вычислительных технологий (рис. 4).

Среди ВУЗов нормализованная средняя цитируемость публикаций выше единицы у Казахского национального медицинского университета им. С. Асфендиярова, КИМЕР University и Назарбаев Университета - 1,51; 1,20 и 1,07, соответственно.

ститута математики и математического моделирования, Центра физико-химических методов анализа.

Показатели цитирования в ведущих научных журналах мира позволяют оценить степень значимости проводимых исследований. Научные труды Казахстана за 2019-2021 гг. представлены в 3605 изданиях, в том числе в 3035 журналах, из которых 72,5% (2201 ед.) имеют импакт-фактор. Аналогичные показате-



По данным InCites (Clarivate Analytics) по состоянию на 28.01.2022

Рисунок 4 – Библиометрические показатели казахстанских НИИ, топ-15

В группе научно-исследовательских организаций на уровне среднемировых и выше цитируются научные труды Института аккумуляторов, Института ядерной физики, Ин-

тели в мировом документопотоке - 21889 журналов, из них 55,6% (12173) с импакт-фактором (табл. 1).

Таблица 1 - Распределение журналов по значению их импакт-фактора

Рейтинг журнала*	Диапазон измерения импакт-фактора	Журналы с публикациями				Публикации			
		Казахстана		Мирового корпуса		Казахстана		Мирового корпуса	
		ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%
Очень высокий	выше 10	82	2,7	416	1,9	255	2,5	654553	7,2
высокий	>5 – 10	361	11,9	1430	6,5	1074	10,5	1800825	19,7
средний	>1 – 5	1500	49,4	8302	37,9	3861	37,8	4713422	51,7
низкий	>0,5 – 1	200	6,6	1387	6,3	637	6,2	325021	3,6
очень низкий	>0 – 0,5	58	1,9	638	2,9	191	1,9	141685	1,6
Всего с импакт-фактором		2201	72,5	12173	55,5	6018	58,9	7635506	83,8
Всего		3035	100	21889	100,0	10204	100,0	9123652	100,0

По данным InCites (Clarivate Analytics), 2019-2021 гг., по состоянию на 28.01.2022

*Классификационная шкала рейтингов научных журналов, входящих в базу данных Journal Citation Reports (Clarivate Analytics)

Как видно, удельный вес журналов с импакт-фактором в отечественном массиве публикаций значительно выше, при этом средний и выше уровень цитирования имеют труды казахстанских авторов, представленных более чем в 64% журналов. Однако, как

показал анализ распределения публикаций, в данных журналах опубликовано только чуть более половины казахстанских работ, тогда как в мировом корпусе – 78,6%.

В перечень журналов на платформе Web of Science включены 14 казахстанских журналов, входящих в указатель цитирования Emerging Sources Citation Index. Для журналов данного ресурса импакт-фактор не рассчитывается (табл. 2).

Таблица 2 - Казахстанские журналы, включенные в Emerging Sources Citation Index

Наименование издания	Количество статей	Цитированные статьи, %	Нормализованная средняя цитируемость	Издатель
Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan	397	33,75	0,22	НАН РК
News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series of Geology and Technical Sciences	289	46,71	0,14	НАН РК
News of The National Academy of Sciences of The Republic of Kazakhstan-Series Chemistry and Technology	186	25,27	0,04	НАН РК
News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan - Series Physico-Mathematical	183	23,50	0,07	НАН РК
Bulletin of the Karaganda University - Mathematics	145	23,45	0,28	КарГУ им. Е.А. Букетова
Bulletin of the University of Karaganda - Chemistry	137	17,52	0,05	КарГУ им. Е.А. Букетова
Bulletin of the University of Karaganda - Physics	119	21,85	0,09	КарГУ им. Е.А. Букетова
Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra	117	31,62	0,25	ИМиО
Eurasian Chemico-Technological Journal	109	36,70	0,10	ИПГ
International Journal of Biology and Chemistry	99	18,18	0,05	КазНУ им. аль-Фараби
Eurasian Mathematical Journal	91	39,56	0,42	ЕНУ им. Л.Н.Гумилева
Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications	74	31,08	0,12	ЕНУ им. Л.Н.Гумилева
International Journal of Mathematics and Physics	50	10,00	0,04	КазНУ им. аль-Фараби
Central Asian Journal of Global Health	25	32,00	0,12	Центр наук о жизни НУ, Университет Питтсбурга
В целом по базе	9123652	53,17	0,98	-

По данным InCites (Clarivate Analytics), 2019-2021гг, по состоянию на 28.01.2022г.

Для сравнения, указанная платформа охватывает журналы: Беларуси – 7; Китая – 305; России – 345; США – 3861 ед., при этом удельный вес журналов, имеющих импакт-фактор, равен соответственно: 14,3; 56,4; 31,0; 51,9%.

В казахстанских журналах представлены 2021 статья отечественных исследователей, удельный вес цитированных работ не превышает 46,7%, самое высокое значение нормализованной средней цитируемости 0,42, тогда как средние значения по миру – 53,17% и 0,98, соответственно.

База данных Web of Science Core Collection включает международные издания, охватывающие 147 научных направлений по 7 областям науки: медицина, аграрные, биологические, общественные, естественные, технические, искусство и гуманитарные науки (рис. 5).

для нашей страны являются также технические науки, которые отражены в 37,7% публикаций (4749 ед.). В то же время медицина представлена в 2,6 раза меньшей долей трудов - 13,5% (1694 ед.), чем в мировом документопотоке - 34,5% (3636229 ед.). Только по общественным наукам удельный вес трудов Казахстана сопоставим с мировыми значениями. По биологическим и аграрным наукам, а также искусству и гуманитарным наукам доля казахстанских публикаций в 1,2-1,6 раз ниже мировых значений в аналогичных сферах.

Одним из индикаторов, позволяющих оценить научную направленность страны, является *индекс научной специализации*, определяемый как отношение доли предметных областей в общем объеме публикаций стра-



По данным InCites (Clarivate Analytics) по состоянию на 08.02.2022г.

Рисунок 5 – Структура публикаций Казахстана за 2019–2021 годы по областям науки

В структуре казахстанских публикаций преобладают труды, освещающие результаты исследований в сфере естественных наук – 38,4% (4830 ед.). Доля трудов в этой области почти в два раза превосходит мировой показатель 20,8% (2189706). Приоритетными

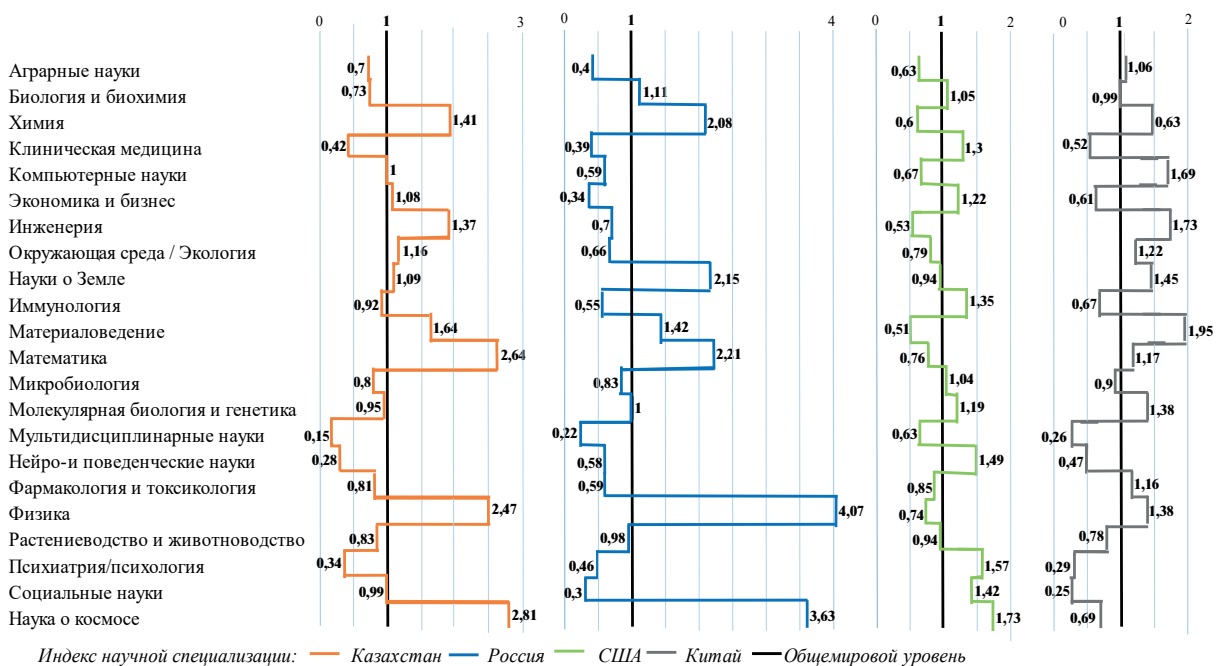
ны к аналогичному показателю в общемировом документопотоке. Если данный индекс для работ в какой-либо научной дисциплине больше единицы, это означает, что данная дисциплина относится с сфере научной специализации страны [14].

На протяжении последних десятилетий основными областями специализации отечественной науки остаются Науки о космосе и Земле, Математика, Физика, Материаловедение, Химия, Инженерия, Окружающая среда/экология и в последнее время Экономика и бизнес. В целом на указанные 9 направлений науки приходится почти две трети международных публикаций казахстанских ученых (рис. 6).

В научной направленности России отмечается аналогичная ситуация, самый высокий уровень специализации принадлежит также Физике, Наукам о космосе и Земле, Математике, Химии и Материаловедению. Очевидно, что многие постсоветские страны продолжают направления, заложенные еще в советское время [15].

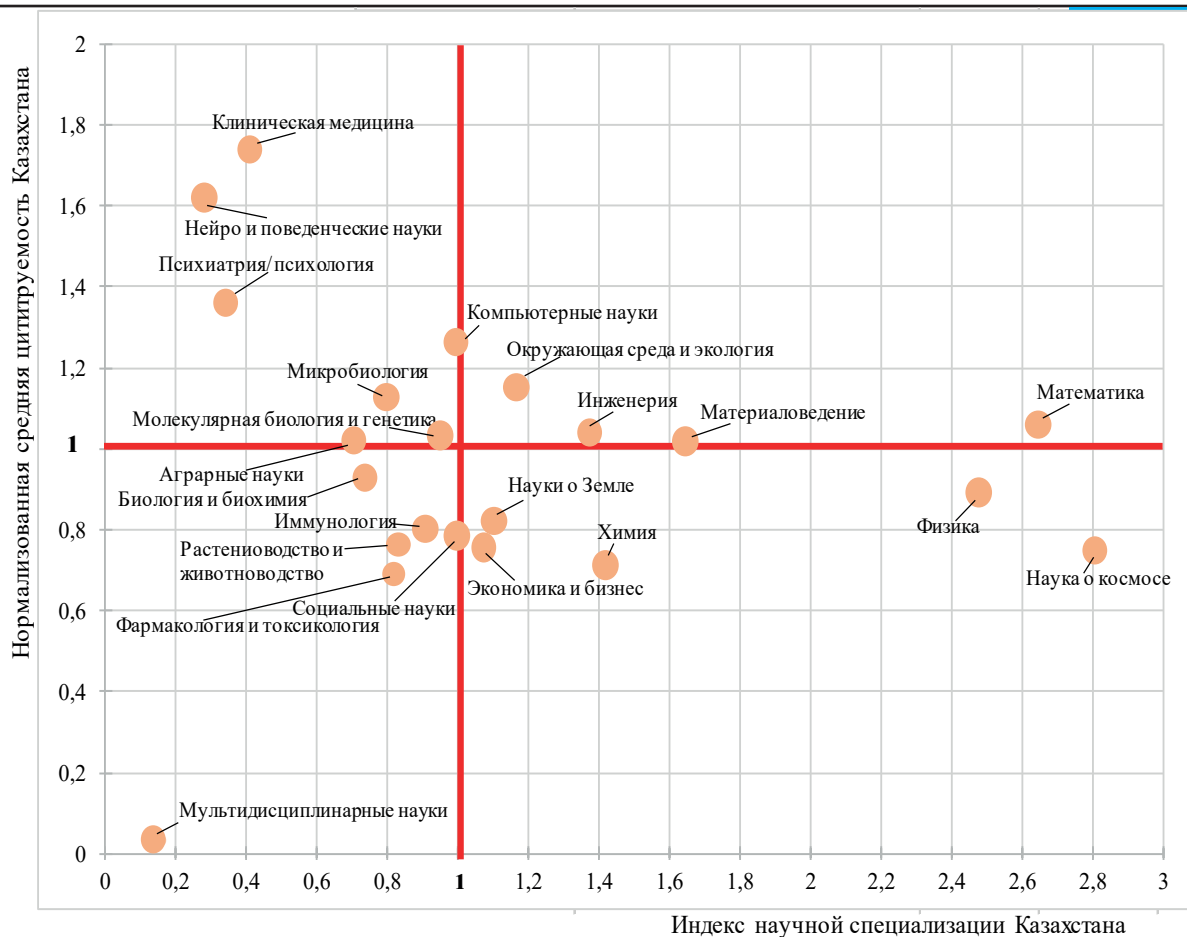
Для сравнения в США больший акцент делается на Науку о космосе, Медицину, Биологические и Социальные науки. В Китае отмечается более высокий уровень специализации в области технических и естественных наук.

Для отражения эффективности научных направлений исследований казахстанской науки проведен SWOT-анализ с использованием библиометрических показателей относительно среднемировых значений. Результаты SWOT-анализа позволяют дать оценку состоянию развития научных направлений Казахстана, выявить их сильные и слабые стороны, потенциальные возможности и угрозы. В качестве критериев для анализа использованы индекс научной специализации и нормализованная средняя цитируемость публикаций (рис. 7).



По данным InCites (Clarivate Analytics), 2019-2021 гг., по состоянию на 28.01.2022г.

Рисунок 6 – Научная специализация Казахстана в сравнении с Россией, США и Китаем



По данным InCites (Clarivate Analytics), 2019-2021 гг., по состоянию на 28.01.2022г

Рисунок 7 – SWOT-анализ предметных областей науки Казахстана

Области исследования, имеющие индекс научной специализации и нормализованную среднюю цитируемость выше среднемирового значения, равного единице, можно отнести к сильной стороне науки страны. Они локализируются в правом верхнем квадранте. Сюда вошли Математика, Материаловедение, Инженерия и Окружающая среда/экология с показателями публикационной активности от 1,16 до 2,64 и цитируемости 1,02-1,15. Исследования, проводимые в данных направлениях, относящихся к областям специализации казахстанской науки, вносят значительный вклад в казахстанскую и мировую науку.

В правом нижнем квадранте находятся также области специализации науки Казахстана с публикационной активностью - 1,08-2,81. Однако цитируемость их - 0,71-0,90, ниже

среднемирового уровня. Наблюдается более чем двухкратное превышение публикационной активности в таких областях, как Наука о космосе и Физика. Для усиления позиций указанных направлений, а также Химии, Наук о Земле, Экономики и бизнеса требуется оценка внутренних факторов, которые способствовали бы улучшению качества проводимых исследований и их востребованности.

Перспективными следует считать направления, имеющие при низкой доле публикаций высокие значения цитируемости. Они находятся в левом верхнем квадранте и представлены такими областями, как Клиническая медицина, Нейро-и поведенческие науки, Психиатрия/психология, Компьютерные науки, Микробиология, Молекулярная биология и генетика, Аграрные науки. Из них Компьютерные науки, Молекулярная биология и гене-

тика имеют потенциальные возможности при незначительном усилении темпа роста публикаций перейти в категорию сильных сторон казахстанской науки.

Необходимо развивать такие области, как Клиническая медицина Нейро-и поведенческие науки, Психиатрия/психология, где средняя цитируемость казахстанских работ превышает среднемировой уровень на 36-74%, а количество публикаций ниже на 58-72%. Все дисциплины данной области при повышении публикационной активности и сохранении такого же качества исследований имеют возможности перейти в перспективе в категорию «сильных».

Иммунология, Растениеводство и животноводство, Фармакология и токсикология, Мультидисциплинарные науки стабильно занимают левый нижний квадрант, характеризующийся, как низким значением индекса специализации, так незначительным уровнем цитирования публикаций. В исследуемый период сюда переместились Биология и биохимия, Социальные науки. В данной категории для достижения среднемирового уровня необходимо увеличить долю публикаций казахстанских ученых, при этом уделяя внимание также и качеству результатов исследований.

В целом за 2019-2021 годы наблюдается тенденция роста числа научных направлений, вошедших в категорию развитых и имеющих определенный вес в научном сообществе.

Таким образом, SWOT-анализ, показывая состояние как областей научной специализации страны, так и отдельных предметных областей науки в сравнении со среднемировыми показателями, позволяет выявить сильные, перспективные и слабые направления науки.

Выводы. Библиометрический анализ казахстанских публикаций за 2019-2021 гг. на основе данных базы *Web of Science Core Collection* позволил установить, что для Казахстана и остальных государств ЕАЭС характерны низкие значения удельного веса публикаций и их цитирования. Более 96% научных трудов подготовлены при участии исследователей ВУ-Зов. Лидирующими организациями по продуктивности и эффективности исследований стали Назарбаев Университет, Институт ядерной физики, Институт математики и математического моделирования, имеющие высокие показатели публикационной активности и цитирования за указанный период. В казахстанском массиве публикаций значительнее, чем в мировом, удельный вес журналов, имеющих импакт-фактор по рейтингу средний и выше, однако доля публикаций в них ниже более чем в полтора раза. Включенные в указатель цитирования *Emerging Sources Citation Index 14* казахстанских журналов не имеют импакт-фактора, характеризуются низкими показателями доли цитированных статей и нормализованной средней цитируемости. В структуре науки доминируют естественные и технические науки. Основные области научной специализации страны – это направления науки, заложенные еще в советское время. SWOT-анализ показал, что не все они относятся к сильным направлениям казахстанской науки. Перспективными являются направления, входящие в область исследования наук о жизни. Таким образом, использование сведений, полученных методом библиометрического анализа, наряду с другими показателями, позволяет повысить аргументированность управленческих решений в научной сфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Маркина Г. Л., Шлей М. Д., Кузнецова О. В., Стафеев С. К., Маркина Т. А. Оценка потенциала научной деятельности на основе наукометрических показателей // Компьютерные инструменты в образовании. - 2020. - № 3. - С. 70–85. doi:10.32603/2071-2340-2020-3-70-85.
- 2 Гиляревский Р.С. Публикационная активность как оценка научных достижений // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. - 2014. - № 8. - С. 1-9.
- 3 Адамс Д., Пендлбери Д., Шомшор М. Ценность наукометрических баз данных: от поиска информации — к глубокой аналитике. Международный научно-исследовательский отчет, 2019 г. - URL: <https://opznews.wdcb.ru/jul20/mezhdunarodnyj-otchet-tsennost-naukometricheskikh-baz-dannykh.html> (дата обращения: 15.02.2022).
- 4 Fu H.Z., Ho Y.S. Independent research of China in Science Citation Index Expanded during 1980–2011 // Journal of Informetrics. – 2013. – Vol. 7, Iss. 1. – P. 210–222.
- 5 Ivanovic D., Ho Y-S Independent publications from Serbia in the Science Citation Index Expanded: a bibliometric analysis // Scientometrics. – 2014. – Vol. 101, Iss. 1. – P. 603–622.
- 6 Allik J. (2008). Quality of Estonian science estimated through bibliometric indicators // Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 57, Iss. 4. – P. 255–264.
- 7 Акоев М.А., Маркусова В.А., Москалева О.В., Писляков В.В. // Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии. Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2014. - 250 с.
- 8 Березкина Н. Сикорская О. Хренова Г. Использование баз данных «Web of Science» и «Scopus» для оценки результатов научной деятельности в Национальной Академии наук Беларуси // Информационные ресурсы России. 2011. - № 4. - С. 19-21.
- 9 Рыкова В.В., Бусыгина Т.В. Наукометрический анализ научного направления с использованием аналитических сервисов Web of Science (на примере документопотока по семипалатинскому испытательному ядерному полигону). Труды ГПНТБ СО РАН. 2019;(3):46-53. <https://doi.org/10.20913/2618-7515-2019-1-46-53> (дата обращения: 08.02.2022)
- 10 Адамс Д., Пендлбери Д., Стембридж Б. Строительные кирпичики БРИК Изучение глобального влияния научно-исследовательской деятельности Бразилии, России, Индии, Китая и Южной Кореи. – URL: http://wokinfo.com/media/pdf/brick_russian.pdf (дата обращения: 15.02.2022).
- 11 Руководство по работе с показателями InCites. – URL: <http://library.fa.ru/files/InCites-Guide.pdf> (дата обращения: 08.02.2022).
- 12 Тихонкова И. Возможности InCites: для планирования научной деятельности ученого, организации, страны. - URL: http://biblio.surgu.ru/media/files//InCites_new_feb_r.pdf (дата обращения: 08.02.2022).
- 13 Руководство по работе с наукометрическими показателями. <https://incites.help.clarivate.com/Content/home.htm> (дата обращения: 08.02.2022).
- 14 Коцемир М.Н. Динамика российской и мировой науки сквозь призму международных публикаций // Форсайт. - 2012. - Т. 6, № 1. - С. 38-59.
- 15 Сикорская О.Н., Бовкунович М.А. О направлениях научно-технического развития Республики Беларусь // НТИ Сер. 1. Орг. и методика информ. работы. - 2019. - № 7. - С. 14-21.

