

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некомерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

Маханов Әсет Саматұлы

Оценка реакционной активности взаимодействия многокомпонентных
сплавов, содержащих In, Ga, Sn с пластовой водой методом измерения
теплоты и газовыделения

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6В07117 – Химическая технология нефтехимической продукции

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующей кафедрой
«Химическая
и биохимическая инженерия»
к.х.н., ассоц. проф.
Р. А. Мангазбаева
«__» _____ 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Оценка реакционной активности взаимодействия
многокомпонентных сплавов, содержащих In, Ga, Sn с пластовой водой
методом измерения теплоты и газовыделения»

6В07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

Выполнил

Рецензент

к.т.н., с.н.с.

Атанова О. В.

«09» 08 2025 г.

Маханов Э. С.

Научный руководитель

д.х.н., профессор

Бойко Г. И.

«09» 08 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

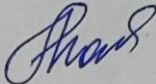
6B07117 – Химическая технология нефтегазохимической продукции

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

«Химическая и

биохимическая инженерия»

 к.х.н., ассоц. проф.
Р. А. Мангазбаева

«__» _____ 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Маханов Эсет Саматұлы

Тема: Оценка реакционной активности взаимодействия многокомпонентных сплавов, содержащих In, Ga, Sn с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения

Утверждена приказом проректора по академической работе № 26-П/Ө от 29 января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы «09» 06 2025

Исходные данные к дипломной работе:

Краткое содержание дипломной работы:

а) многокомпонентные сплавы In-Ga-Sn

б) получение многокомпонентных сплавов

в) исследование взаимодействия многокомпонентных сплавов алюминия с пластовой водой

Перечень графического материала: представлены 15 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература: из 21 наименований.

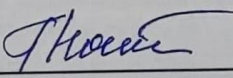
ГРАФИК подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор	05.02.2025	выполнено
Экспериментальная часть	26.03.2025	выполнено
Результаты и выводы	28.05.2025	выполнено

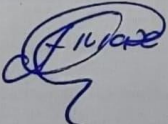
Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с
указанием относящихся к ним разделов работы.

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. Степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитический обзор литературы	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	7.03.25	Г. И. Бойко
Экспериментальная часть	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	7.03.25	Г. И. Бойко
Результаты исследования	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	26.05.25	Г. И. Бойко
Нормоконтролер	Г. И. Бойко д.х.н., профессор	05.06.25	Г. И. Бойко

Научный руководитель 

Бойко Г. И.

Задание принял к исполнению обучающийся 

Маханов Э. С.

Дата «19» 01 2025 г.

АННОТАЦИЯ

Зерттеудің мақсаты-жылу мен газ шығаруды өлшеу арқылы AL, In, Ga, Sn бар көп компонентті қорытпалардың қабат суымен әрекеттесуінің реактивті белсенділігін бағалау. Жұмыстың негізгі міндеті – мұнай-газ саласында олардың әлеуетті қолданылуын анықтау үшін қорытпалардың қабаттық сумен өзара әрекеттесуі кезінде жылу-газ бөлінуін өлшеу.

Зерттеу барысында калориметрияны қолдана отырып реакциялардың жылу әсеріне талдау жасалды, сондай-ақ тиісті аналитикалық әдістерді қолдана отырып газдың бөлінуі зерттелді. Алынған нәтижелер жылу және газ шығару процестерінің қарқындылығына әсер ететін негізгі факторларды анықтайды..

АННОТАЦИЯ

Целью исследования является оценка реакционной активности взаимодействия многокомпонентных сплавов, содержащих Al, In, Ga, Sn, с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения. Основная задача работы — измерение тепло – газовыделения при взаимодействии сплавов с пластовой водой для определения их потенциального применения в нефтегазовой отрасли.

В рамках исследования проведен анализ тепловых эффектов реакций с использованием калориметрии, а также исследовано газовыделение с применением соответствующих аналитических методов. Полученные результаты позволят выявить основные факторы, влияющие на интенсивность тепловых и газовыделительных процессов.

ABSTRACT

The purpose of the study is to evaluate the reactivity of the interaction of multicomponent alloys containing Al, In, Ga, Sn with formation water by measuring heat and gas release. The main objective of the work is to measure heat and gas release during the interaction of alloys with formation water to determine their potential application in the oil and gas industry.

As part of the study, the heat effects of the reactions were analyzed using calorimetry, and the outgassing was investigated using appropriate analytical methods. The results obtained will help to identify the main factors affecting the intensity of thermal and gas-extraction processes.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Литературный обзор	10
1.1	Многокомпонентные сплавы In-Ga-Sn: свойства и применение	10
1.2	Анализ получения алюминиевых порошков	10
1.3	Примеры взаимодействия сплавов с водными средами	12
1.4	Пластовые воды	13
2	Экспериментальная часть	15
2.1	Исходные вещества и материалы	15
2.2	Получение многокомпонентных сплавов	15
2.3	Характеристика пластовой воды из месторождения Каражанбас	16
2.4	Методика определения количественных параметров газо - тепловыделения реакции многокомпонентных сплавов с водными средами	17
2.5	Методика расчета теплоты реакции	18
3	Результаты и выводы	19
3.1	Исследование взаимодействия многокомпонентных сплавов алюминия с водой	19
3.2	Исследование взаимодействия сплавов с водными растворами кислот	20
3.3	Исследование реакции сплавов с пластовой водой месторождения Каражанбас	21
3.4	Теплоты реакции при взаимодействии многокомпонентных сплавов легких и рассеянных металлов с водой и водными растворами HCl	25
	Заключение	27
	Перечень сокращений	28
	Список использованной литературы	29