Г.А. Қозбағарова, Н.И. Пономарев

WEB OF SCIENCE АНАЛИТИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТТЕРДІ ПАЙДАЛАНАТЫН ҚАЗАҚСТАН БАСЫЛЫМДАРЫНЫҢ БИБЛИОМЕТРИЯЛЫҚ ТАЛДАУЫ

Түйіндеме. Мақалада жетекші елдермен салыстырғанда Қазақстанның жарияланым белсенділігін сипаттайтын бірқатар параметрлер талданады. Атап айтқанда, бұл жыл сайынғы жарияланымдар санының динамикасы, осы санның өзгеру қарқыны, әлемдік ағындағы басылым үлесінің өзгеру динамикасы, қазақстандық ғылыми еңбектердің олардың жариялану тілі бойынша таралуы, жарияланымдар саны мен дәйексөз индексі бойынша Қазақстанның халықаралық рейтингтегі орны. Жарияланымдар бойынша алдыңғы қатарда тұрған қазақстандық ұйымдар және олардың өзектілігі университеттер мен ғылыми-зерттеу институттары қимасында көрсетілген; қазақстандық жарияланымдар бар журналдарды маңыздылығына қарай бөлу қарастырылған; зерттелетін кезеңдегі қазақстандық ғылым салаларының құрылымы әлеммен салыстырыла отырып көрсетілген; еліміздің ғылыми бағыттары жағдайына SWOT-

талдау жүргізілген. Талдау 2001-2021, 2019-2021 жылдар аралығын қамтиды және Web of Science Core Collection деректерін өңдеуге негізделген.

Түйінді сөздер: жарияланым белсенділігі, нормаланған дәйексөз, ғылым салалары, ғылыми мамандану, SWOT талдау

G.A. Kozbagarova, N.I. Ponomareva

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF KAZAKHSTAN PUBLICATIONS USING WEB OF SCIENCE ANALYTICAL SERVICES

Abstract. The article analyzes a number of parameters that characterize the publication activity of Kazakhstan in comparison with the leading countries. Particularly, these are the dynamics of the annual number of publications, the rate of change in this number, the dynamics of changes in the share of publications in the world flow, the distribution of Kazakhstani scientific papers by language of their publications, the place of Kazakhstan in the international ranking in terms of the number of publications and the citation index. The most productive Kazakhstani organizations in terms of publications and their relevance are shown in the context of universities and research institutes; distributed journals with Kazakh publications according to their importance; studied the structure of the areas of Kazakhstani science for the period under study in comparison with the world; a SWOT-analysis of the state of scientific areas of the country was carried out. The analysis covers the periods 2001–2021, 2019–2021 and is based on Web of Science Core Collection data processing.

Keywords: publication activity, normalized citation average, fields of science, scientific specialization, SWOT analysis significance

Сведения об авторах

КОЗБАГАРОВА Гультур Алимкуловна, кандидат химических наук, эксперт отдела информации и анализа, АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы», e-mail: chemists@inti.kz

ПОНОМАРЕВА Нина Ивановна, кандидат технических наук, эксперт отдела информации и анализа, АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы», e-mail: pprom@inti.kz

К ВОПРОСУ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЭС И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ SO₂: РЕГЕНЕРАЦИЯ КАРБОНАТНО-СУЛЬФАТНОГО РАСПЛАВА ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

Досмухамедов Н.К.,¹ Егизеков М.Г.,¹ Жолдасбай Е.Е.,¹

Курмансейтов М.Б.,¹ Аргын А.А.¹

¹ Satbayev University, Алматы, Казахстан

Аннотация. В настоящей работе предложена общая концепция построения технологии очистки отходящих газов ТЭС и металлургических предприятий от SO₂ и CO₂. Показана принципиальная возможность проведения процесса регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом. На основании экспериментальных опытов установлено, что процесс регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом обеспечивает высокие скорости восстановления сульфатов и достижение максимального до 99 % извлечения серы из расплава в виде H₂S.

Установлено, что удаление серы из карбонатно-сульфатного расплава путем барботирования природным газом может быть осуществлено в диапазоне рабочих температур абсорбционной колонны очистки отходящих газов – 500-550 °С. Показано, что процесс регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом – это относительно простой одностадийный процесс, протекающий с высокой скоростью. Это позволяет интегрировать регенерационную колонну с абсорбционной колонной, где осуществляется улавливание серы из отходящих газов. Удаление серы в форме H₂S обеспечивает значительную свободу выбора конечного товарного продукта: либо серная кислота (путем сухого сжигания H₂S), либо элементная сера (путем процесса Клауса), которые представляют значительную коммерческую ценность.

Предложенный способ регенерации карбонатно-сульфатного расплава значительно упрощает технологию очистки отходящих газов от сернистого ангидрида карбонатным расплавом щелочных металлов и без особых материальных и энергетических затрат легко интегрируется в общую технологическую схему действующих металлургических предприятий.

Ключевые слова: отходящие газы, сернистый ангидрид, абсорбция, карбонатно-сульфатный расплав, регенерация, природный газ, сера.

Введение

Сегодня основными энергетическими ресурсами в мире являются уголь (40 %), нефть (27 %) и газ (21 %). В условиях сохранения высоких нынешних темпов потребления, их запасов хватает на 270, 50 и 70 лет, соответственно [1]. Бурное развитие энергетики уси-

ливает его негативный рост на природу. Главная опасность теплоэнергетики для окружающей среды – сжигание углеродсодержащих топлив и выделение огромного количества CO₂, которая способствует созданию «парникового эффекта».

По данным Межправительственной груп-

Источник финансирования исследований

Исследование проводилось в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2020-2022 годы по приоритету «Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта № AP08856384 «Разработка новой высокотехнологичной технологии утилизации SO₂ и CO₂ из отходящих газов ТЭС и металлургических предприятий с получением товарных продуктов».

пы экспертов по изменению климата, чтобы сдержать рост глобальных температур на отметке ниже 1,5 градусов Цельсия в течение остальной части 21-го века, из атмосферы нужно удалить 100-1000 Гт двуокиси углерода. В настоящее время выбросы двуокиси ископаемого углерода ежегодно увеличиваются более чем на 1 %, достигнув рекордного уровня в 37 Гт двуокиси углерода в 2018 году.

Ключевую роль, эмитирующих CO_2 в конкретном регионе, играют ТЭС, работающие за счет сжигания угля или газа. Актуальность решения проблемы утилизации CO_2 из дымовых газов ТЭС сегодня приобретает особую остроту и требует изыскания новых технологий. Актуальность данного вопроса имеет большое значение и для предприятия цветной металлургии [2,3]. Проблема усугубляется тем, что дымовые газы ТЭС, наряду с CO_2 , содержат оксиды серы, азота и летучую золу. К примеру, ТЭС на угле, вырабатывающая электроэнергию мощностью 1 ГВт, ежегодно потребляет 3 млн. тонн угля, в результате сжигания которого в окружающую среду выбрасывается 7 млн. тонн CO_2 , 120 тыс. тонн SO_2 , 20 тыс. тонн NO_x и 750 тыс. т золы [1, 4-8]. Это вызывает необходимость проведения предварительной очистки газов от указанных продуктов. Известные методы улавливания серы пригодны для очистки газов с содержанием SO_2 более 2 % (об.). При снижении содержания SO_2 нижеуказанного уровня очистка газов неэффективна [4].

Одним из эффективных технологий глубокой очистки отходящих газов от SO_2 , NO_x и золы является способ химической абсорбции газов карбонатным расплавом щелочных металлов с дальнейшей регенерацией карбонатно-сульфатного расплава твердым углеродом [9-12]. Процесс не нашел широкого применения на практике ввиду необходимости высоких температур, коррозии реактора за счет агрессивной среды и др. Указанные недостатки были искоренены в работах авторов [13-15], где способ химической регенерации карбонатно-сульфатных расплавов предложено проводить монооксидом углерода с получением COS-газа, пригодного для производства серной кислоты и/или элементной серы.

По мнению авторов, необходимое количество монооксида углерода для регенерации легко может быть получено в условиях производственной деятельности стандартной ТЭС путем неполного сжигания угля.

Широкое применение природного газа в пирометаллургии тяжелых цветных металлов [16-18] открывает новые возможности для модернизации способа регенерации карбонатно-сульфатного расплава. Использование природного газа для регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом представляется более эффективным, ввиду устранения необходимости использования дополнительного оборудования и расхода угля для получения СО. Данный подход позволяет построить общую концепцию технологии переработки отходящих газов, как для ТЭС, так и металлургических предприятий с получением товарных продуктов. Концептуальная схема технологии представлена на рисунке 1.

Предлагаемая технология переработки отходящих газов ТЭС и металлургических предприятий для утилизации CO_2 предполагает на начальной стадии проведения двух, взаимосвязанных между собой процессов:

а) *химической абсорбции* – улавливания SO_2 и летучей золы из отходящих газов эвтектической смесью карбонатов щелочных металлов состава, % (моль): Na_2CO_3 – 31,5; Li_2CO_3 – 43,5; K_2CO_3 – 25,0 с получением сульфатно-карбонатного расплава. Отходящие газы, после удаления серы направляются на дальнейшую очистку от CO_2 ;

б) *химической регенерации* – извлечения серы из карбонатно-сульфатного расплава путем восстановления природным газом с получением товарной серной кислоты и/или элементной серы.

Процесс *химической абсорбции* отходящих газов карбонатным расплавом щелочных металлов хорошо отработан на практике и широко освещен в научной литературе [19-21]. Теория и практика процесса *химической регенерации* карбонатно-сульфатного расплава природным газом требует проведения ряда исследований.

Цель настоящей работы – исследование взаимодействия карбонатно-сульфатного рас-

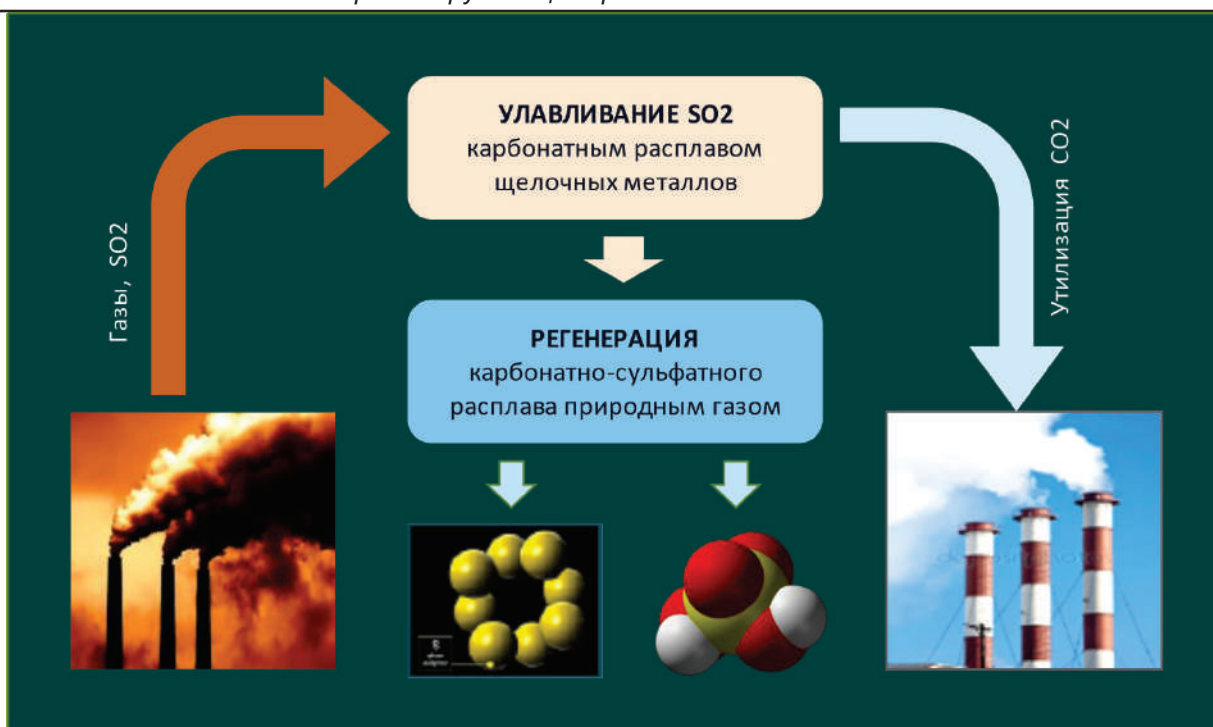


Рисунок 1 – Концептуальная схема технологии переработки отходящих газов ТЭС и металлургических предприятий с получением товарных продуктов

плава с природным газом и смесью природного газа с воздухом.

Экспериментальная часть

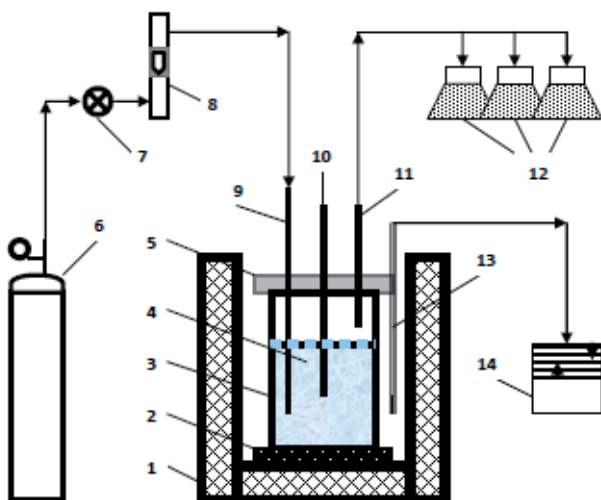
Эксперименты проведены с использованием карбонатно-сульфатной смеси, приготовленной путем предварительного смешивания карбонатов щелочных металлов с сульфатом калия.

Эвтектическую смесь карбонатов щелочных металлов готовили сплавлением чистых карбонатов Li_2CO_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 производства фирмы Aldrich, чистотой более 98,5%. После взвешивания в строго указанных количествах каждого карбоната их перемешивали и подготовленную смесь загружали в реактор, который помещали в нагревательную печь. Для получения однородного карбонатного расплава, смесь плавил в печи в течение 60 мин при температуре 550 °С. По истечении заданного времени выдержки готовую эвтектическую смесь карбонатов щелочных металлов измельчали и добавляли к нему чистый сульфат калия (K_2SO_4 – 99,8 %) из расчета получения расплава, содержаще-

го 5,7 % (вес.) серы. При этом содержание сульфата калия в расплаве соответствовало количеству сульфата в карбонатно-сульфатном расплаве, получаемого после абсорбции SO_2 из отходящих газов эвтектической смеси карбонатов щелочных металлов состава, % (моль.): Na_2CO_3 – 30,91; Li_2CO_3 – 51,02; K_2SO_4 – 18,07.

Приготовленную смесь загружали в тигель, который помещали в нагревательную печь и выдерживали в течение 60 мин при температуре 600°С. По истечении необходимого времени тигель вынимали из печи. После остывания тигля карбонатно-сульфатный продукт измельчали и использовали для проведения опытов. Контрольные пробы полученного продукта подвергались элементному анализу двумя независимыми способами – химическим и рентгенофлуоресцентным методами анализа.

Общая схема лабораторной установки для исследования регенерации карбонатно-сульфатного расплава путем восстановления монооксидом углерода представлена на рисунке 2.



1 – печь; 2 – подставка для реактора; 3 – реактор; 4 – расплав; 5 – съемная крышка; 6 – баллон с CH_4 ; 7 – кран; 8 – реометр; 9 – продувочная трубка; 10 – пробоотборник; 11 – трубка для отходящих газов; 12 – сосуды для титрования; 13 – термopара ХА; 14 – потенциометр КСП-4.

Рисунок 2 – Схема лабораторной установки для исследования процесса регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом

Реактор (3) изготовлен в виде цельносварного тигля из нержавеющей стали марки AISI 201. Высота тигля – 100 мм, диаметр – 60 мм, толщина 3 мм.

Результатами предварительных опытов установлено, что после проведения опытов стенки тигля сохранили свою толщину, а их поверхность оставалась практически без изменения (рисунок 3).



Рисунок 3 – Общий вид реактора после проведения опыта: $T = 500\text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 10\text{ ч}$.

Реактор сверху затыкался съемной крышкой (5). На крышке предусмотрены три отверстия различного диаметра. Отверстие диаметром 12 мм – для осуществления подачи природного газа в расплав через продувочные трубки, изготовленные из высокопрочной стали марки 12Х15Г9НД; центральное отверстие диаметром 20 мм – для отбора контрольных проб с помощью специального пробоотборника и третье отверстие диаметром 7 мм – для отвода отходящих газов через алундовую трубку (11).

Опыты проводились при температуре 550 °С с использованием нагревательной печи (1). Измерение температуры расплава во время опытов осуществляли хромель-алюмелевой термопарой (13). Контроль и регулирование температуры осуществляли при помощи вторичного прибора КСП-4 (14).

Количество исходной навески карбонатно-сульфатного расплава во всех опытах было постоянным и составляло 351,43 г. Для регенерации расплава использовали природный газ, содержащий, % (об.): CH_4 – 92,6; C_2H_6 – 4,07; C_3H_8 – 1,07; C_4H_{10} – 0,44; C_5H_{12} – 0,42; N_2 – 0,9.

Вес каждой отбираемой во время опытов пробы составлял ~15-16 г.

Методика проведения опытов заключалась в следующем. С началом включения печи, свободный от расплава объем тигля промывался потоком природного газа. При достижении заданной температуры опытов (823 К) опускали продувочную трубку в расплав и начинали ее продувку природным газом.

Расход природного газа во всех опытах был постоянным и составлял 0,38 л/мин. Общее время продувки расплава природным газом – 60 мин. Динамику снижения количества серы в расплаве и остаточное ее содержания в нем контролировали отбором проб через определенные промежутки времени от начала продувки расплава. Анализ проб проводили с помощью рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного спектрометра РЛП-21 [22].

Сущность и порядок проведения опытов взаимодействия карбонатно-сульфатного расплава смесью природного газа с воздухом аналогичны порядку, описанному выше. Особен-

ностью данной серии опытов является то, что исходный карбонатно-сульфатный расплав подвергался продувке смесью природного газа и воздуха с коэффициентом дутья равным $\alpha = 1,9 \div 2,0$ (O_2/CH_4). Заданное количество воздуха подавали с помощью компрессора. При этом расход природного газа оставался на том же уровне, что и при продувке расплава природным газом (0,38 л/мин), а расход воздуха составил ~0,8 л/мин.

Обсуждение результатов

Результаты проведенных опытов представлены в табл. 1.

ства расплава после отбора пробы, показана на рисунке 4.

Видно, что при продувке карбонатно-сульфатного расплава смесью природного газа с воздухом, снижение количества серы в расплаве, при одном и то же промежутке времени (общая продолжительность продувки 15 мин), происходит намного быстрее, чем при продувке расплава природным газом.

Это указывает на высокие скорости протекания физико-химических процессов (восстановление сульфатов, окисление сульфидов) при регенерации карбонатно-сульфатного расплава смесью природного газа с воздухом.

Следует отметить, что при продувке рас-

Таблица 1 – Результаты опытов по регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом и смесью природного газа с воздухом

№ пробы	Время опыта, мин	Кол-во CH_4 , л	Кол-во воздуха, л	Содержание серы в расплаве, % масс.	Кол-во серы в расплаве, г	Извлечение серы, %
Регенерация расплава природным газом (CH_4)						
1	-	-	-	5.68	20.0	-
2	5	1.9	-	3.94	13.3	33.6
3	10	3.8	-	3.20	10.3	48.5
4	20	7.6	-	2.35	7.2	63.9
5	35	13.3	-	1.44	4.2	79.0
6	45	17.1	-	0.20	0.6	97.2
7	60	22.8	-	0.002	0.004	99.0
Регенерация расплава смесью: CH_4 + воздух						
1	-	-	-	5.68	20.0	-
2	3	1.14	2.4	2.85	9.6	52.0
3	6	2.28	4.8	2.31	7.4	62.8
4	11	4.18	8.8	1.53	4.7	76.5
5	21	7.98	16.8	1.25	3.6	81.8
6	36	13.68	28.8	0.04	0.1	99.4
7	56	21.28	44.8	0.002	0.004	99.8

При продувке расплава, как природным газом, так и смесью природного газа с воздухом наблюдается резкое снижение концентрации серы в расплаве с минимизацией ее концентрации в расплаве к концу процесса регенерации. Динамика изменения количества серы в расплаве от расхода природного газа и смеси (CH_4+O_2), полученная расчетным путем с учетом уменьшения количе-

ства расплава природным газом происходило выделение сильного запаха, характерного для H_2S . В опытах с использованием смеси природного газа с воздухом запах сероводорода отсутствовал.

На основании полученных результатов рассчитаны значения извлечения серы в газовую фазу из расплава, зависимость которой от продолжительности продувки расплава

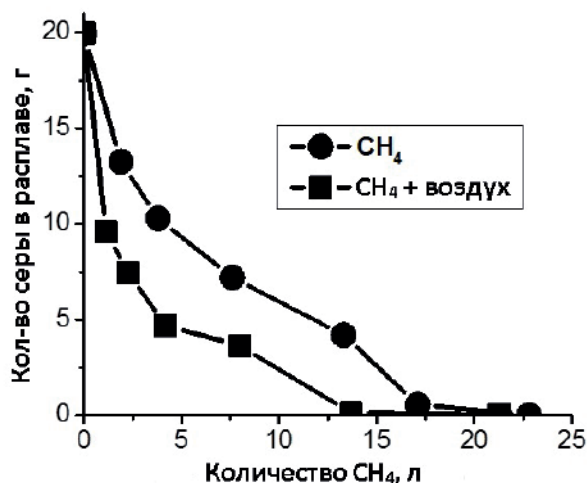


Рисунок 4 – Динамика снижения количества серы в расплаве в зависимости от расхода природного газа

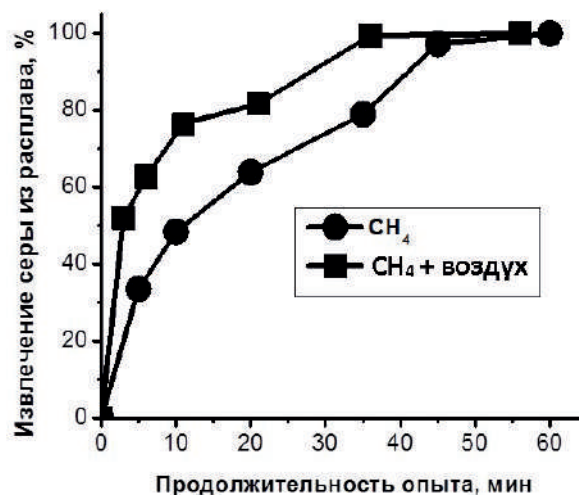


Рисунок 5 – Зависимость извлечения серы в газовую фазу от продолжительности опыта при продувке расплава природным газом и смесью природного газа с воздухом

природным газом и смесью природного газа с воздухом показаны на рисунке 5.

Количество природного газа, необходимое для полного восстановления сульфата калия (исходное количество серы в расплаве 20 г) по стехиометрии реакции:



составляет, 14 л. Фактическое количество природного газа, затраченное на восстановление карбонатно-сульфатного расплава в проведенных опытах, составило 17 л.

В опытах с продувкой расплава смесью природного газа с воздухом, количество природного газа практически полностью совпало с необходимым его количеством для полного восстановления серы из расплава, полученной по стехиометрии реакции (2):



Эффективность использования природного газа в первом случае составляет 82 %, а во втором – 100 %, что доказывает принципиальную возможность извлечения серы из карбонатно-сульфатного расплава путем его восстановления природным газом и смесью природного газа с воздухом.

Выводы

1. На основании экспериментальных исследований показана возможность высокоэффективного осуществления процесса хими-

ческой регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом и смесью природного газа с воздухом.

2. Установлено, что восстановление сульфата из карбонатного расплава путем барботирования его природным газом может быть достигнуто в диапазоне рабочих температур скруббера очистки дымовых газов – 773-823 К.

3. Удаление серы из карбонатно-сульфатного расплава природным газом – это относительно простой одностадийный процесс, который протекает с высокой скоростью, что позволяет без особых материальных затрат интегрировать небольшой объем камеры регенерации расплава в существующие скрубберные башни.

4. Удаление серы в форме H₂S обеспечивает значительную свободу выбора конечного продукта: либо серная кислота (путем сухого сжигания H₂S), либо элементная сера (путем процесса Клауса), оба из которых имеют значительную коммерческую ценность.

5. Предложенный способ регенерации карбонатно-сульфатного расплава значительно упрощает технологию очистки отходящих газов от сернистого ангидрида карбонатным расплавом щелочных металлов и без особых материальных и энергетических затрат может быть успешно интегрирован в общую технологическую схему действующих металлургических предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Калыгин В. Г. Промышленная экология: учебное пособие для вузов. - М.: Академия. – 2010. – 432 с.
- 2 Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Kurmanseitov M.B., Argyn A.A., Zheldibay M. A. Technological experiments of joint smelting of lead intermediate products, recycled materials and high-sulfur copper-zinc concentrate. // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a.* – №2 (313). – 2020. – P.5-13.
- 3 Dosmukhamedov N. K., Argyn A. A., Zholdasbay E. E., Kurmanseitov M. B. Converting of copper-lead matte: loss of gold and silver with slag // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a.* – 2020. – № 3 (314). – P.5- 14.
- 4 Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. - М.: Metallurgy. – 2012. –544 с.
- 5 Crundwell F.K., et al., *Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals.* 2011, Oxford: Elsevier. 583.
- 6 Davenport W.G., et al., *Extractive Metallurgy of Copper.* 2002, Oxford: Pergamon. 417.
- 7 Habashi F. Copper metallurgy at the crossroads // *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy.* – 2007. – Vol.43(1). – P. 1-19.
- 8 Nolan P. Flue Gas Desulfurization Technologies for Coal-Fired Power Plants // in *Coal-Tech 2000 International Conference.* 2000. Jakarta, Indonesia.
- 9 McIlroy R.A., Atwood G.A. and Major C.J. Absorption of Sulfur-Dioxide by Molten Carbonates // *Environmental Science & Technology.* – 1973. – Vol.7(11). – P. 1022-1028.
- 10 Yosim S.J., et al., *Chemistry of Molten Carbonate Process for Sulfur Oxides Removal from Stack Gases* // *Advances in Chemistry Series.* – 1973. – Vol.127. – P. 174-182.
- 11 Moore K.A. Recovery of Sulfur Values from Molten Salt. 1973: US Patent 3867514.
- 12 Krebs T. and Nathanson G.M. Reactive collisions of sulfur dioxide with molten carbonates // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* – 2010. – Vol.107(15). – P. 6622-6627.
- 13 Kaplan V., Wachtel E. and Lubomirsky I. Carbonate melt regeneration for efficient capture of SO₂ from coal combustion // *RSC Advances.* – 2013. – Vol.3(36). – P. 15842-15849.
- 14 Lubomirsky I. and Kaplan V. Apparatus and method for removing sulfur dioxide from flue gases US Patent 8852540. – 2014.
- 15 Lubomirsky I. and Kaplan V. Apparatus and method for removing sulfur dioxide from flue gases EP Patent 2723473. – 2016.
- 16 Schlesinger M.E., et al., *Extractive Metallurgy of Copper.* – 2011. Amsterdam: Elsevier.
- 17 Sinclair R.J. *The Extractive Metallurgy of Zinc* // Carlton Victoria, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2005. – P. 303.
- 18 Sinclair R.J. *The Extractive Metallurgy of Lead* // Carlton Victoria, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2009. – P. 311.
- 19 Kaplan V., Dosmukhamedov N., Lubomirsky I. Development of highly efficient technology of purification of SO₂-containing flue gases with production of valuable secondary product // *The 40th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems.* May 31 to June 4, 2015, Clearwater, Florida, USA.
- 20 Dosmukhamedov N., Kaplan V., Wachtel E., Lubomirsky I. Carbonate melt-based flue gas desulphurization: material balance and economic advantage // *International Journal Oil, Gas and Coal Technology.* – 2018. – Vol. 18, Nos. ½. – P. 25-38.
- 21 Досмухамедов Н.К., Каплан В., Жолдасбай Е.Е., Любомирский И. Физико-химические основы технологии очистки серосодержащих отходящих газов расплавами карбонатов щелочных металлов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* – 2015. – № 9, Ч.2. – С.255-259.
- 22 Dosmukhamedov N.K., Lezin A.N., Tokenov N.M. Ecoanalytics in mining metallurgy // *Internationaler Kongress Fachmesse EURO-ECO.* – 2012. Hannover, (Germany), 29-30 November. – P. 44-45.

REFERENCE

- 1 Kalygin V. G. *Promyshlennaya ekologiya: uchebnoe posobie dlya vuzov.* - M.: Akademiya. – 2010. – 432 s.
- 2 Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Kurmanseitov M.B., Argyn A.A., Zheldibay M. A. Technological experiments of joint smelting of lead intermediate products, recycled materials and high-sulfur copper-zinc concentrate. // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a.* – №2 (313). – 2020. – P.5-13.

- 3 Dosmukhamedov N. K., Argyn A. A., Zholdasbay E. E., Kurmanseitov M. B. Converting of copper-lead matte: loss of gold and silver with slag // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a*. – 2020. – № 3 (314). – P.5- 14.
- 4 Aliev G.M. *Tehnika pyleulavlivaniya i ochistki promyshlennyh gazov*. - M.: Metallurgiya. – 2012. –544 s.
- 5 Crundwell F.K., et al., *Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals*. 2011, Oxford: Elsevier. 583.
- 6 Davenport W.G., et al., *Extractive Metallurgy of Copper*. 2002. Oxford: Pergamon. 417.
- 7 Habashi F. *Copper metallurgy at the crossroads* // *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy*. – 2007. – Vol.43(1). – P. 1-19.
- 8 Nolan P. *Flue Gas Desulfurization Technologies for Coal-Fired Power Plants* // in *Coal-Tech 2000 International Conference*. 2000. Jakarta, Indonesia.
- 9 Mcillroy R.A., Atwood G.A. and Major C.J. *Absorption of Sulfur-Dioxide by Molten Carbonates* // *Environmental Science & Technology*. – 1973. – Vol.7(11). – P. 1022-1028.
- 10 Yosim S.J., et al., *Chemistry of Molten Carbonate Process for Sulfur Oxides Removal from Stack Gases* // *Advances in Chemistry Series*. – 1973. – Vol.127. – P. 174-182.
- 11 Moore K.A. *Recovery of Sulfur Values from Molten Salt*. 1973: US Patent 3867514.
- 12 Krebs T. and Nathanson G.M. *Reactive collisions of sulfur dioxide with molten carbonates* // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2010. – Vol.107(15). – P. 6622-6627.
- 13 Kaplan V., Wachtel E. and Lubomirsky I. *Carbonate melt regeneration for efficient capture of SO₂ from coal combustion* // *RSC Advances*. – 2013. – Vol.3(36). – P. 15842-15849.
- 14 Lubomirsky I. and Kaplan V. *Apparatus and method for removing sulfur dioxide from flue gases* US Patent 8852540. – 2014.
- 15 Lubomirsky I. and Kaplan V. *Apparatus and method for removing sulfur dioxide from flue gases* EP Patent 2723473. – 2016.
- 16 Schlesinger M.E., et al., *Extractive Metallurgy of Copper*. – 2011. Amsterdam: Elsevier.
- 17 Sinclair R.J. *The Extractive Metallurgy of Zinc* // Carlton Victoria, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2005. – P. 303.
- 18 Sinclair R.J. *The Extractive Metallurgy of Lead* // Carlton Victoria, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2009. – P. 311.
- 19 Kaplan V., Dosmukhamedov N., Lubomirsky I. *Development of highly efficient technology of purification of SO₂-containing flue gases with production of valuable secondary product* // *The 40th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems*. May 31 to June 4, 2015, Clearwater, Florida, USA.
- 20 Dosmukhamedov N., Kaplan V., Wachtel E., Lubomirsky I. *Carbonate melt-based flue gas desulphurization: material balance and economic advantage* // *International Journal Oil, Gas and Coal Technology*. – 2018. – Vol. 18, Nos. ½. – P. 25-38.
- 21 Dosmukhamedov N.K., Kaplan V., Zholdasbay E.E., Lubomirski I. *Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii ochistki serosoderzhashih othodyashih gazov rasplavami karbonatov shelochnyh metallov* // *Mejdunarodnyi jurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovaniy*. – 2015. – № 9, Ch.2. – S.255-259.
- 22 Dosmukhamedov N.K., Lezin A.N., Tokenov N.M. *Ecoanalytics in mining metallurgy* // *Internationaler Kongress Fachmesse EURO-ECO*. – 2012. Hannover, (Germany), 29-30 November. – P. 44-45.

Досмұхамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Құрмансейтов М.Б., Арғын А.Ә.
ЖЭС ЖӘНЕ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ КӘСІПОРЫНДАРДАН ШЫҒАТЫН ГАЗДАРДЫ SO₂ ТАЗАЛАУ
МӘСЕЛЕСІНЕ: КАРБОНАТТЫ-СУЛЬФАТТЫ ЕРІТІНДІНІ ТАБИҒИ ГАЗБЕН РЕГЕНЕРАЦИЯЛАУ

Түйіндеме. Бұл жұмыста ЖЭС және металлургиялық кәсіпорындардан шығатын газдардан SO₂ және CO₂ тазалау технологиясын жасақтаудың жалпы тұжырымдамасы ұсынылды. Карбонатты-сульфатты ерітіндіні табиғи газбен регенерациялау процесін жүргізудің принципіалды мүмкіндігі көрсетілді. Тәжірибелік сынағалардың нәтижесі негізінде карбонатты-сульфатты ерітіндіні табиғи газбен регенерациялау процесі кезінде сульфаттарды тотықсыздандырудың жоғары жылдамдығы және ерітіндіден күкіртті H₂S түрінде максималды 99 % дейін бөліп алу орнатылды. Карбонатты-сульфатты ерітіндіні табиғи газбен барботажау арқылы күкіртті бөліп алу шығатын газдарды тазалау абсорбционды колоннасының жұмыс температуралары диапазонында – 500-550 °C іске асырылуы орнатылды. Карбонатты-сульфатты ерітіндіні табиғи газбен регенерациялау процесі – жоғары жылдамдықпен жүретін, салыстырмалы қарапайым бірсатылы процесс. Бұл шығатын газдардан күкіртті ұстауды іске асыратын абсорбционды колоннаны регенерациялау колоннасымен біріктіруге мүмкіндік береді. Күкіртті H₂S түрінде бөліп алу соңғы тауарлы өнім таңдауда біршама ерік береді: не

күкірт қышқылы (H₂S құрғақ жағу арқылы), не элементті күкірт (Клаус процесі арқылы), олар айтарлықтай коммерциялық құндылыққа ие.

Ұсынылып отырған карбонатты-сульфатты ерітіндіні регенерациялау тәсілі шығатын газдарды күкіртті ангидридтен сілтілі металдардың карбонатты балқымасымен тазарту технологиясын айтарлықтай жеңілдетеді және ерекше материалдық және энергетикалық шығындарсыз қазіргі металлургиялық кәсіпорындардың жалпы технологиялық схемасына оңай біріктіріледі

Түйін сөздер: шығатын газдар, күкіртті ангидрид, абсорбциялау, карбонатты-сульфатты ерітінді, регенерациялау, табиғи газ, күкірт.

Dosmukhamedov N.K., Egizekov M.G., Zholdasbay E.E., Kurmanseitov M.B., Argyn A.A.
ABOUT THE ISSUE OF CLEANING EXHAUST GASES FROM TPPs
AND METALLURGICAL ENTERPRISES FROM SO₂: REGENERATION
OF CARBONATE-SULFATE MELT WITH NATURAL GAS

Abstract. General concept is proposed for a technology of purifying waste gases of TPPs and metallurgical enterprises from SO₂ and CO₂. The fundamental possibility of carrying out the process of regeneration of carbonate-sulfate melt with natural gas is shown. Based on experimental work it has been established that the process of regeneration of a carbonate-sulfate melt with natural gas provides high rates of sulfate reduction and the achievement of maximum up to 99% sulfur recovery from the melt in the form of H₂S.

It has been determined that the removal of sulfur from a carbonate-sulfate melt by bubbling with natural gas can be carried out in the operating temperature range of an absorption column for purifying exhaust gases as 500-550 °C. It is shown that the process of regeneration of a carbonate-sulfate melt with natural gas is a relatively simple one-stage process that proceeds at a high rate. This allows the regeneration column to be integrated with an absorption column where sulfur is captured from the exhaust gases. The removal of sulfur in the form of H₂S provides considerable range of choice in terms of the final commercial product: either sulfuric acid (by dry combustion of H₂S) or elemental sulfur (by the Claus process), both have significant commercial value.

The proposed method for the regeneration of a carbonate-sulfate melt simplifies the technology of purifying waste gases from sulfur dioxide with a carbonate melt of alkali metals. Moreover, it can be easily integrated into the general technological scheme of existing metallurgical enterprises without special material and energy costs.

Keywords: waste gases, sulfur dioxide, absorption, carbonate-sulfate melt, regeneration, natural gas, sulfur.

Сведения об авторах

Досмухамедов Н.К., т.ф.к., профессор, nurdos@bk.ru, n.dosmukhamedov@satbayev.university

Егизеков М.Г., т.ф.к., басты ғылыми қызметкер, maksut.egizekov@mail.ru

Жолдасбай Е.Е., PhD, жетекші ғылыми қызметкер, zhte@mail.ru

Курмансейтов М.Б., PhD, аға ғылыми қызметкер, murat.kmb@mail.ru

Аргын А.А., металлургия магистрі, PhD докторант, aidarargyn@gmail.com

БАЛАНСОВЫЕ ОПЫТЫ ПО ОЧИСТКЕ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЭЦ ОТ SO₂ И NO_x КАРБОНАТНЫМ РАСПЛАВОМ

Досмухамедов Н.К.,¹ Жолдасбай Е.Е.¹

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан.

Аннотация. Концептуальная схема технологии очистки отходящих газов ТЭЦ включает организацию взаимосвязанных между собой процессов химической абсорбции SO₂ и NO_x карбонатным расплавом щелочных металлов и дальнейшую регенерацию карбонатно-сульфатного расплава природным газом. В ранее проведенных исследованиях была показана возможность очистки отходящих газов от серы и регенерации расплава монооксидом углерода. Ограниченность этих работ заключалась в использовании в качестве восстановителя при регенерации расплава СО, и в практическом отсутствии данных по поведению соединений азота. Эти пробелы устранены в настоящей работе.

На основании результатов балансовых опытов процесса химической абсорбции SO₂ и NO_x из отходящих газов карбонатным расплавом, и регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом, показана принципиальная возможность осуществления замкнутой технологии глубокой очистки газов от SO₂ и NO_x. Показано, что ведение процесса химической абсорбции газов карбонатным расплавом и регенерации расплава природным газом при одинаковой температуре 500 °С позволяет осуществить технологию с использованием одного реактора.