ВВЕДЕНИЕ

В условиях активного развития нефтегазовой отрасли возрастает необходимость эффективной утилизации и очистки промышленных отходов, в том числе водных систем, загрязнённых нефтепродуктами, ионами тяжелых металлов. В связи с этим, представляет интерес исследование реакционной активности металлов и сплавов, обладающих способностью взаимодействовать с водной средой с выделением тепла и газов. Особенно перспективными являются сплавы, содержащие индий (In), галлий (Ga) и олово (Sn), обладающие высокой химической активностью и способностью к взаимодействию с водой при умеренных температурах.

Пластовая вода, сопровождающая добычу нефти, представляет собой сложную многокомпонентную систему с высокой соленостью, содержанием сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов и других агрессивных соединений. Её взаимодействие с активными сплавами может быть использовано для генерации водорода или как источник энергии в локальных технологических процессах. Исследование поведения сплавов Al-In-Ga-Sn в таких системах позволяет не только понять механизмы их химического взаимодействия, но и оценить термодинамические параметры реакций, включая теплоту и объем газовыделения.

Ранее в работах [1, 2] отмечалось, что сплавы на основе алюминия с добавками Ga, In и Sn обладают высокой реакционной способностью по отношению к воде и способны быстро выделять водород. Кроме того, термодинамические исследования показывают, что такие системы характеризуются положительными эффектами энтальпии при взаимодействии с водными растворами [3]. Использование калориметрических и газометрических методов позволяет получить количественную оценку этих процессов и использовать их в прикладных целях.

Целью данной работы является экспериментальная оценка реакционной активности многокомпонентных сплавов, содержащих Al, In, Ga и Sn, при взаимодействии с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения. Работа включает синтез сплавов, характеристику пластовой воды, проведение реакций и последующий анализ полученных данных с использованием современных аналитических методов.

1. Литературный обзор

1.1 Многокомпонентные сплавы Al-In-Ga-Sn: свойства и применение

Многокомпонентные сплавы на основе алюминия (Al), галлия (Ga), индия (In) и олова (Sn) представляют собой уникальный класс металлических материалов, привлекающих значительное внимание исследователей в последние десятилетия. Эти сплавы обладают комплексом физико-химических свойств, делающих их перспективными для различных технологических применений [4]. Особый интерес вызывает способность системы In-Ga-Sn существенно изменять реакционную способность алюминия при контакте с водными средами, что открывает новые возможности в энергетике и промышленных технологиях.

Ключевой особенностью сплавов системы In-Ga-Sn является их эвтектическая природа, обеспечивающая существование в жидком состоянии при температурах ниже 50°C. Это свойство обусловлено специфическим взаимодействием компонентов на атомарном уровне, что было подробно исследовано методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии [5]. При этом даже небольшие добавки этих элементов (обычно в пределах 1–10% масс.) способны кардинально изменить поведение основного металла-носителя, алюминия.

Механизм активации алюминия этими сплавами включает несколько взаимосвязанных процессов. Во-первых, галлий и индий образуют с алюминием интерметаллические соединения (Al-Ga, Al-In), что было подтверждено методами фазового анализа [6]. Во-вторых, жидкая фаза сплава проникает по границам зерен алюминия, вызывая так называемое "жидкометаллическое охрупчивание". Этот процесс приводит к разрушению кристаллической структуры и увеличению активной поверхности [7]. В-третьих, компоненты сплава эффективно подавляют образование плотной оксидной пленки (Al₂O₃) на поверхности алюминия, что является ключевым фактором поддержания непрерывной реакции с водой.

Оптимальный состав активирующих добавок был предметом многочисленных исследований. Экспериментальные данные показывают, что максимальная активность достигается при содержании галлия 2–5%, индия 3–7% и олова 1–3% [8]. При этом каждый элемент выполняет специфическую функцию: галлий преимущественно отвечает за разрушение оксидного слоя, индий усиливает электрохимические процессы, а олово выступает в роли синергиста, снижая общий энергетический барьер реакции.

Важным аспектом является влияние температуры на реакционную способность таких систем. Исследования показали, что при повышении температуры от 20°C до 60°C скорость выделения водорода может увеличиваться в 3–5 раз [9]. Однако при температурах выше 80°C наблюдается ускоренное пассивирование поверхности, что требует дополнительных мер по стабилизации процесса.