Установлено, что в процессе химической абсорбции SO₂ и NO_x из отходящих газов ТЭЦ карбонатным расплавом щелочных металлов, улавливается более 95 % серы и ~60 % соединений азота. Показано, что в процессе регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом достигается 100 % извлечение серы и азота в газовую фазу с образованием в расплаве карбонатов щелочных металлов. Приведены результаты материального баланса процесса химической абсорбции и регенерации карбонатно-сульфатного расплава путем восстановления природным газом.

Ключевые слова: отходящие газы, сернистый ангидрид, соединения азота, химическая абсорбция, карбонатный расплав, регенерация, природный газ.

Введение

Выбросы промышленных предприятий Казахстана в атмосферу составляют более трех миллионов тонн в год, из которых 85% приходится на 43 крупных предприятия. Наибольшее количество вредных веществ от стационарных источников выбрасывают предприятия цветной металлургии (29 %) и теплоэнергетики (23 %) в виде сернистого ангидрида [1, 2].

На большинстве ТЭЦ очистка относительно бедных по сере отходящих газов угольных электростанций, содержащих менее 4 % SO₂, осуществляется способами их нейтрализации путем взаимодействия потока отходящего газа с известняком - CaCO₃ или гашеной известью - Ca(OH)₂, которые могут применяться либо в твердом виде, либо в виде водной суспензии.

В условиях жестких требований, предъявляемых к охране окружающей среды, эко-

Источник финансирования исследований

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2020-2022 годы по приоритетному направлению «Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геологии, переработки, новых материалов и технологий, безопасных изделий и конструкций» проекта № AP08856384 ««Разработка новой высокотехнологичной технологии утилизации SO₂ и CO₂ из отходящих газов ТЭЦ и металлургических предприятий с получением товарных продуктов»».

гии и жизнеобеспечению людей, существующие сегодня методы очистки газов, не удовлетворяют современным требованиям и сопровождаются образованием большого объема отвального загрязненного гипса [3, 4, 5]. Извлечение серы из газов ~90 %, практически весь спектр соединений азота выбрасывается в атмосферу, что требует изыскания новых способов очистки газов не только от SO_2 , но и NO_x .

В работах [6, 7] предложено высокоэффективное решение глубокой очистки отходящих от SO_2 ($\text{SO}_2 < 0,003\%$) путем абсорбции SO_2 расплавом карбонатов щелочных металлов. Был построен опытный завод, но процесс не был внедрен из-за отсутствия надежного способа регенерации карбонатного расплава.

Одним из эффективных решений регенерации карбонатно-сульфатного расплава является его восстановление монооксидом углерода [8]. Достигнуто высокое до 99 % извлечение серы из расплава. Технология была апробирована на котельной К-19 АО «ЭнергоОрталык-3» (г. Шымкент) [9]. Полученные результаты полностью подтвердили теоретические основы технологии: достигнуто высокое до 95 % улавливание серы и практически полное извлечение ее при регенерации монооксидом углерода. К сожалению, несмотря на положительные результаты открытыми остались вопросы улавливания соединений азота в условиях процесса химической абсорбции газов карбонатным расплавом и дальнейшей регенерации карбонатно-сульфатных расплавов монооксидом углерода.

Широкое использование в металлургической практике природного газа представляет большой интерес с точки зрения его применения в качестве восстановителя карбонатно-сульфатного расплава, вместо монооксида углерода. Теоретические аспекты регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом были рассмотрены в работе [10, 11]. Показана принципиальная возможность использования природного газа в качестве восстановителя карбонатно-сульфатного расплава с получением сероводоро-

да (H_2S), пригодного для получения серной кислоты и элементарной серы [11]. Применение природного газа вместо CO для регенерации имеет значительные преимущества: исключается необходимость дополнительного оборудования и расхода угля для получения CO . В проведенных исследованиях, к сожалению, не были затронуты вопросы улавливания соединений азота NO_x в процессах химической абсорбции отходящих газов и регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом.

Детальный анализ поведения соединений азота в условиях процесса химической абсорбции отходящих газов ТЭЦ карбонатным расплавом щелочных металлов и дальнейшей регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом проведен в работе [12]. На основании термодинамического анализа реакций взаимодействия компонентов газовой фазы с карбонатным расплавом щелочных металлов показана высокая вероятность улавливания соединений азота (NO_x) с образованием в расплаве, преимущественно, нитрита калия (KNO_2). Также установлено, что при температуре процесса регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом (823 К) свободная энергия Гиббса реакции восстановления KNO_2 природным газом составляет, $\Delta G_{823\text{K}}^\circ = -520$ кДж/моль. Большая отрицательная величина свободной энергии Гиббса указывает на возможность восстановления KNO_2 с образованием карбоната калия, чистого азота и паров воды [12].

Цель настоящей работы – исследование улавливания SO_2 и соединений азота NO_x в процессе химической абсорбции отходящих газов карбонатным расплавом щелочных металлов и регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом в условиях балансовых опытов.

Методы исследования

Балансовые опыты химической абсорбции SO_2 и NO_x карбонатным расплавом, с дальнейшей регенерацией карбонатно-сульфатного расплава природным газом проведены в непрерывном режиме.

Количество эвтектического карбонатного расплава – 271,26 кг.

Состав газов, подаваемых в реактор, был следующим, % (об.): 0,15 SO₂, 4,7 O₂, 9,3 CO₂, 3,8 H₂O, 13 ppm – NO, 52 ppm – NO₂, остальное – азот.

Расход газа составлял 12,87 м³/мин и измерялся расходомером СГК-Г4. Контроль состава отходящих газов из реактора проводился с помощью газоанализатора ДАГ-510 с диапазоном измерений 0-400 ppm, и абсолютной погрешностью ± 5 ppm.

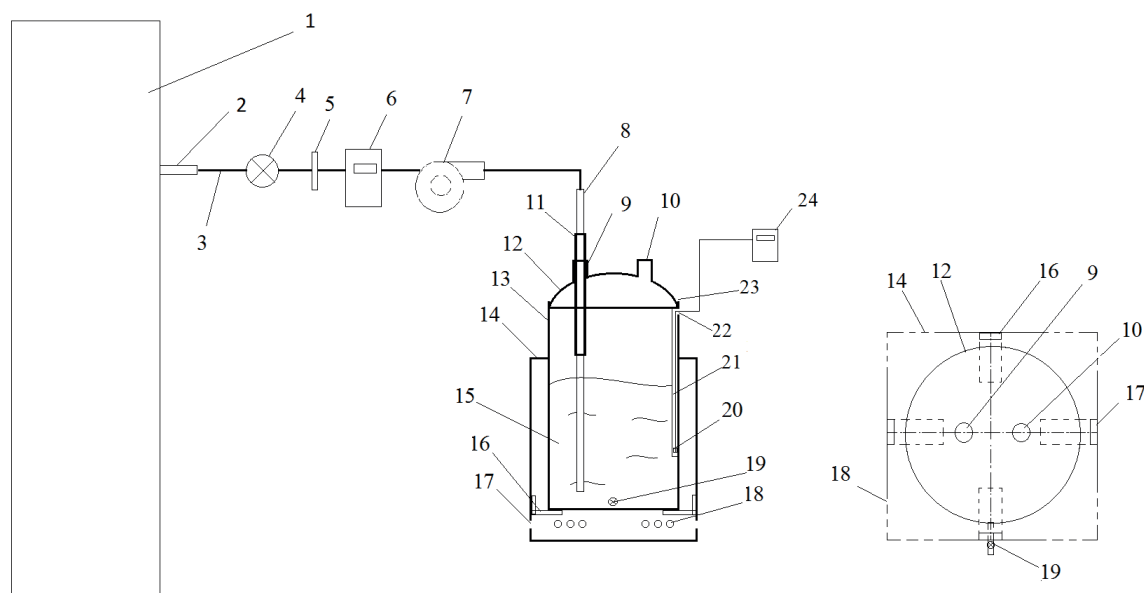
Продолжительность процесса химической абсорбции очистки газов от SO₂ и NO_x составила 600 мин. Во время опытов, через каждые 60 мин отбирали пробы расплава в количестве ~10 г с помощью стержня из нержавеющей стали. Пробы после измельчения подвергали

химическому анализу на содержание в них серы и азота.

После завершения процесса химической абсорбции, полученный карбонатно-сульфатный расплав подвергался регенерации путем продувки природным газом. Температура процесса регенерации расплава – 500 °С. Температуру расплава контролировали с помощью термопары ТХА и вторичным прибором КСП-4.

Результаты и общее их обсуждение

Общая схема установки для проведения балансовых опытов по химической абсорбции SO₂ и NO_x из отходящих газов ТЭЦ карбонатным расплавом и дальнейшей регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом показана на рисунке 1.



- 1 – газопровод; 2 – врезка для отбора отходящих газов (труба d=25 мм); 3 – вакуумный шланг (d=25 мм); 4 – кран; 5 – фильтр (марлевый); 6 – газовый счетчик (СГК G-4); 7 – дымосос (Vотх.газ=2600 м³/с); 8 – труба для ввода газа в реактор (d=25 мм); 9 – отверстие для направляющей трубы (d=35 мм); 10 – выход для отходящих газов (d=25 мм); 11 – направляющая труба (d=35 мм); 12 – съемная крышка; 13 – реактор (нержавеющая сталь); 14 – кожух (стальной); 15 – карбонатный расплав; 16 – уголок; 17 – отверстие для горелки; 18 – отверстия для воздуха; 19 – кран для аварийного выпуска расплава; 20 – термопара ТХА; 21 – кожух для термопары (d=10 мм); 22 – отверстие для термопары; 23 – болты крепления крышки; 24 – вторичный прибор КСП-4.

Рисунок 1 – Технологическая схема очистки отходящих газов от SO₂ и NO_x

Процесс химической абсорбции SO₂ и NO_x карбонатным расплавом

Общая продолжительность процесса химической абсорбции – 10 ч. Состав эвтектической карбонатной смеси, %: 43,5 Li₂CO₃, 31,5 Na₂CO₃, 25,0 K₂CO₃.

Расход газа, подаваемого на абсорбцию,

составил 12,87 м³/мин. Общий объем газа, пропущенного через карбонатный расплав в течение 10 ч, составил 7721 м³ или 10468,5 кг.

Результаты опытов по очистке отходящих газов от SO₂ и NO_x путем химической их абсорбции карбонатным расплавом щелочных металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты химической абсорбции SO₂ и NO_x карбонатным расплавом

№№ пп	Время, мин	Количество пропущенного через расплав газа, м ³	Количество SO ₂ в исходном газе, кг	Количество серы в расплаве, кг	Количество NO _x в расплаве, кг
1	60	772,07	3,14	1,49	0,08
2	120	1544,13	6,28	2,99	0,17
3	180	2316,20	9,42	4,49	0,25
4	240	3088,27	12,56	5,99	0,33
5	300	3860,33	15,70	7,49	0,42
6	360	4632,40	18,84	8,99	0,50
7	420	5404,47	21,98	10,49	0,58
8	480	6176,53	25,12	11,98	0,67
9	540	6948,60	28,26	13,50	0,75
10	600	7720,67	31,41	15,01	0,84

Из таблицы 1 видно, что с увеличением продолжительности процесса химической регенерации, содержание серы и азота (NO_x) в расплаве увеличивается. При этом извлечение серы из газов в расплав практически достигает максимального извлечения. В случае извлечения азота результаты по его количеству значительно отклоняется от максимального значения его извлечения. В результате расчетов установлено, что извлечение серы и азота в карбонатный расплав составляют 96 и 60 %, соответственно. Низкое извлечение азота в расплав можно объяснить некоторым торможением протекания реакции взаимодействия карбоната калия с соединениями азота, ввиду нехватки свободного кислорода для более полного связывания соединений азота (NO_x) в нитрит калия. Следовательно, в процессе хи-

мической абсорбции серы и соединений азота из отходящих газов карбонатным расплавом необходимо увеличивать время пребывания газа в реакторе. Это позволит обеспечить более полный контакт газа с расплавом и предусмотреть возможность контроля подачи кислорода во время процесса.

Установленные закономерности свидетельствуют о том, что в процессе химической абсорбции газов наблюдается значительный рост в расплаве общего содержания ионов сульфата SO₄²⁻ и нитрита NO₂⁻. При этом содержание ионов карбоната (CO₃²⁻) в расплаве снижается. График зависимости расчетных значений содержания ионов SO₄²⁻ и NO₂⁻ в расплаве от продолжительности процесса химической абсорбции газов, показанный на рисунке 2, полностью подтверждает это положение.

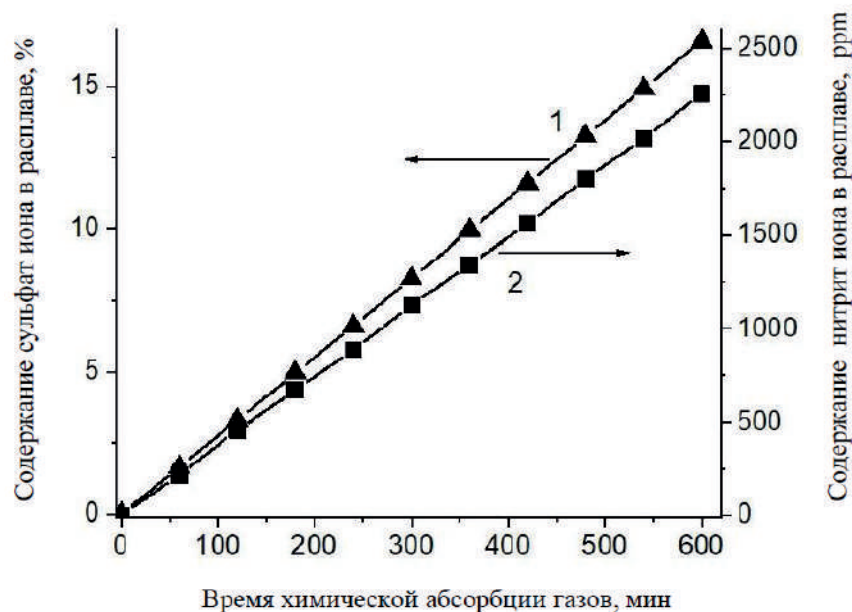


Рисунок 2 – Динамика изменения содержания ионов SO_4^{2-} и NO_2^{1-} в расплаве от продолжительности процесса химической абсорбции отходящих газов карбонатным расплавом

Конечный расчетный состав и количество отходящего газа, полученного после его очистки от SO_2 и NO_x карбонатным расплавом, показан в таблице 2.

Таблица 2 – Количество и состав отходящих газов после процесса химической абсорбции карбонатным расплавом щелочных металлов

Компоненты газа	Кол-во, кг	Объем газов, $нм^3$	%, (об.)
SO_2	1,38	0,53	0,0132
NO_2	0,42	0,28	0,005
O_2	523,42	366,03	5,0
N_2	7932,46	6339,07	75,75
CO_2	1435,05	724,77	13,73
H_2O	575,77	289,33	5,5
Всего:	10468,5	7720,01	100,00

По результатам проведенных балансовых опытов рассчитан общий материальный баланс технологии очистки отходящих газов ТЭС от SO_2 и NO_x карбонатным расплавом щелочных металлов, который представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Общий материальный баланс процесса химической абсорбции газов карбонатным расплавом щелочных металлов

№	Наименование продуктов	Количество, кг	Сера			Азот		
			I	II	III	I	II	III
Загружено:								
1	Отходящие газы	10468,5	0,15	15,70	100	0,005	0,27	100

2	Карбонатный расплав	271,26						
Итого:		10739,76		15,70	100		0,27	100
Получено:								
3	Карбонатно-сульфатный расплав	288,31	5,21	15,02	95,67	0,048	0,14	51,39
4	Газы после очистки	10451,45	0,005	0,68	4,33	0,001	0,13	48,61
Итого:		10739,76		15,70	100		0,27	100

I – содержание, %; II – количество, кг; III – распределение, %.

Процесс регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом

За основу проведения химической регенерации карбонатно-сульфатного расплава путем восстановления природным газом принята установка, схема которой показана на рис.1. Методика проведения балансовых опытов по регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом заключалась в следующем. Продувочная трубка (8), использованная для подачи отходящих газов в реактор (13), с помощью вакуумного шланга соединялась через газовый счетчик СГК-G4 (6) с баллоном природным газом. Далее продувочная трубка опускалась в расплав на расстояние 10 мм от дна реактора, после чего начиналась продувка карбонатно-сульфатного расплава.

Продолжительность этапа регенерации – 40 мин. Пробы расплава в количестве по 10 г отбирались с помощью стального стержня через каждые 10 мин. Расход CH_4 и кислорода, подаваемых для регенерации, составлял 0,29 $\text{м}^3/\text{мин}$ и 0,4 $\text{м}^3/\text{мин}$, соответственно.

По истечении заданного времени продувки расплава природным газом, его подача в реактор прекращалась. Продувочная трубка вынималась из расплава и готовилась к проведению дальнейшей операции химической абсорбции свежей порции серосодержащих отходящих газов. Таким образом, технология глубокой очистки отходящих газов от SO_2 и NO_x работала в непрерывном режиме.

Результаты испытаний регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты процесса химической регенерации карбонатно-сульфатного расплава путем восстановления CH_4

№№ пп	Время, мин	Кол-во CH_4 , пропущенного через расплав, м^3	Кол-во серы в расплаве, кг	Кол-во NO_x в расплаве, кг
1	0	0	15,01	0,84
2	10	2,84	8,56	0,61
3	20	5,69	4,89	0,35
4	30	8,53	1,47	0,08
5	40	11,37	Следы	Следы

Из данных, приведенных в табл.4 видно, что содержание серы и азота (NO_x) с увеличением времени продувки расплава природным газом уменьшается. Это означает, что реакция регенерации нитрита калия описывается ре-

акцией первого порядка, и механизм процесса описывается протеканием реакций восстановления сульфата и нитрита калия природным газом в присутствии кислорода.

Общий материальный баланс процесса хи-

мической регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом показан в таблице 5.

Выводы:

1. Полученные положительные результа-

Таблица 5 – Общий материальный баланс процесса регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом

№	Наименование продуктов	Количество, кг	Сера			Азот		
			I	II	III	I	II	III
Загружено:								
1	Карбонатно-сульфатный расплав	288,31	5,21	15,02	100,0	0,048	0,14	100
2	Природный газ	7,81						
Итого:		296,12		15,02	100		0,14	100
Получено:								
3	Карбонатный расплав	271,26	-	-	-	-	-	-
4	Отходящие газы	24,86	60,41	15,02	100	0,56	0,14	100
Итого:		296,12		15,02	100		0,14	100

На основании полученных результатов рассчитано извлечение серы и азота из расплава при химической регенерации карбонатно-сульфатного расплава путем восстановления природным газом. Установлено, что при химической регенерации карбонатно-сульфатного расплава достигается практически 100 % извлечение серы и соединений азота в газовую фазу. Установленные закономерности полностью подтверждают выводы термодинамического анализа о высокой вероятности абсорбции SO₂ и NO_x карбонатным расплавом, и возможности восстановления сульфатов щелочных металлов и нитрита калия природным газом [12].

Полученные результаты показывают высокую эффективность очистки отходящих газов от серы и соединений азота, и открывают широкие возможности для использования разработанной технологии для очистки дымовых газов ТЭЦ, работающих на сжигании угля.

ты балансовых опытов процесса химической абсорбции отходящих газов карбонатным расплавом, и регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом показывают принципиальную возможность осуществления технологии глубокой очистки отходящих газов ТЭЦ от SO₂ и NO_x в одном реакторе.

2. Установлено, что в процессе химической абсорбции SO₂ и NO_x из отходящих газов ТЭЦ карбонатным расплавом щелочных металлов, улавливается более 95 % серы и ~60 % соединений азота. Показано, что в процессе регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом достигается 100 % извлечение серы и азота в газовую фазу с образованием в расплаве карбонатов щелочных металлов.

3. Приведены результаты материального баланса процесса химической абсорбции и регенерации карбонатно-сульфатного расплава путем восстановления природным газом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Программа по наращиванию потенциала для регионального сотрудничества по приоритету Регионального плана действий по охране окружающей среды «Качество воздуха» в рамках проекта КАПАКТ. Ташкент. 2012. с.31.
- 2 «Программа по развитию электроэнергетики РК на 2010-2014 гг.». Постановление Правительства Республики Казахстан № 302 от 14 апреля 2010 г.
- 3 Губонина, З.И., Крынкина В.Н., Кунин В.С. Промышленная экология. Защита атмосферного воздуха от вредных выбросов: учеб. пособие / - М. : Изд-во МГОУ, 2012. 138 с.
- 4 Калыгин В. Г. Промышленная экология: учебное пособие для вузов. - М.: Академия, 2010. 432 с.
- 5 Пикалов, Е. С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Механические и физические методы очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу: Учебное пособие. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. 78 с.
- 6 Nolan P. Flue Gas Desulfurization Technologies for Coal-Fired Power Plants. *Coal-Tech 2000 International Conference*. Indonesia, Jakarta. 2000.
- 7 Krebs T. and Nathanson G.M. Reactive collisions of sulfur dioxide with molten carbonates. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2010. 107(15). P.6622–6627.
- 8 Kaplan V., Wachtel E., Lubomirsky I. Carbonate melt regeneration for efficient capture of SO₂ from coal combustion. *The Royal Society of Chemistry (RSC) Advances* 3, 2013. P. 15842-15849.
- 9 Досмухамедов Н.К., Симбинов М.Д., Жолдасбай Е.Е., Каплан В.А. Опытные промышленные испытания технологии глубокой очистки отходящих газов ТЭС карбонатным расплавом щелочных металлов. *Горный Журнал Казахстана*. 2018. № 4. С.34-40.
- 10 Dosmukhamedov N., Kaplan V., Zholdasbay Y., Wachtel E., Lubomirsky I. Natural gas regeneration of carbonate melts following SO₂ capture from non-ferrous smelter emissions. *The Royal Society of Chemistry (RSC) Advances* 7, 2017, P. 21406-21411.
- 11 Kawase M. O. and Otaka M. Removal of H₂S using molten carbonate at high temperature. *Waste Manag.* 2013. (33). P. 2706–2712.
- 12 Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансеитов М.Б., Аргын А.А. Поведение NO_x при очистке отходящих газов ТЭС карбонатным расплавом щелочных металлов. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2021. № 1. С.30-35.

REFERENCE

- 1 Programma po narashhivaniyu potenciala dlja regional'nogo sotrudnichestva po prioritetu Regional'nogo plana dejstvij po ohrane okruzhajushhej sredy «Kachestvo vozduha» v ramkah proekta KAPAKT. Tashkent. 2012. s.31.
- 2 «Programma po razvitiju jelektroenergetiki RK na 2010-2014 gg.». Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan № 302 ot 14 aprelja 2010 g.
- 3 Gubonina, Z.I., Krynkina V.N., Kunin V.S. Promyshlennaja jekologija. Zashhita atmosfernogo vozduha ot vrednyh vybrosov: ucheb. posobie / - M. : Izd-vo MGOU, 2012. 138 s.
- 4 Kalygin V. G. Promyshlennaja jekologija: uchebnoe posobie dlja vuzov. - M.: Akademija, 2010. 432 s.
- 5 Pikalov, E. S. Processy i apparaty zashhity okruzhajushhej sredy. Mehanicheskie i fizicheskie metody oчитki promyshlennyh vybrosov v atmosferu i gidrosferu: Uchebnoe posobie. - Vladimir: IZD-VO VIGU, 2015. 78 s.
- 6 Nolan P. Flue Gas Desulfurization Technologies for Coal-Fired Power Plants. *Coal-Tech 2000 International Conference*. Indonesia, Jakarta. 2000.
- 7 Krebs T. and Nathanson G.M. Reactive collisions of sulfur dioxide with molten carbonates. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2010. 107(15). R.6622–6627.
- 8 Kaplan V., Wachtel E., Lubomirsky I. Carbonate melt regeneration for efficient capture of SO₂ from coal combustion. *The Royal Society of Chemistry (RSC) Advances* 3, 2013. R. 15842-15849.
- 9 Dosmuhamedov N.K., Simbinov M.D., Zholdasbay E.E., Kaplan V.A. Opytno-promyshlennye ispytaniya tehnologii glubokoj oчитki othodjashhij gazov TJeS karbonatnym rasplavom shhelochnyh metallov. *Gornyj Zhurnal Kazahstana*. 2018. № 4. S.34-40.
- 10 Dosmukhamedov N., Kaplan V., Zholdasbay Y., Wachtel E., Lubomirsky I. Natural gas regeneration of carbonate melts following SO₂ capture from non-ferrous smelter emissions. *The Royal Society of Chemistry (RSC) Advances* 7, 2017, R. 21406-21411.
- 11 Kawase M. O. and Otaka M. Removal of H₂S using molten carbonate at high temperature. *Waste Manag.* 2013. (33). R. 2706–2712.
- 12 Dosmuhamedov N.K., Egizekov M.G., Zholdasbay E.E., Kurmanseitov M.B., Argyn A.A. Povedenie NO_x pri oчитke othodjashhij gazov TJeS karbonatnym rasplavom shhelochnyh metallov. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2021. № 1. S.30-35.

Досмұхамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е.

ЖЭС ШЫҒАТЫН ГАЗДАРДЫ SO_2 ЖӘНЕ NO_x КАРБОНАТТЫ БАЛҚЫМАМЕН ТАЗARTУ БОЙЫНША БАЛАНСТЫҚ ТӘЖІРИБЕЛЕР

Түйіндеме. ЖЭС шығарылатын газдарды тазарту технологиясының тұжырымдамалық схемасы SO_2 және NO_x сілтілі металдардың карбонатты балқымасымен химиялық абсорбциялау мен карбонатты-сульфатты балқыманы табиғи газбен регенерациялау процестерін ұйымдастыруды қамтиды. Бұрын жүргізілген зерттеулерде шығатын газдарды күкірттен тазарту және көміртегі тотығымен балқыманы қалпына келтіру мүмкіндігі көрсетілген. Бұл жұмыстар балқыманы регенерациялау кезінде тотықсыздандырғыш ретінде СО пайдалану және азот қосылыстарының әрекеті бойынша деректердің іс жүзінде болмауымен шектелді. Ол олқылықтардың орны осы жұмыста толтырылады.

Шығарылатын газдардан SO_2 және NO_x карбонатты балқымамен химиялық абсорбциялау және карбонатты-сульфатты балқыманы табиғи газбен регенерациялау процесінің баланстық тәжірибелерінің нәтижелері негізінде SO_2 және NO_x газдарды терең тазартудың жабық технологиясын жүзеге асырудың негізгі мүмкіндігі көрсетілген. Газдарды карбонатты балқымамен химиялық абсорбциялау және балқыманы табиғи газбен 500 °С бірдей температурада регенерациялау процесін жүргізу бір реакторды пайдалана отырып, технологияны жүзеге асыруға мүмкіндік беретіні көрсетілген.

ЖЭС шығатын газдарды SO_2 және NO_x химиялық абсорбциялау процесінде сілтілі металдардың карбонатты балқымасымен 95%-дан астам күкірт және ~60% азот қосылыстары ұсталынады. Карбонатты-сульфатты балқыманы табиғи газбен қалпына келтіру процесінде газ фазасына күкірт пен азоттың 100% шығарылуына қол жеткізіліп, балқымада сілтілі металл карбонаттары пайда болатындығы көрсетілген.

Табиғи газбен қалпына келтіру арқылы карбонатты-сульфатты балқыманың химиялық абсорбциялау мен регенерациялау процесінің материалдық балансының нәтижелері келтірілген.

Түйін сөздер: шығатын газдар, күкіртті ангидрид, азот қосылыстары, химиялық абсорбция, карбонатты балқыма, регенерациялау, табиғи газ.

Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E.

BALANCE EXPERIMENTS ON THE PURIFICATION OF WASTE GASES OF THERMAL POWER PLANTS FROM SO_2 AND NO_x BY CARBONATE MELT

Abstract. The conceptual scheme of the waste gas treatment technology of the CHP includes the organization of interconnected processes of chemical absorption of SO_2 and NO_x by the carbonate melt of alkali metals and further regeneration of the carbonate-sulfate melt by natural gas. In previous studies, it was shown that it is possible to purify waste gases from sulfur and regenerate the melt with carbon monoxide. The limitations of these works were the use of CO as a reducing agent during the regeneration of the melt, and the practical lack of data on the behavior of nitrogen compounds. These gaps are eliminated in this paper.

Based on the results of balance experiments of the process of chemical absorption of SO_2 and NO_x from waste gases by a carbonate melt, and the regeneration of a carbonate-sulfate melt by natural gas, the principal possibility of implementing a closed technology for deep purification of gases from SO_2 and NO_x is shown. It is shown that the process of chemical absorption of gases by a carbonate melt and the regeneration of the melt by natural gas at the same temperature of 500 °C allows the technology to be implemented using a single reactor.

It was found that during the chemical absorption of SO_2 and NO_x from the waste gases of the CHP by the carbonate melt of alkali metals, more than 95 % of sulfur and ~60 % of nitrogen compounds are captured. It is shown that in the process of regeneration of a carbonate-sulfate melt with natural gas, 100% extraction of sulfur and nitrogen into the gas phase is achieved with the formation of alkali metal carbonates in the melt.

The results of the material balance of the process of chemical absorption and regeneration of the carbonate-sulfate melt by reduction with natural gas are presented.

Keywords: waste gases, sulfur dioxide, nitrogen compounds, chemical absorption, carbonate melt, regeneration, natural gas.

Сведения об авторах

Досмұхамедов Н.К.

Жолдасбай Е.Е.

7074128979 Ержан

E-mail: nurdos@bk.ru

ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚ НЕГІЗІНДЕ ЫЛҒАЛДЫҚТЫ ӨЛШЕЙТІН ДАТЧИКТИ АНЫҚТАУ

Хабай А.¹, Тулешов Е.А.¹, Шадыманова А.А.², Садыков С.К.¹, Байтурганова В.К.¹

¹Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

²Ұлттық мемлекеттік ғылыми-техникалық сараптама орталығы, Алматы, Қазақстан.

Түйіндеме. Қазіргі таңда датчиктердің сезгіштік, селективтілік, сенімділігін және жауап беру уақыттарын одан әрі жетілдіру қажет. Оптикалық талшық негізіндегі ылғалдылықты өлшейтін датчик жоғары сезімталдыққа, тез жауап беруге, ықшамды көлеміне және анти-электромагниттік кедергі сияқты артықшылықтарына байланысты қызығушылығымен зерттелді.

Фабри-Перо интерферометрлері (ФПИ) негізделген оптикалық талшықтың ылғалдылыққа байланысты ішкі сезімталдығы ұсынылып, эксперименталды түрде көрсетілді. Лазерлік сенсорлық сезімтал механизмін және оның сезімталдық көрсеткіштері сипатталды. Осы талдаулар негізінде ылғалдылықты өлшейтін оптикалық талшықты датчиктің жұмысын ұсыну.

Түйінді сөздер: Фабри-Перо интерферометрлері, салыстырмалы ылғалдылық, оптикалық талшық, бір бағытты талшық, сигналдың шуылға қатынасы.

Кіріспе. Ылғалдылықты бақылау химия, биология, метеорология, электроника, автомобильдер, өсімдіктер, микроэлектроникалық өндірісте және басқа ғылым мен техниканың көптеген салаларында өте маңызды рөл атқарады. Қазіргі уақытта түрлі физикалық принциптерді қолданатын көп сандық датчиктер бар. Дегенмен, датчиктердің сезгіштік, селективтік, сенімділігін және жауап беру уақыттарын одан әрі жетілдіру қажет.

Қазіргі таңда қолданыстағы ылғалдылықты өлшейтін датчиктер бар [1-4]. Оптикалық талшық негізіндегі ылғалдылықты өлшейтін датчик жоғары сезімталдыққа, тез жауап беруге, ықшамды көлеміне және анти-электромагниттік кедергі сияқты артықшылықтарына байланысты қызығушылығымен зерттелді.

Зерттеу әдістері. Кристалды талшыққа негізделген ылғалдылықты анықтауға арналған талшықтық сенсорлардың бірнеше түрлері ұсынылған [5-8]. Оптикалық талшықты температураны өлшеу әдістеріне қолдану көрсетілген [10]. Оптикалық талшықты

Брэгг торлы шағылыстырудың негізіндегі сезімталдықтар [10-13] және Фабри-Перо интерферометрлері [14,15], біртекті оптикалық талшықтар [16] басылымдарда талқыланды. Агроза гелінің шығыны төмен, дайындалуы оңай және тиісті есептерде жақсы көрсеткіштерге ие, сондықтан салыстырмалы ылғалдылық үшін кеңінен қолданылады [17]. Талшықты оптикалық сезімталдықты жақсарту үшін бұларды гигроскопиялық материалдардан жасайды, мысалы Агроза гелі, графен оксиді, поливинил спирті, SiO₂, WS₂ сияқты және т.б. Қазіргі кезде көптеген оптикалық сенсорлар пассивті және кең жолақты жарық көзімен жұмыс істейді. Соңғы жылдарда, оптикалық талшықты лазерінің ішкі сезімталдығына негізделген датчиктер кеңінен зерттелді, өйткені олардың спектрлі резонансының шыңның көрінуін жақсартылды және өткізу қабілеттілігі 3-дБ-ге жетті [18-20].

Оптикалық талшықты лазерлерге негізделген ішкі сезімталдылықты дамыту арқылы датчиктердің сигналдың шуылға қатына-

сы жақсартылды, ал тар диапазондағы 3 дБ өткізу сенсорлық желінің сыйымдылығын арттырады.

Зерттеу нәтижелері. Бұл мақалада оптикалық талшықты ФПИ (Фабри-Перот интерферометрлер) 25% пен 95 % салыстырмалы ылғалдылық диапазонында тәжірибелік нәтижелер алу және оптикалық талшықтың Брэгг торлының температураға байланысын деформация негізінде кері шағылу спектрі арқылы температураны анықтау мүмкіндігіне талдау жасалған.

Датчиктің жұмыс принципі. Ұсынылған датчиктің жұмыс принципі Фабри-перо интерферометрі әдісі негізінде ылғалдылыққа сезімтал агрозалық гелдің ішкі лазерлік шағылысуына байланысты. Фабри-Перот интерферометрі әдісі ылғалдылыққа сезімтал. Схемасы 1-суретте ұсынылған. Оптикалық бір бағытты режимдегі талшық және оған Брэгг торлары орналастырылған, оның көлденең қимасы жарты рефлексиялық пленкамен жабылып ФПИ вакуумдық қуысына жалғасады. ФПИ вакуумдық қуысты кремний диафрагмасымен жабылады. 1-суретте көрсетілгендей, кремний диафрагмасына агроза гелі қойылады. Ұзындығы h деп анықталған қуыстың алдыңғы және артқы екі шағылыстратын бет бар, бірі ылғалдылыққа сезімтал агроза гелі. Бұл екі беттен шағылысқан жарық арасында интерференция құбылысы пайда болады. Себебі, кремний диафрагмасындағы агроза гелінің қалыңдығы, нақты вакуум қуысының ұзындығынан әлдеқайда аз. Олар теориялық модельде бір шағылатын бет ретінде қарастырылды. Осылайша, ФПИ-дің E_r екі беттің шағылыстрған электр өрісінің шамасы мынадай болуы мүмкін:

$$E_r = E_0 [\sqrt{R_1} + (1 - \alpha)(1 - R_1)\sqrt{R_2}e^{-j2\varphi_{FP}}] \quad (1)$$

Мұндағы E_0 – берілген электр өрісі, α – таралудағы шығын факторы. R_1 және R_2 екі

шағылыстратын беттердің шағылыстыру коэффициенттері. φ_{FP} - айналыудың фазалық ығысуы, бұл мынадай болуы мүмкін:

$$\varphi_{FP} = \frac{4\pi h}{\lambda} \quad (2)$$

Сондықтан m -ші ретті ең жоғары толқын ұзындығы

$$\lambda_m = \frac{2h}{m} \quad (3)$$

мұндағы m - бүтін сан. Біз еркін спектрлік диапазондарды аламыз және екі іргелес жолақ арасындағы толқынның ұзындығының аралығын көрсетеміз:

$$\Delta\lambda_s = \frac{\lambda^2}{2h} \quad (4)$$

Толық шағылу спектрі $f(\lambda)$ ретінде сипаттауға болады

$$f(\lambda) = \left| \frac{E_r}{E_0} \right|^2 = A + B \cos(2\varphi_{FR}) \quad (5)$$

Мұнда

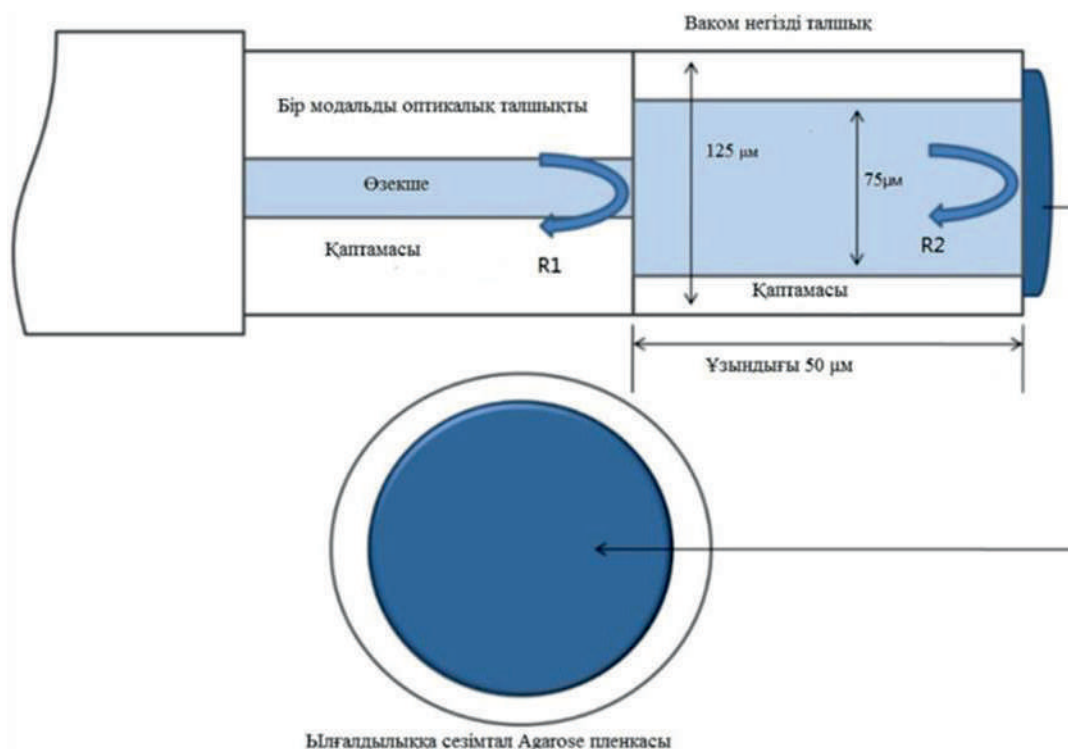
$$\begin{aligned} A &= R_1 + (1 - \alpha)^2(1 - R_1)^2 R_2, \\ B &= 2\sqrt{R_1 R_2}(1 - \alpha)(1 - R_1) \end{aligned} \quad (6)$$

Френел формуласына сәйкес, екінші бетіндегі көрініс коэффициенті ретінде мынадай жазылуы мүмкін:

$$R_2 = \left(\frac{n_A - 1}{n_A + 1} \right)^2 \quad (7)$$

Мұнда n_A - Агароза сыну көрсеткіші. Агарозаның сыну көрсеткіші өзгергенде, екінші бетіндегі шағылысу өзгереді. Агарозаның сыну көрсеткіші қоршаған ортаның ылғалдылығына сезімтал [15]. ФПИ ылғалдылықты анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін толқын ұзындығы $f(\lambda)$ төмендегідей сипатталады:

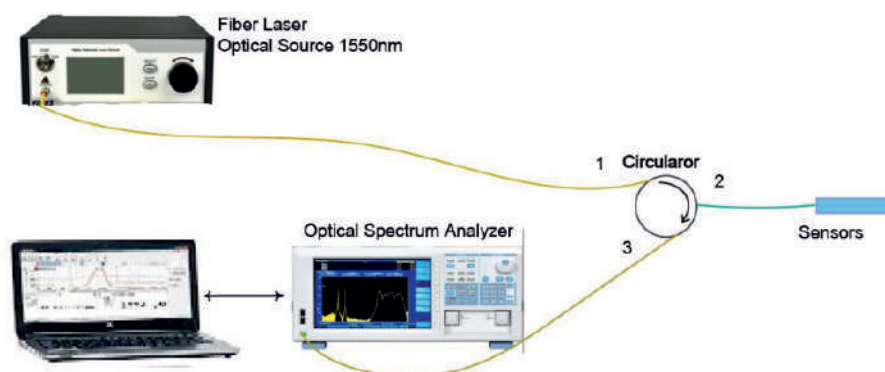
$$\begin{aligned} f(\lambda) &= R_1 + (1 - \alpha)^2(1 - R_1)^2 \left(\frac{n_{EA} - 1}{n_{EA} + 1} \right)^2 + \\ &+ 2\sqrt{R_1}(1 - \alpha)(1 - R_1) \left(\frac{n_{EA} - 1}{n_{EA} + 1} \right) \cos(2\varphi_{FP}) \end{aligned} \quad (8)$$



Сурет 1 – ФПИ ылғалдылыққа сезімталдық схемасы. Екі шағылыстру бетіндегі шағылыстру моделі.