1.2 Способы получения алюминиевых порошков

Алюминиевые порошки широко применяются в исследованиях, связанных с генерацией водорода, благодаря их высокой реакционной способности и удельной поверхности. Их использование особенно актуально при создании многокомпонентных сплавов, таких как Al-Ga-In-Sn, взаимодействующих с водной средой с образованием водорода и теплового эффекта. Структура, морфология и активность алюминиевого порошка зависят от метода его получения, который влияет как на размер частиц, так и на наличие дефектов и оксидной плёнки на поверхности.

Среди основных способов получения алюминиевых порошков можно выделить несколько наиболее распространённых и эффективных.

Один из самых доступных — это механическое измельчение, при котором алюминиевые заготовки перерабатываются в шаровых или планетарных мельницах. В процессе измельчения создаётся большое количество структурных дефектов и трещин, что увеличивает химическую активность порошка. Однако механический способ может сопровождаться загрязнением продукта и образованием оксидов, что требует дополнительной активации поверхности [10].

Более технологичным методом считается аэрозольное (или распылительное) получение порошков, при котором расплавленный алюминий распыляется в струе инертного или окислительного газа. При резком охлаждении распылённые капли затвердевают, образуя порошок с гладкой поверхностью и стабильными размерами частиц. Преимуществом данного метода является высокая степень чистоты продукта и возможность масштабирования для промышленного применения [11].

Электролитическое осаждение также используется для получения алюминиевого порошка высокой чистоты. Метод основан на осаждении металлического алюминия на катод из раствора электролита, после чего порошок отделяется, промывается и высушивается. Электролитические порошки, как правило, рыхлые, пористые и обладают высокой удельной поверхностью, что делает их привлекательными для реакций с водой, однако стоимость их получения значительно выше по сравнению с другими методами [12].

Химическое восстановление представляет собой способ получения порошка путём восстановления алюминиевых солей с помощью водорода или других восстановителей. Такие порошки обладают мелкодисперсной структурой, но требуют точного контроля условий проведения процесса, особенно температуры и давления, поскольку нарушение параметров может привести к агломерации частиц или загрязнению продукта [13].

В последнее время активно развиваются современные подходы к получению порошков с применением ультразвуковой кавитации, электрической дуги и лазерного испарения. Эти методы позволяют получать наноразмерные порошки с высокой дефектностью и активностью поверхности. Такие материалы являются перспективными в задачах

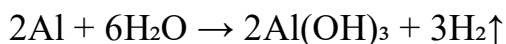
высокоэффективного водородного генератора, особенно в условиях ограниченного пространства или нестабильной подачи энергии [14].

Одним из современных методов получения активированных алюминиевых порошков является модификация металлического алюминия жидкометаллическими добавками, такими как индий, галлий и олово, с последующей активацией термическим и химическим воздействием. В работе [15] описан способ получения порошка на основе сплава RAU-85, содержащего алюминий с 5 масс.% каждого из активаторов. Термическое поведение таких порошков исследовалось методами дифференциального термического и термогравиметрического анализа, что позволило выявить этапы дегидратации, термической деструкции и выделения летучих компонентов в диапазоне температур от 20 до 1000 °С. При взаимодействии активированного порошка с различными окислителями, такими как вода, 3%-й раствор перекиси водорода и 5%-й раствор серной кислоты, наблюдалось интенсивное газо- и тепловыделение, что указывает на высокую реакционную способность материала. Данный подход позволяет получать алюминиевые порошки с заданной морфологией, структурой и высокой термохимической активностью, что делает их перспективными для задач, связанных с генерацией водорода и термохимическим воздействием на водные среды.

Таким образом, выбор метода получения алюминиевого порошка напрямую влияет на его реакционную способность в составе многокомпонентных сплавов. Наиболее эффективно для целей генерации водорода в реакциях с водой себя зарекомендовали механически активированные порошки, особенно при последующем легировании галлием, индий и оловом. Как показано в работе [10], активированные алюминиевые порошки, обработанные в шаровой мельнице, обладают в несколько раз большей водородоотдачей по сравнению с обычным алюминием, что делает их крайне перспективными для дальнейших исследований и разработок в области водородной энергетики.

1.3. Примеры взаимодействия сплавов с водными средами

Основной механизм взаимодействия основан на разрушении пассивирующей оксидной пленки на поверхности алюминия благодаря введению Ga, In и Sn. Эти металлы растворяются в алюминии с образованием легкоплавкой и пластичной фазы, которая нарушает целостность защитного слоя Al_2O_3 и открывает доступ воды к свежей металлической поверхности. В результате происходит экзотермическая реакция между алюминием и водой, сопровождающаяся выделением водорода и теплоты. Типичная реакция может быть представлена следующим образом:



Согласно исследованию [1], сплав Al-Ga-In-Sn проявляет высокую реакционную способность в воде, а добавление катализирующих примесей

(например, AlTi_2B) может существенно повысить скорость реакции. Авторы отмечают, что наибольшее газовыделение достигается при температуре около 50°C , но и при комнатной температуре процесс идёт достаточно активно.

В работе [16] была изучена реакция алюминиевых пластин, активированных жидким сплавом Ga-In, с искусственной морской водой. Результаты показали, что даже при высоком содержании солей водородоотдача сохраняется, а степень коррозионного разрушения алюминия уменьшается за счёт распределённого характера реакции. Аналогичные выводы были получены в более позднем исследовании [2], где авторы оценили влияние температуры и соотношения компонентов сплава. Было установлено, что увеличение содержания галлия ускоряет начало реакции, а индий способствует стабильному и равномерному газовыделению.