Нәтижелерді талқылау. ФПИ-ге негізделген ылғалдылықты анықтаудың эксперименттік жұмысы орнатылып, талшықты Брэгг торлы температураға сезімталдығы анықталған. Талшықтық лазердің оптикалық көзінен шыққан спектрдің толқын ұзындығы 1500 nm . Талшықты сақиналық қуыста бір бағыттағы лазермен жұмыс істеу үшін қажетті жарықтың бағытын оқшаулағышы бар. Ылғалға сезімтал ФПИ талшықты-лазерге циркулятор мен трансмиссиялық оптикалық талшық (TOF, Thorlabs) арқылы қосылады. ФПИ қуысы селективті сүзгі ретінде қызмет етеді және датчиктің ішкі жүйесінде ылғалды анықтауға арналған сезімтал басы ретінде қолданыла-

ды. Шығу спектрі 1 қосқыштары арқылы оптикалық спектрлік анализатормен қосылады (OSA, YOKOGAWA, AQ6370, спектрлік ажыратымдылық $0,02\text{ nm}$). Онда неше түрлі спектр анықталады. Өткізгіштіктің жоғалуы әртүрлі қоршаған ортаның ылғалдылығында ФПИ-мен модуляцияланғандықтан ылғалданудың ылғалдылық сезімі талшықты лазердің шығу қуатына әсер етеді. Ылғалдылық сенсорын эксперименттік орнату, талшықты сақиналы лазерінің инкассавтикалық сезіміне негізделген, сондай-ақ, температураға сезімтал оптикалық талшықтың Брэгг торлы керішағылу спектрінің өзгерісін оптикалық спектрлік анализатормен анықтайды.



Сурет 2 – Эксперименттік қондырғы: Талшықты лазердің жарық көзі, оптикалық циркулятор, датчик, нәтижелерді талдауға арналған компьютер, оптикалық спектрметр.

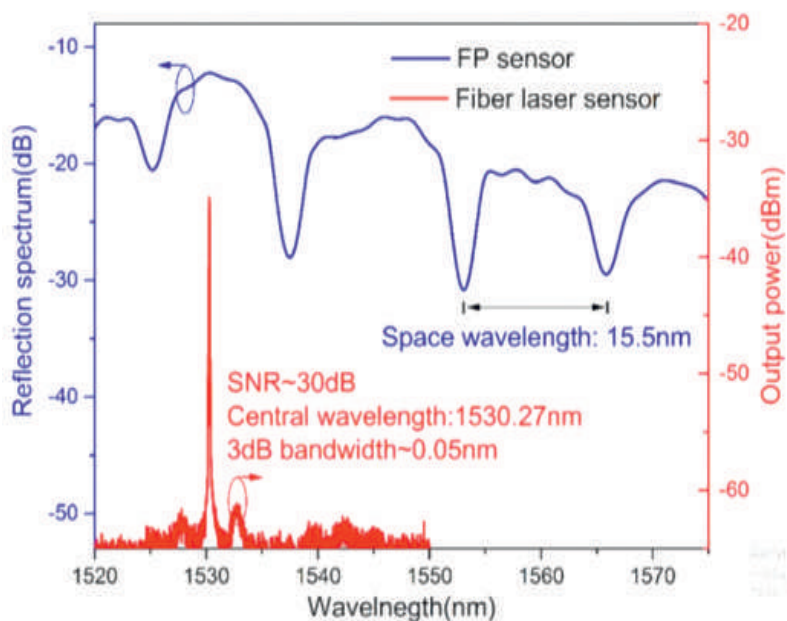
ФПИ өндірісінде, микроэлектромеханикалық жүйені жасауда кремний диафрагмасының жетілген әдістері пайдаланылды, ол [24] баяндалған. Кремний диафрагмасының $2,5\text{мм} \times 2,5\text{мм}$ болатын қалыңдығы шамамен $10\mu\text{м}$. Қарама қарсы екі шағылысатын беттер ортада вакуумдық қуыс орта бар. 2% агароздық гель кремний диафрагмасына тамшылату арқылы құйылады. Агроза гелі агроза ұнтағын ыдыстағы тазартылған суда еріту арқылы дайындалады. Тұндыру процесінде шамамен агроза қалыңдығы $1\mu\text{м}$ болады.

Ұсынылған ылғалдылық сенсордың оңтайландырылған сигналдан шуылға қатынасына қол жеткізу үшін, датчикті дайындауда Фабри-Перо интерферометрінің спектрінде шыңы арасындағы спектрлік қабаттасуды қамтамасыз ету қажет. Ол талшықты лазердің ішіндегі жоғалуын азайтады. Эксперименттерде жарықтың толқын ұзындығы шамамен 1500nm . ФПИ-ның толқын ұзындығымен ара-қатынасы ФП қуысының h ұзындығын өзгерту арқылы жасалады. Қоршаған орта ылғалдылығы 35% болғанда, ФПИ көрсететін спектрі 3-суреттегідей. ФПИ көрініс спектрінде максималды қарқындылығы бар шыңы шамамен 1530 nm , ал көрсетілім жоғалуы

$-12,2\text{ dB}$. ФПИ толқын ұзындығының аралығы $15,5\text{ nm}$ құрайды.

ФПИ әдісіне негізделген салыстырмалық ылғалдылық 20%-98% диапазонында құрайды. Қоршаған ортаның ылғалдылығы өзгерген кезде талшықты лазердің шығу спектрі 4(a)-суретте көрсетілгендей өлшеу нәтижелерін сипаттаған, талшықты лазердің шығу қуаты -36.78 dBm -ден -22.61 dBm дейін артады, себебі қоршаған ортаның ылғалдылығы 25% -дан 95% -ға дейін өзгереді. Салыстырмалы ылғалдылық 10% бойынша өзгергенде. Тиісінше сенсордың сигналдың шуылға қатынасы 30 dB -ден 45 dB -ға дейін артқан және өткізу қабілеті 3-dB , ол $0,05\text{ nm}$ кем болған. Ылғалдылық сезімталдығы $0.202\text{ dB} / \%$ деп өлшенеді. Тәжірибеде сенсордың жақсы сызықты екенін көрсетілген. Қоршаған ортаның салыстырмалы ылғалдылығы 20%-дан 90%-ға дейін өзгертіндіктен, Агрозаның сыну индексі $1,45$ -ден $1,48$ -ге дейін өлшенеді [23]. Тәжірибе нәтижесі сенсордың ылғалдылыққа сызықты жауап беретінін көрсетті.

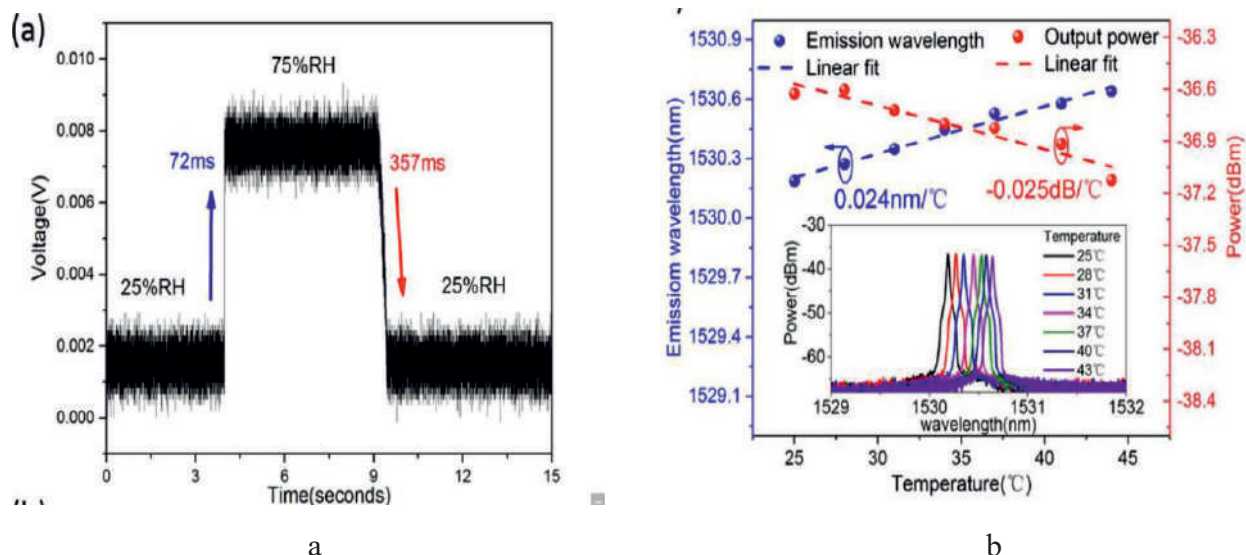
Датчиктің болжамды жауап беру уақыты 72ms тез болған. Қалпына келтіру уақыты шамамен 357 ms , бұл датчиктен алынған ылғалды ауа уақытына байланысты. Уақытты енгізу



Сурет 3 – Қоршаған ортаның салыстырмалы ылғалдылығы 35% болғанда, ФПИ-нің тиісті оптикалық талшықты лазер спектрлері.

мен алып тастау уақытын есепке ала отырып, біз реакцияның нақты уақыты мен қалпына келтіру уақыты өлшенген уақытқа қарағанда қысқа деп ойлаймыз.

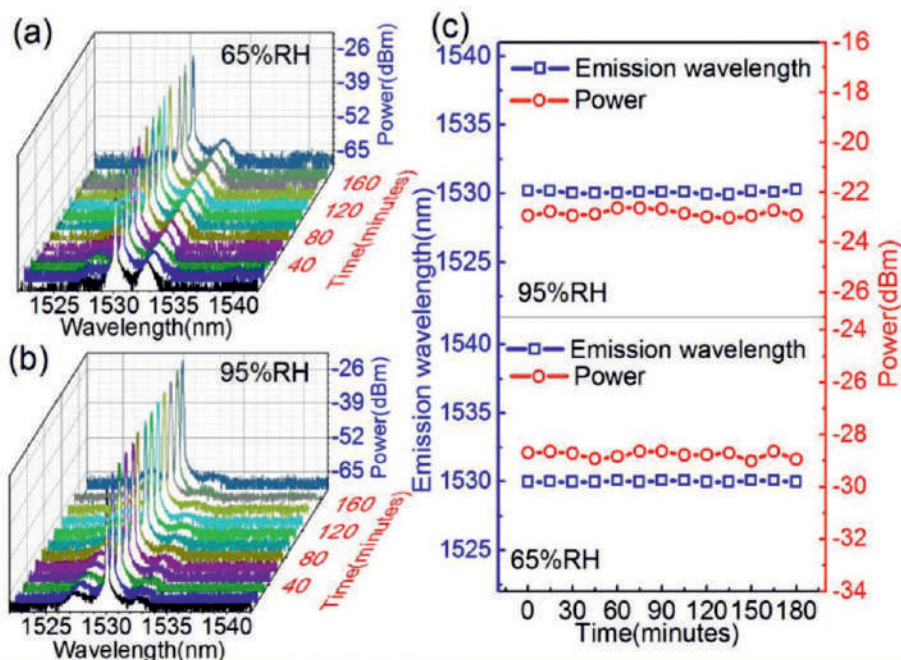
Датчик кросс-сезімталдығы, түрлі температурада талшықты лазердің спектрі болып табылады. Қоршаған ортаның температурасы $25\text{ }^\circ\text{C}$ -тан $44\text{ }^\circ\text{C}$ -қа дейін артады талшық лазерлі датчиктің сәулелену толқын ұзындығы 1530.19 nm -тен 1530.64 nm -ге дейін ауысады және шығыс қуаты $-36,64\text{ dBm}$ -ден $-37,12\text{ dBm}$ дейін төмендейді. Төмен температура кросс сезгіштік $-0,025\text{ dB}/^\circ\text{C}$ және $0,024\text{ nm}/^\circ\text{C}$ ретінде алынады. Төмен температура кросс сезімталдығы ФП қуысының төменгі жылу кеңеюінен пайда болды.



Сурет 4 – (а) датчиктің уақыт бойынша сезімталдық жауабы. (б) бөлменің салыстырмалы ылғалдылығы 25% кезінде өлшенген температура датчиктің температура бойынша сезгіштігі, бұл графикте қоршаған ортаның температурасы 25 °С пен 44 °С аралығында өзгерген.

Лазерлік датчиктер үшін шығыс параметрінің тұрақтылығы олардың қосымшаларын шектеуде маңызды болып табылады [14]. Датчиктің тұрақтылығын талдау үшін толқын ұзындығы мен шығу қуаты қоршаған ортаны салыстырмалы ылғалдылығы 65% және 95% деңгейінде белгілеу арқылы 180 минут ішінде өлшейді. Оптикалық талшықты лазердің шығу спектрі тиісінше 5(а) және 5(б)-суретте көрсетілген. Толқын ұзындығы мен қуат тұрақтылығы 5(с)-суретте талданады. Толқын

ұзындығы мен қуат ауытқуының стандартты тиісінше 65% салыстырмалы ылғалдылық кезінде 0.101 нм және 0.129 дБм болған, ал стандартты ауытқулар 95% салыстырмалы ылғалдылық кезінде тиісінше 0.046 нм және 0.137 дБм құрайды. Нәтижелер датчиктің жақсы тұрақтылыққа ие екендігін көрсетеді. Датчикте процесс жақсы қайталанатындығын көрсетеді, ылғалдылыққа сезімталдығы мен нақты ауытқуы шамасы $\pm 2\%$ -дан аз.



Сурет 5 – Оптикалық талшықты лазерлік датчиктің ылғалдылыққа байланысты шығыс спектрі қоршаған ортаның салыстырмалы ылғалдылығын белгілеу арқылы (а) 65% салыстырмалы ылғалдылық және (б) 95% салыстырмалы ылғалдылық тиісінше 180 минут ішінде өлшенеді және (с) толқын ұзындығы мен қуат тұрақтылығы.

Жоғарыда көрсетілген нәтижелерге сайтталшықты лазердің сылыстрмалы ылғалдыққа жауаптарын алғаннан кейін температура деформациясын сезімтал брээ торларынан кері шағылған толқын ұзындықтарын анықтау арқылы температураның өзгерісін қадағалай аламыз.

Қорытынды. Фабри-перо интерферометрі әдісіне негізделген ылғалдылыққа сезімтал агрозалық шағылысуың теориялық талдаулары жасалып тәжірибелік нәтижелер алынды, сондай-ақ ФПИ негізделген ылғалдылыққа сезімталдығының математикалық теңдеуі құрылды.

ФПИ негізделген оптикалық талшықтың

ылғалдылыққа байланысты агроза пленкасының жарықты шағылыстыруына эксперименталды түрде талдаулар жасалды. Лазерлік датчиктің сезімтал механизмін және оның сезімталдық көрсеткіштері сипатталды. Талшықты-лазердің салыстырмалы шығу қуаты 25%-дан 95% -ке дейінгі салыстырмалы ылғалдылықтың кең ауқымында қоршаған орта ылғалдылығына жақсы сызықтық жауап береді. Сондай-ақ сенсор тұрақтылығы талқыланды.

Оптикалық талшық негізіндегі ылғалдылық пен температураны анықтайтын датчик жоғары сезімталдыққа, тез жауап беруге, көлемі шағын және анти-электромагниттік кедергі сияқты артықшылықтарға ие.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 *Kolpakov, S.A.; Gordon, N.T.; Mou, C.; Zhou, K.* Toward a new generation of photonic humidity sensors. *Sensors* 2014, 14, 3986–4013.
- 2 *Clemens Eder, Virgilio Valente, Nick Donaldson, Andreas Demosthenous,* “A CMOS Smart Temperature and Humidity Sensor with Combined Readout” 14, 17192-17211; doi:10.3390/s140917192 *Sensors* 2014.
- 3 *Carlo Macaroni, Michele. A, Caponero, Rosaria D, Amato, Daniela Lo Presti, Emiliano Schena.* “Fiber Bragg Grating Measuring System for Simultaneous Monitoring of Temperature and Humidity in Mechanical Ventilation” *Sensors* doi: 10.3390/s170407492 April 2017.
- 4 *Fan, L.; Bao, Y.* Review of fiber optic sensors for corrosion monitoring in reinforced concrete. *Cem. Concr. Compos.* 2021, 120, 10402
- 5 *W. C. Wong, C. C. Chan, L. H. Chen, T. Li, K. X. Lee, and K. C. Leong,* “Polyvinyl alcohol coated photonic crystal optical fiber sensor for humidity measurement,” *Sens. Actuator B*, vol. 174, pp. 563-569, July 2012.
- 6 *C. Huang, W. Xie, M. Yang, J. Dai, and B. Zhang,* “Optical Fiber Fabry–Perot Humidity Sensor Based on Porous Al₂O₃ Film,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 27, no. 20, pp. 2127-2130, Oct. 2015.
- 7 *J. Mathew, Y. Semenova, and G. Farrell,* “Effect of coating thickness on the sensitivity of a humidity sensor based on an Agarose coated photonic crystal fiber interferometer,” *Opt. Express*, vol. 21, no. 5, pp. 6313-6320, Mar. 2013.
- 8 *C. Zhao, Q. Yuan, L. Fang, X. Gan, and J. Zhao,* “High-performance humidity sensor based on a polyvinyl alcohol-coated photonic crystal cavity,” *Opt. Lett.*, vol. 41, no. 23, pp. 5515-5518, Dec. 2016.
- 9 *Lagakos, N., Bucaro, J. and Jarzynski, J.* Temperature-induced optical phase shifts in fibers. *Appl. Opt.*, 1981, 20, 2305–2308.
- 10 *W. Zhang, D. J. Webb, and G.-D. Peng,* “Investigation into Time Response of Polymer Fiber Bragg Grating Based Humidity Sensors,” *J. Lighth. Technol.*, vol. 30, no. 8, pp. 1090–1096, Apr. 2012.
- 11 *X. Chen, W. Zhang, C. Liu, Y. Hong, and D. J. Webb,* “Enhancing the humidity response time of polymer optical fiber Bragg grating by using laser micromachining,” *Opt. Express*, vol. 23, no. 20, pp. 25942-25949, Oct. 2015.
- 12 *G. Woyessa, K. Nielsen, A. Stefani, C. Markos, and O. Bang,* “Temperature insensitive hysteresis free highly sensitive polymer optical fiber Bragg grating humidity sensor,” *Opt. Express*, vol. 24, no. 2, pp. 1206-1213, Jan. 2016.
- 13 *C. Massaroni, M. A. Caponero, R. D’Amato, D. L. Presti, and E. Schena,* “Fiber Bragg Grating Measuring System for Simultaneous Monitoring of Temperature and Humidity in Mechanical Ventilation,” *Sensors*, vol. 17, no. 4, pp. 749, Apr. 2017.
- 14 *C. Wang, B. Zhou, H. Jiang, and S. He,* “Agarose Filled Fabry–Perot Cavity for Temperature Self-Calibration Humidity Sensing,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 28, no. 19, pp. 2027-2030, Oct. 2016.
- 15 *S. Pevec, and D. Donlagic,* “Miniature all-silica fiber-optic sensor for simultaneous measurement of relative humidity and temperature,” *Opt. Lett.*, vol. 40, no. 23, pp. 5646-5649, Dec. 2015.
- 16 *B. Du, D. Yang, X. She, Y. Yuan, D. Mao, Y. Jiang, and F. Lu,* “MoS₂based all-fiber humidity sensor for monitoring human breath with fast response and recovery,” *Sens. Actuators B*, vol. 251, pp. 180–184, May 2017.
- 17 *Bariain, C.; Matias, I.R.; Arregui, F.J.; Lopez-Amo, M.* “Optical fiber humidity sensor based on a

tapered fiber coated with agarose gel". *Sens. Actuators B Chem.* 2000, 69, 127–131, doi:10.1016/S0925-4005(00)00524-4.