Кроме того, [17] рассмотрели влияние pH и состава воды на скорость выделения водорода. Исследование показало, что в нейтральной и слабокислой среде реакция протекает интенсивнее, чем в сильнощелочной. Это связано с различной растворимостью образующихся гидроксидов и стабильностью переходного слоя между сплавом и раствором.

Таким образом, многокомпонентные сплавы, содержащие Al, Ga, In и Sn, демонстрируют стабильную реакционную активность в различных водных средах, включая пресную, морскую и пластовую воду. Наиболее эффективным является использование порошков или активированных пластин с высокой площадью поверхности, что позволяет обеспечить равномерное протекание реакции. Эти материалы могут применяться как перспективные генераторы водорода в автономных энергетических системах и экологически безопасных технологиях.

1.4. Пластовые воды

Пластовая вода представляет собой водную фазу, находящуюся в порах горных пород совместно с нефтью и газом. Её извлечение происходит вместе с углеводородами, особенно на поздних стадиях разработки месторождений, когда вода может составлять до 80–90% объема добываемой жидкости. Важность изучения пластовой воды обусловлена как экологическими аспектами (необходимость утилизации или очистки), так и её взаимодействием с металлами и инженерными материалами, используемыми в нефтедобыче и утилизационных технологиях.

По своему составу пластовые воды представляют собой сложные многокомпонентные растворы, в которых могут присутствовать хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, ионы кальция, магния, натрия, калия, железа, а также органические вещества, растворённые газы и микроорганизмы. Минерализация таких вод варьируется в широких пределах — от 1 до 300 г/л и более, а pH может колебаться от кислых до щелочных значений в зависимости от геохимических условий залежи [18].

Химический состав пластовой воды оказывает существенное влияние на поведение металлических сплавов при контакте с ней. Прежде всего, это

связано с высокой коррозионной активностью и способностью ионов Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^- разрушать оксидные защитные пленки на поверхности металлов, особенно алюминия и его сплавов. Это может как усиливать, так и тормозить реакцию взаимодействия сплавов с водой. Например, при высоком содержании хлоридов реакция может протекать быстрее за счёт разрушения пассивного слоя, но при этом ускоряется и нежелательная коррозия [19].

В контексте многокомпонентных сплавов, таких как Al-Ga-In-Sn, особый интерес представляет поведение активных поверхностей в условиях высокой солености. Исследования показали, что пластовая вода может стимулировать выделение водорода из таких сплавов, особенно при нейтральных или слабокислых значениях pH. Так, в работе [20] было показано, что использование активированных алюминиевых порошков в условиях, имитирующих пластовую воду, приводит к значительному выделению водорода и тепла. При этом степень газовыделения коррелирует с ионным составом раствора: хлориды способствуют разрушению оксидной плёнки, а ионы кальция и магния, напротив, могут образовывать нерастворимые осадки, которые блокируют активные участки поверхности.

Дополнительно отмечено, что повышенное содержание сульфатов и уголекислоты в воде может влиять на термодинамику реакции, смещая её в сторону уменьшения выхода водорода. При этом температуры реакции остаются близкими к комнатным, что делает такие системы перспективными для безопасного и контролируемого получения водорода на месте, без необходимости применения внешнего источника тепла [21].

Также важным аспектом является различие между лабораторными моделями пластовых вод и их реальными аналогами. В лабораторных условиях часто используют растворы NaCl определённой концентрации, однако это не отражает реальной картины. В действительности пластовые воды характеризуются многокомпонентным составом и присутствием природных органических соединений, которые могут дополнительно влиять на поведение металлических систем.

Таким образом, пластовая вода представляет собой агрессивную и одновременно интересную среду для исследований в области водородной энергетики. Её использование в реакциях со сплавами типа Al-Ga-In-Sn открывает перспективы для разработки автономных и экологически безопасных систем генерации водорода, особенно в условиях удалённых производств и промыслов, где доступ к чистой воде ограничен. Для практической реализации таких решений требуется дальнейшее изучение влияния всех компонентов воды на термодинамику и кинетику взаимодействия с металлами.

2. Экспериментальная часть

2.1 Исходные вещества и материалы

Алюминий в гранулах приобретен у АО «Казахстанский электролизный завод», единственный производитель алюминия в Казахстане, входит в группу предприятий ERG («Евразийская Группа»).

Галлий, в виде слитков цилиндрической формы. Массой от 900 до 1000г приобретен у АО «Казахстанский электролизный завод», температура плавления 29,80 °С, плотность: 7,362 (+20 °С, г/см³).

Индий в виде слитков цилиндрической формы Массой от 0,05 до 1000г (марка Ин00) приобретен у АО «Казахстанский электролизный завод», температура плавления 156,59 °С, плотность: 5,904 (+20 °С, г/см³).

Олово в виде чушки массой от 22-26кг, содержание олова 99,565%, температура плавления 231,91°С.

Соляная кислота, температура кипения азеотропной смеси (20,22% по массе) - 108,6°С, ρ 1,16г/см³ (35%), использовали без дополнительной очистки. (ХЧ) ГОСТ 3118–77.

Многокомпонентный сплав на основе легких и рассеянных металлов Al-85%, Ga-5%, In-5%, Sn-5%.

Многокомпонентный сплав на основе легких и рассеянных металлов Al-95%, Ga-2,5%, In-1,25%, Sn-1,25%.

Дистиллированная вода

Пластовая вода м.Каражанбас(скв.№8425, скв.№5025)

2.2 Приготовление многокомпонентных сплавов

Приготовление сплавов в виде слитков. Алюминий расплавляли в алуновом тигле в муфельной печи, при температуре от 750°С до 900°С, перемешивали расплав кварцевым стержнем. В расплавленный алюминий вводили активирующие добавки перемешивали для достижения однородности расплава. Содержимое тигля переливали в форму для приготовления слитка и быстро охлаждали.

Таблица 1 – Компонентный состав сплавов на основе легких и рассеянных металлов

Шифр сплава, номер	Содержание компонентов, %				Температура плавки, °С	Время выдержки при температуре плавки, мин
	Al	Ga	In	Sn		
Сплав №2.1	85	5	5	5	825	30
Сплав № 4.1	85	5	5	5	900	30
Сплав № 7.1	90	5	2.5	2.5	800	30

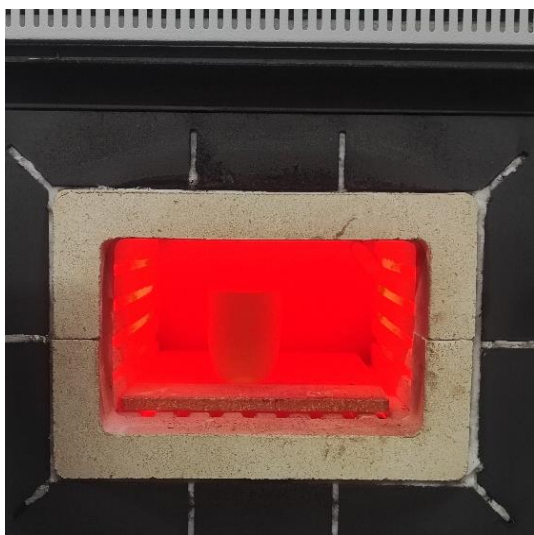


Рисунок 1 –Плавка и внешний вид слитков сплавов легких и рассеянных металлов

2.3 Характеристика пластовой воды из месторождения Каражанбас

Таблица 2 - Сравнительный анализ макрокомпонентного состава исследуемых проб воды месторождения Каражанбас

Найдено, катионов мг/дм ³	Место отбора проб		
	Скважина №8425	Скважина №5025	Каражанбас у входа ДНС
Al	0.28345	н/о	2. 2353
Ba	н/о	н/о	н/о
Be	0.00532	0.00409	0.0365
Cd	н/о	н/о	0.0014
Ce	0.00217	0.00097	н/о
Co	0.000319	0.00032	0.0478
Cr	0.00601	0.00261	н/о
Cu	н/о	н/о	0.0064
Gd	0.00021	0.025014	0.3941
He	0.045181	н/о	0.0064
La	0.00009	0.001367	0.0011
Li	3.61271	1.11743	2.9264
Mn	0.469491	0.11041	0.9940
Ni	0.026504	0.0097	н/о
Pb	н/о	0.01545	0.1774

Se	н/о	н/о	1.8652
Ti	н/о	н/о	0.0311
U	0.00207	0.0015	н/о
V	0.00573	0.000097	0.0012
Zn	0.108134	0.06473	0.5739
As	н/о	н/о	0.240
Cl, g/l	1.065	2.627	7.09
Анализ осуществлен на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICAP-Qc “Thermo Scientific”, США			

2.4 Методика определения количественных параметров газо - тепловыделения реакции многокомпонентных сплавов с водными средами

Реакцию многокомпонентных сплавов, содержащих индий, галлий и олово с пластовой водой проводили в лабораторных условиях при атмосферном давлении и комнатной температуре (20–25 °С).

Для проведения реакции использовалась герметичная реакционная установка, состоящая из круглодонной химической колбы объёмом 500 мл, снабжённой пробкой с газоотводной трубкой, соединённой с барабанным газовым счетчиком. Это позволяло фиксировать объем выделяющегося газа в режиме реального времени. Одновременно внутрь реакционного сосуда был погружён цифровой термометр, регистрирующий изменение температуры в ходе реакции.

Перед проведением эксперимента многокомпонентный сплав взвешивался на аналитических весах с точностью до 0,001г. Масса пробы составляла от 2,5г до 5,0г. Образец аккуратно помещают в реакционную колбу, затем в колбу добавляют отмеренное количество (250мл) пластовой воды определенного состава.

Реакция начинается сразу же после контакта сплава с водой. В течение всего процесса проводят контроль выделения газа, а также запись температуры раствора с интервалом в 1мин. Продолжительность эксперимента варьировали от 10 до 30 мин в зависимости от состава сплава, минерального состава воды и pH среды.