18 Z. Liu, Z. Tan, B. Yin, Y. Bai, and S. Jian, "Refractive index sensing characterization of a singlemode-claddingless-singlemode fiber structure based fiber ring cavity laser," *Opt. Express*, vol. 22, no. 5, pp. 5037–5042, Mar. 2014.

19 X. Bai, D. Fan, S. Wang, S. Pu, and X. Zeng, "Strain sensor based on fiber ring cavity laser with photonic crystal fiber in-line Mach–Zehnder interferometer," *IEEE Photonics J.*, vol. 6, no. 4, pp. 6801608, Aug. 2014.

20 J. Shi, Y. Wang, D. Xu, H. Zhang, G. Su, L. Duan, C. Yan, D. Yan, S. Fu, and J. Yao, "Temperature Sensor Based on Fiber Ring Laser With Sagnac Loop," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 28, no. 7, pp. 794–797, Apr. 2016.

21 W. Zhang, D. J. Webb, and G.-D. Peng, "Investigation into Time Response of Polymer Fiber Bragg Grating Based Humidity Sensors," *J. Lightw. Technol.*, vol. 30, no. 8, pp. 1090–1096, Apr. 2012.

22 T. Liu, J. Yin, J. Jiang, K. Liu, S.g Wang, and S. Zou, "Differential pressure-based fiber-optic temperature sensor using Fabry–Perot interferometry," *Opt. Lett.*, vol. 40, no. 6, pp. 1049–1052, Mar. 2015.

23 R. Gao, Y. Jiang, and W. Ding, "Agarose gel filled temperature insensitive photonic crystal fibers humidity sensor based on the tunable coupling ratio," *Sens. Actuators B*, vol. 195, pp. 313–319, Jan 2014.

24 G. Berruti, M. Consales, A. Borriello, M. Giordano, S. Buontempo, A. Makovec, G. Breglio, P. Petagna, and A. Cusano, "A Comparative Study of Radiation-Tolerant Fiber Optic Sensors for Relative Humidity Monitoring in High-Radiation Environments at CERN," *IEEE Photonics J.*, vol. 6, no. 6, pp. 0601015, Dec. 2014.

25 "Analysis of the sensor of temperature and humidity measurement based on the optical fiber" *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences ISSN 2224-5278* <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.19> Volume 5, Number 431 (2018), 133 – 140.

Хабай А., Тулешов Е.А., Шадыманова А.А., Садыков С.К., Байтурганова В.К.

АНАЛИЗ ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Аннотация. В настоящее время необходимо дальнейшее повышение чувствительности, селективности, надежности и времени отклика датчиков. Датчик влажности на основе оптоволокна был изучен с интересом из-за его преимуществ, таких как высокая чувствительность, быстрый отклик, компактный размер и анти-электромагнитное сопротивление.

Предложена и экспериментально продемонстрирована внутренняя чувствительность оптического волокна на основе интерферометров Фабри-Перо (ИФП) к влаге. Описан механизм лазерного зондирования и показатели его чувствительности. На основе этих анализов представлены принципы работы оптоволоконного датчика для измерения влажности.

Ключевые слова: датчик температуры, датчик влажности, интерферометр Фабри-Перо, волоконная брэгговская решетка, относительная влажность, однородное волокно.

Khabay A., Tuleshov Y.A., Shadymanova A.A., Sadykov S.K., Bayturganova V.K.

HUMIDITY MEASUREMENT IS BASED ON THE OPTICAL FIBER SENSOR

Abstract. Currently, it is necessary to further improve the sensitivity, selectivity, reliability and response time of sensors. An optical fiber based humidity sensor has been investigated with interest because of its advantages such as high sensitivity, fast response, compact size and anti-electromagnetic resistance.

Proposed the infrasonic laser sensitivity to humidity-dependent based on optical fibers of the Fabry-Perot interferometers experimentally demonstrated. Based on these analyses, the principle of operation of an optical fiber sensor that measures humidity is proposed. Providing the principle of the working optical fiber sensor, which measures the humidity based on these analyzes.

Keywords: temperature sensor, humidity sensor, Fabry–Perot Interferometer, relative humidity, single mode fiber.

Сведения об авторах

Хабай Анар, PhD, профессор-ассистент, a.khabay@satbayev.university;

Тулешов Еркебулан Амандықұлы, т.ғ.к., қауымдасқан профессоры, y.tuleshov@satbayev.university;

Шадыманова Ажар Амандыққызы, PhD, ақпарат және талдау бөлімінің expertі, a.shadymanova@inti.kz;

Садыков Сакен Қуанышұлы, телекоммуникация магистрі, sakensadykov@gmail.com,

Байтурганова Венера Канапияевна, лектор, v.baiturganova@sat

КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТИ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

А.А. Генбач¹, Н.О Джаманкулова¹

¹Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы қ., Қазақстан

Түйіндеме. Мақалада кеуекті салқындату жүйесі зерттеліп, салқындатқыш сұйықтық капиллярлық және гравитациялық күштердің біріккен әсерімен берілетіні анықталды. Кеуекті құрылымдарда сұйықтықтың булануы арқылы жылу алмасу процестері жүретін кессонды модельдейтін капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесі ұсынылған. Қабырға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігін және қабырғаның аса қызып кетуіне жылу ағынының әсерін (ΔТ,К) эксперименттік зерттеу нәтижелері берілген. Ұсынылған капиллярлы-кеуекті кессонды салқындату жүйесі кеуекті жүйеде жылу алмасуды күшейтеді, жылуэнергетикалық қондырғыларға қатысты агрегаттардың жұмысының сенімділігін арттырады, жоғары жеделдетілген қондырғылардың, атап айтқанда, металлургиялық пештердің элементтерін салқындату үшін жарылыс қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Түйінді сөздер: капиллярлы-кеуекті құрылым; жылу алмасу процесі; буланулық салқындату жүйесі.

Кіріспе. Кеуекті жылу алмасуды күшейтетін элементтерді қолдану техникада кеңінен қолданылады. Қазіргі заманғы жылу алмасу элементтерінің конструкцияларын әзірлеу кеуекті материалдарды және олардың технологиялық мүмкіндіктерін пайдалана отырып мүмкін болады. Кеуекті материалдардың құрылымдық, жылуфизикалық, гидравликалық, химиялық, оптикалық және басқа да қасиеттерінің кең ауқымы, олардан құрылымдық элементтерді дайындаудың қарапайымдылығы, жылу алмасудың жоғары қарқындылығы – мұның бәрі әртүрлі экстремалды жағдайларда кеуекті жылу алмасу элементтерін пайдалануға мүмкіндік береді [1].

Интенсивті жылу берумен бір мезгілде кеуекті элементтерді сүзу, фазаларды бөлу, дроссельдеу және т.б. процестерін жүзеге асыру үшін пайдалануға болады.

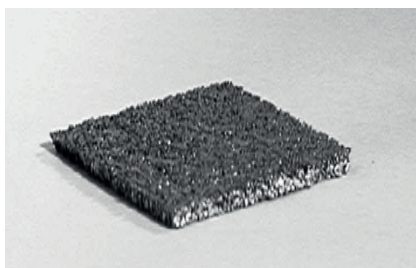
Кеуекті жылуалмастырғыш элементтер дегеніміз өткізгіш матрицалар арасында жылу алмасуды жүзеге асыратын және кеуекті жабындар қолданылатын құрылғылар, бұл

тегіс беттермен салыстырғанда жылу беру коэффициентін 5-8 есе арттыруға мүмкіндік береді [1].

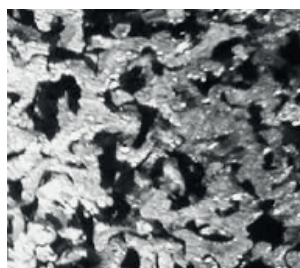
Жоғары тиімді, сенімді капиллярлы-кеуекті жүйелерді құру кезінде капиллярлы-кеуекті құрылымды таңдау үлкен маңызға ие.

Ұнтақ материалдар негізінде жасалған немесе монодисперсті металл талшықтарынан агломерацияланған капиллярлы-кеуекті жүйелер бар. 1-суретте түйіршікті кеуекті агломерацияланған материал және 2-суретте оның құрылымы көрсетілген. Олар жоғары жылу өткізгіштікке, сұйықтық өткізгіштікке ие және гравитациялық күштерге қарсы сұйықтықты айтарлықтай биіктікке айдауға қабілетті.

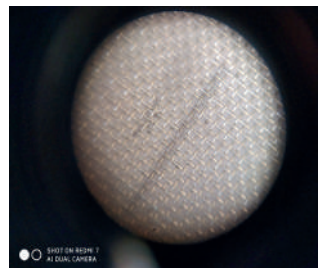
Дегенмен, оларды жасау және тазарту технологиясы күрделі. Ең кең таралғаны, қолжетімді және арзаны – металл торлы құрылымдар. Қарапайым тоқыма торлы материалдың (тот баспайтын болаттан жасалған) сыртқы түрі 3-суретте көрсетілген.



1-сурет



2-сурет



3-сурет

1. Қондырғылардың жоғары температуралы элементтерін салқындату әдісі және оны жүзеге асыруға арналған құрылғы

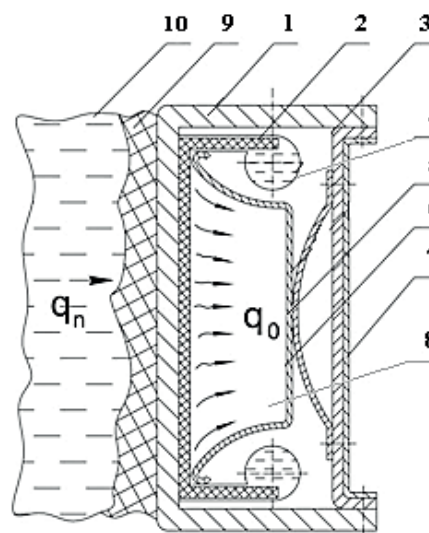
С.М. Андоньевке тиесілі [2,3]. Ол қазіргі кезде бүкіл әлемде қолданылатын металлургиялық пештерді бумен салқындату жүйесін ойлап тапқан болатын. Буланулық салқындату жүйелері тек домна пештері мен ауа жылытқыштарында ғана емес, сонымен қатар мартен, қыздыру, электр болат балқыту пештерінде, қара және түсті металлургиядағы конвекторларда, химия өнеркәсібінің бірқатар қондырғыларында қолданыла бастады. Буланулық салқындату жүйелері салқындатуды қажет ететін металл бөлшектері бар жоғары температуралы қондырғылардың барлығында дерлік кеңінен қолданылады [4-9].

Буланулық салқындату жүйесінің жұмыс принципі металлургиядағы балқыту қондырғыларының жоғары температуралық аймағынан жылуды алып кету үшін химиялық тазартылған судың булану жылуын пайдалану болып табылады. Сонымен бірге буланулық салқындату жүйесіне көшу қазандық стандарттарына сәйкес химиялық тазартылған суды пайдалануды талап етеді, бұл салқындату жүйесінің құнын табиғи түрде арттырады, сонымен қатар техникалық қызмет көрсететін персоналдың жоғары техникалық дайындығын талап етеді.

[4] әдебиетте сипатталған құрылғы тиімді салқындату жүйесін жүзеге асырады, ол капиллярлы-кеуекті жүйе болып табылады, капиллярлық күштердің әсерінен өзін-өзі реттеу мүмкіндігі бар және сұйықтықтың өте аз мөлшерін қамтиды, бұл салқындатылатын эле-

мент қатты қызып кеткен кезде жарылыс қаупін болдырмайды, оның жұмысының, демек, бүкіл қондырғының сенімділігін арттырады.

Буланулық салқындату идеясын жүзеге асыратын құрылғы 4-суретте көрсетілген. Құрылғы 1-кессон түрінде жасалған, оның ішкі бетінде жылуды кетіретін жақтан 2-капиллярлы-кеуекті құрылымы бар элемент орнатылған, ол 3-қысқыш арқылы 4-сыртқы қоректену блоктарына қосылған, және 6-серіппелі элементі бар 5-кірістіру арқылы басылған, 7-жылу оқшаулағышы және 8-бу арнасы бар. Қондырғыны пайдалану кезінде 1-кессонның сыртқы қабырғасы 10-балқымамен орағытылатын 9-кертпелі пленкамен жанасады.



4-сурет – Балқыту пештерінің қабырғаларына арналған капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесінің үлгісі: 1 - кессон қабырғасы; 2 - капиллярлы-кеуекті құрылым; 3 - қысқыш; 4 - қоректену түйіні (артерия); 5 - кірістіру; 6 - серіппелі элемент; 7 - жылу оқшаулау; 8 - бу арнасы; 9 - гарниссаж; 10 – балқыма; q_n, q_o - балқымамен берілетін және бумен алып кетілетін меншікті жылу жүктемелері.

Мысалы, егер q_{II} - берілген меншікті жылу ағыны жүйеден шығарылған q_0 - жылу ағынынан жоғары болып шықса, онда бұл капиллярлы-кеуекті құрылымдағы сұйықтықтың тереңдеуіне, сұйықтық менискінің радиусының кішірейуіне және капиллярлық қысымның жоғарылауы әкеледі. Бұл жағдайда динамикалық тепе-теңдік орнағанға дейін қоректік сұйықтықтың шығыны артады. Ал, жылулық жүктеме q_{II} азайған кезде капиллярлардағы сұйықтықтың қалыңдығы және сәйкесінше сұйықтықтың менискінің радиусы артады. Капиллярлық күштер тепе-теңдік күйге дейін сұйықтықтың берілуін азайта отырып, кеми бастайды.

2. Капиллярлы-кеуекті жүйелердегі жылу алмасуды зерттеуге арналған эксперименттік қондырғы

2.1 Эксперименттік қондырғының сипаттамасы

Кеуекті құрылымдардағы сұйықтықтың булануы арқылы жылу алмасу процестері жүретін кессонды модельдейтін капиллярлы-кеуекті құрылыммен қыздырылған бетті салқындатуды жүзеге асыратын тәжірибелік қондырғының функционалдық схемасы 5-суретте көрсетілген, ал салқындатқыш сұйықтық капиллярлық және гравитациялық күштердің біріктірілген әсері арқасында беріледі. Стендтің сыртқы түрі 6-суретте көрсетілген.

Кеуекті құрылым ретінде ұяшықтарының ені $(0,15 - 0,25) \times 10^{-3}$ м болатын қарапайым тоқымалы тот баспайтын торлар қолданылды (3-сурет). Сымның диаметрі $0,15 \times 10^{-3}$ м. Тәжірибе торлардың әртүрлі қабаттарынан және әртүрлі кеуек өлшемдерінен тұратын капиллярлы-кеуекті құрылымдармен жүргізілді (1-кесте). Тәжірибелер кезінде торлар алдын ала тазартылады және майсыздандырылады.

Тот баспайтын торлар (11) қыздырылған тегіс бетке бекітіледі, олар атмосфералық қысымда ашық булану жүйесінде кессон рөлін атқарады. Капиллярлы-кеуекті құрылым (ККК) салқындатылған қабырғаға тығыз ба-

сылады. Барометрлік қысым дәлдік класы 0,1 анероидты барометрмен (1) анықталады.

Электр қуатын реттеу ЛАТР (4) көмегімен жүзеге асырылады, токты (2) және кернеуді (3) басқару кернеуді, токты және қуатты көрсету үшін үш индикаторы бар ИМС-Ф1 сандық мультиметрмен (8) жүзеге асырылады. Қабырға электр жылытқышымен (5) жылытылды.

Қыздырғыш керамикалық окшаулағышпен қоршалған нихромды сымнан тұрады. Электр энергиясы 220 В желіден жұмыс істейтін металл бетінің төменгі жағында орналасқан қыздырғышқа (5) жеткізілді.

Қыздырғыштың қуаты $Q = (0,01-2) \times 10^3$ Вт аралығында өзгеруі мүмкін. Капиллярлы-кеуекті құрылымның зерттелген жылу алмасу беті (белсенді ауданы) $F = 100 \text{ см}^2$ болды.

Жылу жүктемесі (жылу ағынының тығыздығы) $(0,1-20) \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$ диапазонында өзгерді. Қуатты өлшеудегі ең үлкен мүмкін болатын қателік $\pm 1\%$ құрайды. Кернеуді өлшеу қателігі $(U) = \pm 0,5\%$, токты өлшеу қателігі $(I) = \pm 0,5\%$ болады.

OWEN компаниясы шығарған, 47-63 Гц жиіліктегі 90 - 264 В айнымалы кернеу диапазонында жұмыс істейтін ИМС-Ф1 мультиметрінің техникалық сипаттамалары OWEN каталогында берілген [5]. Кернеуді өзгерту 40 - 400 В, токты өзгерту 0,02 - 5 А диапазонында болуы мүмкін.

Өлшеулер сулы ашық булану жүйесінде $P=0,1 \text{ МПа}$ қысымда жүргізіледі. Дистилденген су термостаттан (17) кеуекті тор құрылымына (11) түседі және салқындатқыш су таратқыштың (9) мыс түтігіне беріледі. Салқындатқыш айналым суының шығыны көлемдік әдіспен тарировкаланған дәлдік класы 2,5 болатын РМ - 0,04 ЖУЗ ротаметрмен өлшенеді. Салқындату сұйықтығының шығыны ең аз мүмкін болатын $m_c = m_0$ шамасынан өзгереді, бұл кезде ағызу шығыны $m_{cn} = 0$ болады немесе ең аз мәнді қабылдайды. Артық сұйықтықты $m_c = 1,1 \times m_0$ шартымен, «тамшылау» режимінде, буланулық салқындату жағдайына сәйкес ұстауға болады [6].

Салқындату сұйықтығының температура-

сы $0,1^{\circ}\text{C}$ қателігі бар S5300 TC сериясының (16) биметалдық батыру термометрінің көмегімен өлшенеді. Айналымдағы судың температурасы UTU-2 термостатында алдын ала беріліп, орнатылған, содан кейін термометрмен (16) басқарылады. Ағып жатқан артық сұйықтық салқындату конденсаторының резервуарына (13) жиналады.

Қыздырғыштың, салқындатқыш ортаның температуралары температура датчиктерімен (7,10,12,16) өлшенеді, олар сигналдарды OWEN компаниясы шығарған TRM -200 жоғары дәлдіктегі цифрлық температура өлшегіштеріне (14,18) жібереді. Қабырға температурасын анықтау үшін кессон үлгісінің (6) қыздырылған бетінің артқы жағында термопара электродтары дәнекерленген. Қабырғаның температурасы температуралық датчиктер - термопаралар ТХК (L) ($-200\dots+800^{\circ}\text{C}$) арқылы өлшенеді, олар сигналдарды TRM -200 жоғары дәлдіктегі цифрлық температура өлшегіштеріне (18) жібереді. Температураны өлшеу қателігі $\pm 0,5\%$.

2.2 Жұмысты орындау әдісі

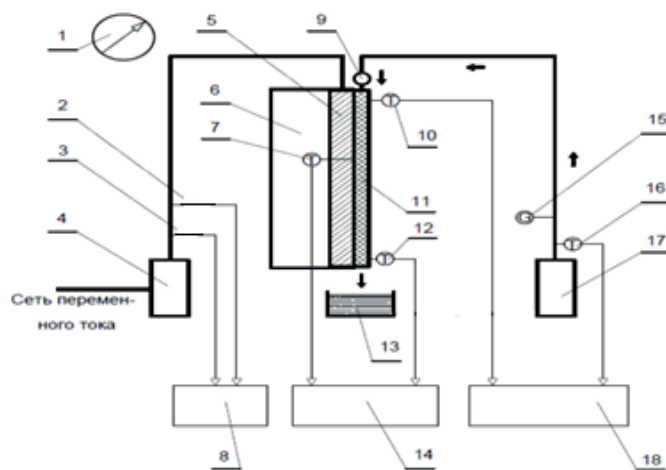
Тәжірибелік қондырғының функционалдық сұлбасында (5-сурет) кессонның (6) көмегімен қыздырылған бетті салқындату контурының негізгі элементтері көрсетілген, оның моделі алдын ала спирт ерітіндісімен майсыздандырылған капиллярлы-кеуекті құрылым (11) болып табылады. Анероидтық барометрмен барометрлік қысым өлшенеді.