По окончании реакции фиксируют общий объем выделившегося газа, после чего рассчитывают выход пароводородной смеси (дм³) и изменение температуры раствора. Для повышения точности каждый опыт повторялся не менее трёх раз, а результаты усреднялись.



Рисунок 2 –Фотоснимок установки для регистрации объема выделившегося газа и измерения температуры

2.5 Методика расчета теплоты реакции

Для расчета теплоты реакции многокомпонентного сплава In-Ga-Sn с пластовой водой, измеряли изменение температуры реакционной среды. Температура раствора измерялась с помощью электронного цифрового термометра с точностью $\pm 0,1$ °C.

Перед проведением реакции вода и образец сплава выдерживали при одинаковой начальной температуре, чтобы исключить влияние теплопередачи от нагретых компонентов. После введения металла регистрируют максимальное повышение температуры раствора.

Количество выделенной теплоты Q реакции рассчитывают по уравнению теплообмена:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

где: Q — количество выделенной теплоты, Дж;

m — масса раствора, кг (принимается равной массе воды);

c — удельная теплоёмкость воды, 4,18 кДж/ (кг \ °C)

ΔT — изменение температуры раствора, °C.

Рассчитанное значение Q позволяет судить об интенсивности протекания реакции и потенциальной тепловой энергии, которую может генерировать данный сплав. Все эксперименты проводились в трёхкратной повторности, при этом среднее значение отклонения результатов не превышало 5 %.

3. Результаты и обсуждения

3.1 Исследование взаимодействия многокомпонентных сплавов алюминия с водой

Реакционная способность сплавов зависит от целого ряда внешних факторов: температуры, кислотности среды (рН), концентрации сплава, степени минерализации и состава ионов пластовой воды

Оценка выхода водорода является одним из основных количественных критериев реакционной активности металлических сплавов при взаимодействии с водной средой. Целью данной работы является определение количественных параметров выхода водорода и теплоты реакции, выделяющейся в результате взаимодействия многокомпонентных сплавов на основе алюминия, индия, галлия и олова.

На рисунке 3 приведены сравнительные кинетические кривые выхода водорода (а) и тепловыделения (б) при взаимодействии сплавов №2.1, №4.1, №7.1 с дистиллированной водой.

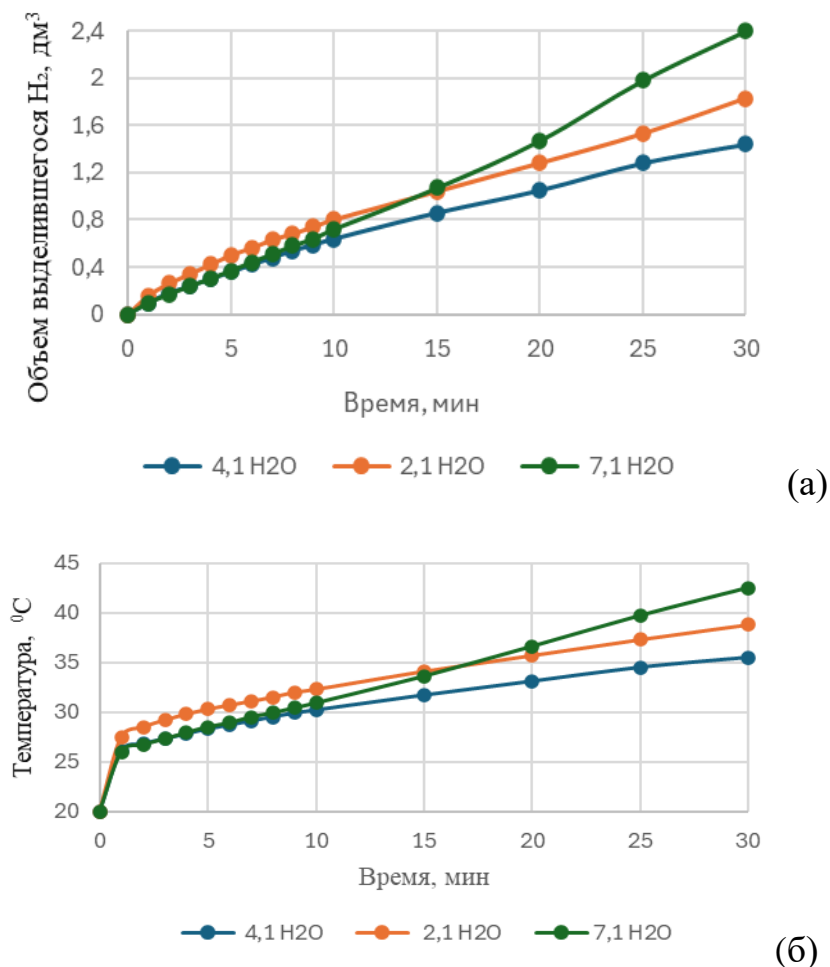


Рисунок 3 – Сравнительные кинетические кривые выхода водорода (а) и тепловыделения (б) при взаимодействии сплавов №2.1, №4.1, №7.1 с дистиллированной водой. Соотношение сплав : вода (1:100 2.,5г в 250мл).

Наибольшее газовыделение наблюдается в первые 15–25 минут после начала реакции, что связано с высокой скоростью разрушения пассивирующей оксидной плёнки и активацией алюминиевой матрицы под действием жидкометаллических компонентов – In и Ga. Сплавы с содержанием галлия 5 масс. % обеспечивают высокий выход водорода.

Взаимодействие сплава с водой включает следующие этапы:

1. Разрушение оксидной пленки под действием галлия и индия, проникающих в трещины и поры алюминия;
2. Открытие свежей металлической поверхности алюминия;
3. Реакция алюминия с водой:

Выявлена линейная зависимость между содержанием активных компонентов в сплаве (Ga, In, Sn), размером частиц сплава и объёмом выделяющегося водорода: мелкодисперсные образцы (~0,5 мм) образуют на 15–20 % больше газа в сравнении со слитками сплава, благодаря увеличению реакционной поверхности. Наиболее реакционноспособным является сплав №7.1 состава Al: Ga: In: Sn =90:5:2,5:2,5

Уменьшение содержания индия в сплаве №7.1 до 2,5 масс. % значительно повышает реакционную активность сплава и является экономически более выгодным.

3.2 Исследование взаимодействия сплавов с водными растворами кислот

Кинетические кривые выхода водорода при взаимодействии сплава №2.1 в зависимости от концентрации водного раствора соляной кислоты в сравнении с дистиллированной водой.

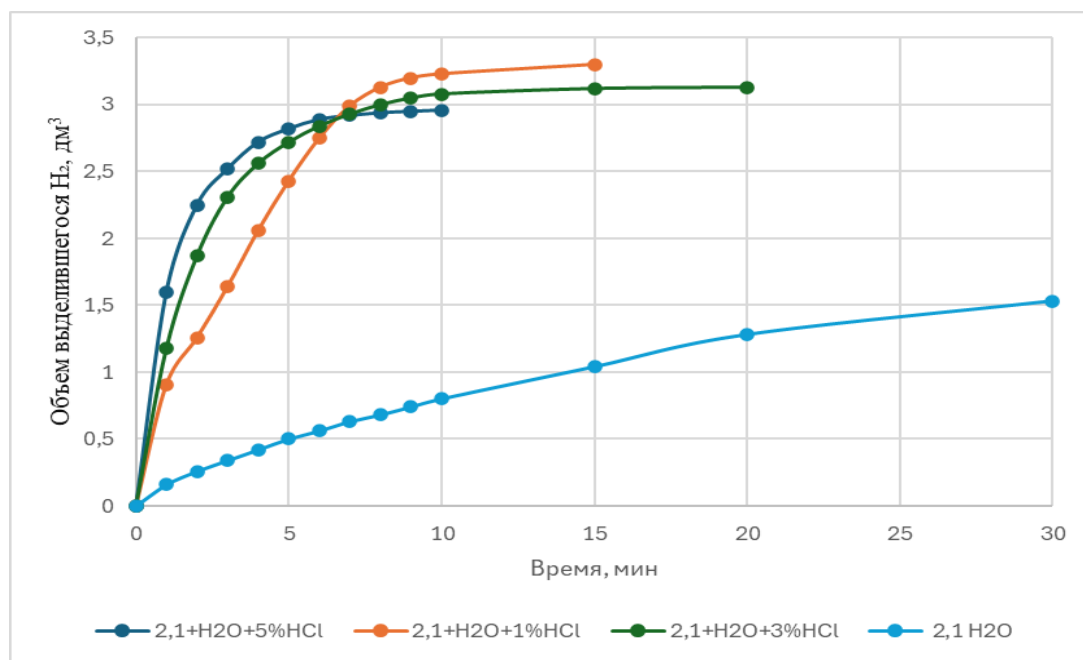


Рисунок 4 - Кинетические кривые выхода водорода при взаимодействии сплава №2.1 в зависимости от концентрации раствора соляной кислоты в дистиллированной воде.

На основании данных рисунка 4 можно сделать вывод, что скорость реакции с подкисленной водой выше, чем с дистиллированной водой. Можно заметить, что выход водорода в течение 5 минут достигает 70% при использовании 1% раствора HCl, для 3% 90–95% и для 5% раствора 95–100%. В этой связи использование 5% раствора HCl нецелесообразно.