Электр энергиясы қыздырғышқа (5) ЛАТР (4) көмегімен жеткізілді, ток (2) және кернеу (3) орнатылған қуатты, кернеуді, токты көрсетуге арналған 3 индикаторы бар ИМС- Ф1 (8) цифрлық мультиметрімен басқарылды.

Термостат реттегішінде (17) салқындату сұйықтығының температурасын 20°C -қа қойып, оны қосқаннан кейін су салқындату тізбегіне түседі және тәжірибе кезінде оның температурасы датчикпен (16) бақыланады.

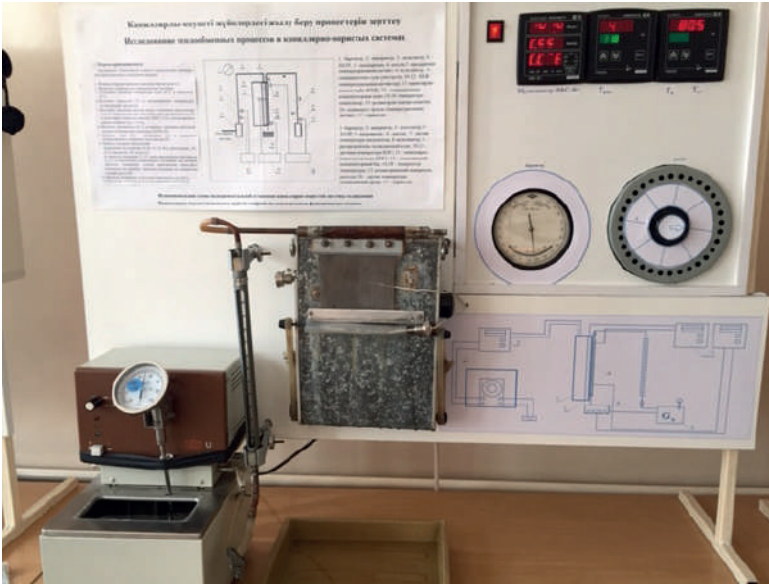
Салқындату суының шығыны ротаметрмен (15) өлшенеді. Берілген шығын мәні орнатылғаннан кейін су (9) - салқындатқыш суды таратқышқа түседі. Капиллярлы-кеуекті құрылымға біркелкі су беру үшін салқындатқыш суды таратқышта тесіктері бар. Салқындатқыш судың берілген шығыны тамшылау режимін $m_{\text{ж}}=1,1 \times m_{\text{п}}$ [6] қамтамасыз етуі керек.

Термиялық жүктемені орнатқаннан кейін салқындатылған қабырғаның температурасы ($T_{\text{ст}}$) (14) - өлшегішпен бақыланады. Берілген жылу ағыны $Q=U \times I$ формуласымен анықталады. Жылу ағынының тығыздығының берілген q мәні үшін $\Delta T_w = (T_{\text{ст}} - T_{\text{н}})$ мәні анықталады, мұндағы $T_{\text{н}}$ - берілген қысымдағы қанығу температурасы [10] кестелерінен анықталады. Өлшеу нәтижелері бойынша $q=f(\Delta T_w)$ тәуелділігі алынады және салқындатылған қабырға металының температуралары термиялық жүктемеге, су шығынына және капиллярлы-кеуекті құрылым түріне тәуелділігі бойынша анықталады.



5-сурет – Капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесінің тәжірибелік қондырғысының функционалды сұлбасы:

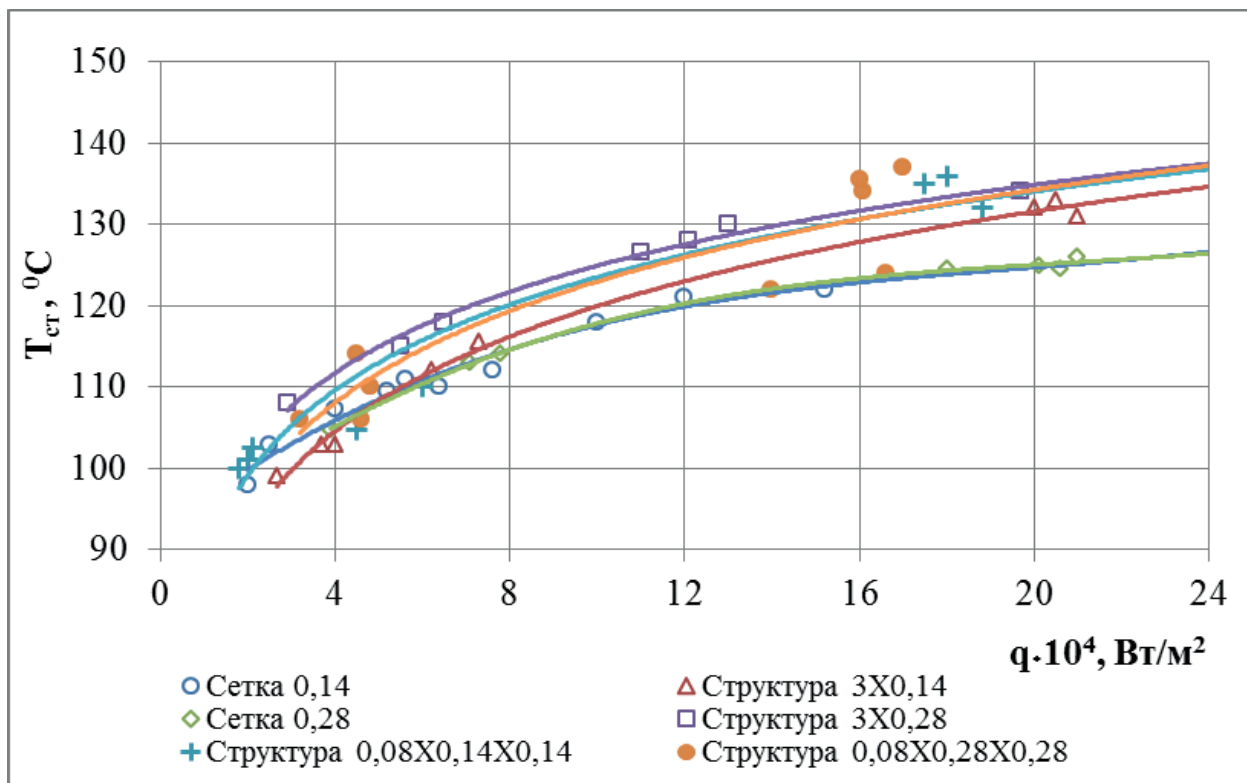
1 - барометр; 2 - амперметр индикаторы; 3 - вольтметр индикаторы; 4 - ЛАТР; 5 - қыздырғыш; 6 - кессонмен салқындатуды модельдейтін элемент; 7 - қыздырғыштың температуралық сенсоры; 8 - мультиметр; 9 - салқындатқыш суды таратқыш; 10 - ККҚ температура датчигі; 11 - капиллярлы-кеуекті құрылым (ККҚ); 12 - температура датчигі; 13 - салқындату конденсаторының резервуары; 14 - температура өлшегіш; 15 - ротаметрлік шығын өлшегіш; 16 - салқындатқыш орта температурасының датчигі; 17 - термостат; 18 - температура өлшегіш



6-сурет - Капиллярлы-кеуекті жүйелердегі жылу алмасу процестерін зерттеуге арналған стендтің сыртқы көрінісі

ға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігін зерттеу нәтижелері 7-суретте көрсетілген, онда кеуекті құрылымның түріне және артық сұйықтықтың салқындауына байланысты жылу жүктемесінің қабырға температурасына әсері көрсетілген. Торлар мен қабырға тот баспайтын болатан жасалған.

Эксперименттік мәліметтерді талдау $q = (1 - 8) \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$ мәні үшін қайнау режимі өтпелі екенін көрсетті. Бұл режим үшін салқындатқыш сұйықтық шығынына тж және кеуекті құрылымның түріне



7-сурет – $p = 0,1 \text{ МПа}$ үшін қабырға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігі

3. Зерттеу нәтижелері

Эксперименттік стендте $P=0,1 \text{ МПа}$ қысымда ашық булану жүйесіндегі жылу алмасу процестерін зерттеу жүргізілді. Қабыр-

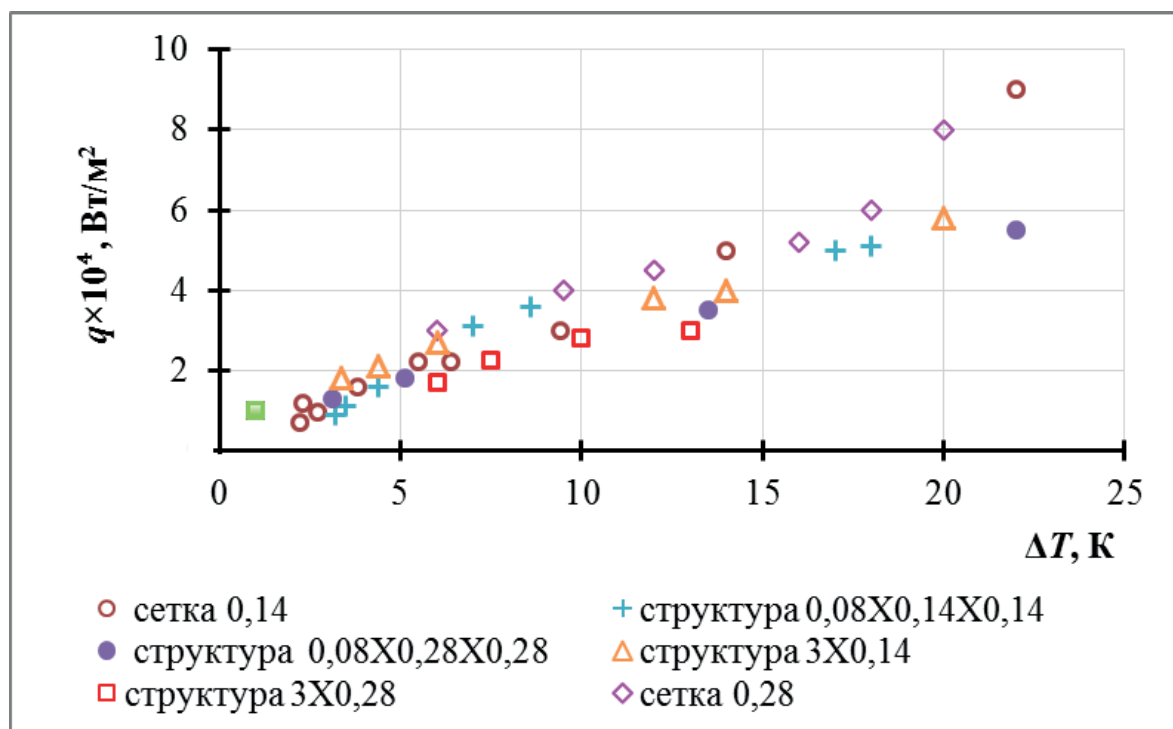
айтарлықтай әсері анықталды. Бұл, әсіресе, үлкен ұяшықтары бар торлар үшін айқын көрінеді. Сипаттамалары бойынша олар жұқа қабықшалы буландырғыштарға жақындайды.

2.1-бөлімде металлургиялық пештің кессонын салқындатуды модельдейтін капиллярлы-кеуекті құрылымдарды зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғы сипатталған. Зерттеу нәтижелері 7-суретте көрсетілген. Графиктен 1x0,14 және 1x0,28 өлшемді торлар үшін қабырға температурасының өзгеруі 100-120°C шегінде болғанын, ал басқа құрылымдар үшін бұл шама 140 ° C мәнге жеткенін көруге болады. Торлардың өлшемдері және олардың белгіленуі 1-кестеде келтірілген.

8-суретте P=0,1 МПа кезіндегі бу температурасына қатысты ΔT, К қабырғаның қызып кетуіне жылу ағынының әсері көрсетілген. Қызып кету температурасының 20°K диапазонында жылу ағыны 1x0,14 және 1x0,28 өлшемді торлар үшін $q = 9 \times 10^4$ Вт/м² болды, 3x0,14 өлшемді құрылым үшін $q = 6 \times 10^4$ Вт/м² болды, және 3x0,28 құрылым үшін ең төменгі $q = 3 \times 10^4$ Вт/м² мәнді көрсетті.

1-кесте – Торлардың өлшемдері мен белгілеулері

Тордың өлшемі (10 ⁻³ м)	Әртүрлі өлшемдегі торлардың 1,2,3 қабаттарынан тұратын кеуекті құрылымы
0.14	1×0.14
0.28	1×0.28
0.14	3×0.14
0.28	3×0.28
0.08; 0.14; 0.14	0.08×0.14×0.14 (Әр түрлі өлшемдегі тордың 3 қабаты)
0.08; 0.28; 0.28	0.08×0.28×0.28 (Әр түрлі өлшемдегі тордың 3 қабаты)



8-сурет – P=0,1 МПа кезіндегі бу температурасына қатысты қабырғаның қызып кетуіне жылу ағынының әсері

Қорытынды. Капиллярлы-кеуекті құрылымдарды ($P=0,1$ МПа кезінде ашық булану жүйесі) зерттеу үшін тәжірибелік қондырғы құрылды. Қыздырылған бетті салқындату кессонды модельдейтін капиллярлы-кеуекті құрылымдарды қолдану арқылы жүзеге асырылды, онда жылу алмасу процестері кеуекті құрылымдардағы сұйықтықтың булануы арқылы жүреді, ал салқындатқыш сұйықтық капиллярлық және гравитациялық күштердің бірлескен әрекеті кезінде беріледі.

Қабырға температурасының жылу ағынының тығыздығына тәуелділігін эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілді. Торлардың мөлшеріне байланысты қабырға температурасының өзгеруі байқалды. 20°K

дейінгі қызып кету температура диапазонында $P=0,1$ МПа кезіндегі бу температурасына қатысты $\Delta T, \text{K}$ қабырғаның қызып кетуіне жылу ағынының әсері көрсетілген.

Тәжірибелік қондырғыны «Жылу энергетикасы» мамандығы бойынша студенттерді дайындау кезінде капиллярлы-кеуекті жүйелердегі жылу алмасу процестерін зерттеу үшін, «Кеуекті құрылымдарды қолдану арқылы жылу алмастыру жабдығының тиімділігі мен сенімділігін арттыру», «Инженерлік эксперименттің теориясы мен техникасы», «Ғылыми-зерттеулер және инженерлік эксперимент» пәндерін оқытуда, сондай-ақ ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу үшін пайдалануға болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Попов И.А. Гидродинамика и теплообмен в пористых теплообменных элементах и аппаратах. Интенсификация теплообмена: монография / под общ. ред. Ю.Ф. Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2007. – 240 с., [Popov E.A. Hidro dinamika i teploobmen v poristyh teploobmennyh elementah i apparatah. Intensifikatsiya teploobmena: monografia / pod.red. Yu. F. Gortyshova. – Kazan: Tsentr innovatsionnyh]tehnologiy, 2007. – 240 p].
- 2 Андоньев С. М. А.с. № 551895, МПК: С 21 В 7/10; Б.и. № 15, 1971, [Andon'ev S.M. A.s. № 551895, МПК: С 21 В 7/10; В.и. № 15, 1971.]
3. Андоньев С. М. Испарительное охлаждение металлургических печей. – М.: Металлургия. 1970. - 424 с., [Andon'ev S.M. Isparitelnoe ohlazhdenie metallurgicheskikh pechey. – М.: Metallurgiya. 1970. - 424 p.].
- 4 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О. Исследование высокофорсированного пористого теплообменника. // Вестник НАН РК. - 2016, -№4. - С. 32-36. [Genbach A.A., Jamankulova N.O. Issledovanie vysokoforsirovannogo teploobmennika. // Vestnik NAN RK. -2016. - №4. - P. 32-36.]
- 5 Catalog OWEN www.owen.ua/
- 6 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О. Исследование процессов парообразования в пористых структурах с избытком жидкости. // Вестник КазНУ, №3 (115), -2016. - С. 422-428. [Genbach A.A., Jamankulova N.O. Issledovanie processov v poristyh strukturah s izbytkom zhidkosti. // Vestnik KazNITU. -2016. №3 (115). - С. 422-428.]
- 7 Genbach A.A., Jamankulova N.O., Bakić V.V. Capillary-Porous Heat Exchangers for Cooling of Melting Units. Thermal Science Journal, 2018, Vol. 22, Suppl. 5, pp. 1359-1369.
- 8 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О., Бекалай Н.К. Поиск эффективных систем охлаждения для взрывобезопасных плавильных агрегатов. // Вестник КазНУ. -2017. - №1(119). – С. 230-234. [Genbach A.A., Jamankulova N.O., Bekaliy N.K. Poisk effektivnyh system ohlazhdeniya dlya bzyrvobezopasnyh plavilnyh agregatov. // Vestnik KazNITU. -2017. - №1(119). – P. 230-234.]
- 9 Генбач А.А., Джаманкулова Н.О. Применение капиллярно-пористых систем в металлургическом производстве // Вестник НАН РК. -2017. - №3 (367). -С. 65-72. [Genbach A.A., Jamankulova N.O. Primeneniye capillyarno-poristyh systems v metallurgicheskom proizvodstve. // Vestnik NAN RK. -2017. - №3 (367). -P. 65-72.]
- 10 Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 80с. [Rivkin S.L., Aleksandrov A.A. Termodinamicheskie svoistva vody i vodyanogo para. Spravochnik. – М.: Energoatomizdat. – 2004. – 80p.]

А.А. Генбач, Н.О Джаманқұлова

КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТІ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Исследована пористая система охлаждения, в которой подвод охлаждающей жидкости производят при комбинированном действии капиллярных и гравитационных сил. Предложена капиллярно-пористая система охлаждения, моделирующая кессон, в которой процессы теплообмена происходят путем парообразования жидкости в пористых структурах, Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости температуры стенки от плотности теплового потока, влияния теплового потока на перегрев стенки $\Delta T, K$. Предложенная капиллярно-пористая пористая система охлаждения кессонов интенсифицирует теплообмен в пористой системе, повышает надежность работы агрегатов, применительно к тепловым энергетическим установкам, обеспечивает взрывобезопасность работы высокофорсированных установок, в частности, для охлаждения элементов металлургических печей.

Ключевые слова: капиллярно-пористая структура; процесс теплообмена; испарительная системы охлаждения.

A.A. Genbach, N.O. Dzhamankulova

CAPILLARY-KEUEKTI ZHYELERDEGI ZHYLU ALMASUDY EXPERIMENTTIK ZERTTEU

Abstract. A porous cooling system has been studied, in which the coolant is supplied under the combined action of capillary and gravitational forces. A capillary-porous cooling system is proposed that simulates a caisson, in which heat transfer processes occur by vaporization of liquid in porous structures. The results of experimental studies of the dependence of the wall temperature on the heat flux density, the effect of the heat flux on the wall overheating $\Delta T, K$ are presented. The proposed capillary-porous porous cooling system for caissons intensifies heat transfer in the porous system, increases the reliability of the units, in relation to thermal power plants, ensures the explosion safety of highly forced installations, in particular, for cooling elements of metallurgical furnaces.

Key words: capillary-porous structure; heat exchange process; evaporative cooling system.

Сведения об авторах

Генбач А.А., техника ғылымдарының докторы, профессор,
Джаманқұлова Н.О., PhD докторанты. e-mail: dnellya@mail.ru

НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Регистрационное свидетельство № 7528-Ж
от 01.08.2006 г.
выдано Министерством культуры и информации
Республики Казахстан

Отв. редактор *М.Е. Сейткалиева*
Редактор текста на казахском языке *Т.Т. Садырова*
Редактор текста на английском языке *Е. Бердыкулов*
Компьютерная верстка и дизайн *Н.Т. Раймкулова*
Обложка *Е.С. Кадырова*

Подписано в печать 10.06.2022.
Формат 60x84/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. п. л 8,5. Тираж 350 экз. Заказ 160.

Редакционно-издательский отдел НЦ ГНТЭ.
050026, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 221