Сравнительные кинетические кривые выхода водорода (а) и тепловыделения (б) при взаимодействии сплавов различного состава №2.1, №4.1, №7.1 с водным 3% раствором HCl представлены на рисунке 5. Как уже отмечалось выше, в растворе 3% соляной кислоты наблюдается более высокая скорость и выход водорода. В нейтральной среде реакция протекала с меньшей скоростью. Выход водорода за 30 минут достигает 2.5 дм³ в воде и теоретически расчетного значения 3,5 дм³ в водном растворе кислоты (рисунок 5)

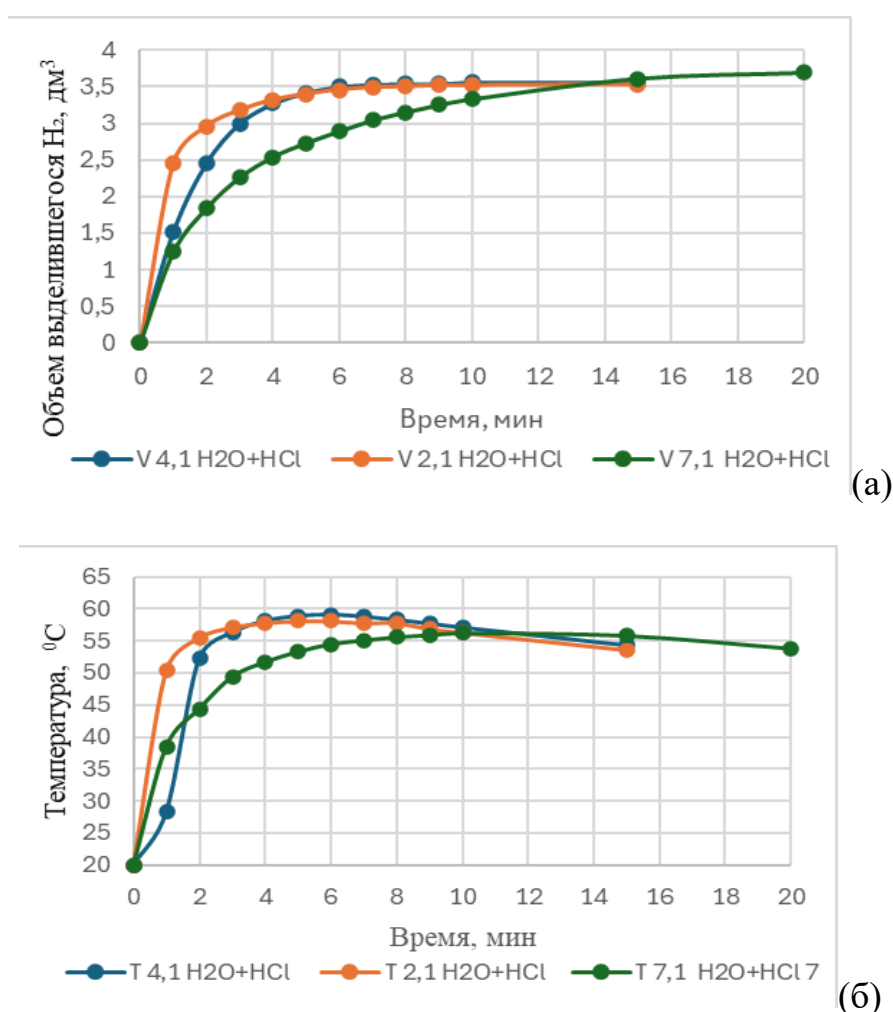
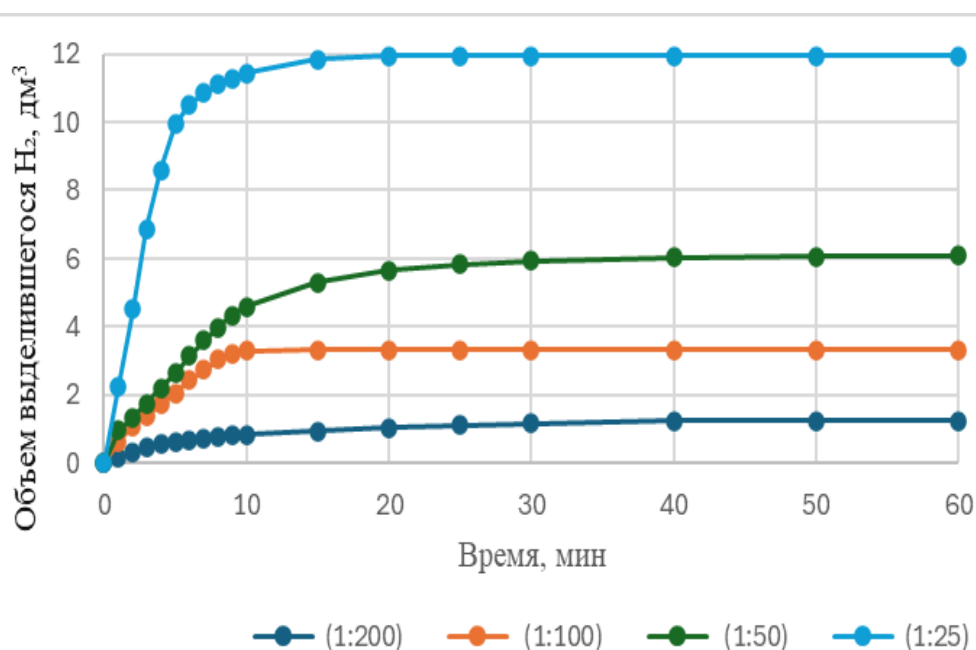


Рисунок 5 – Сравнительные кинетические кривые выхода водорода (а) и тепловыделения (б) при взаимодействии сплавов №2.1, №4.1, №7.1 с водным 3% раствором HCl.

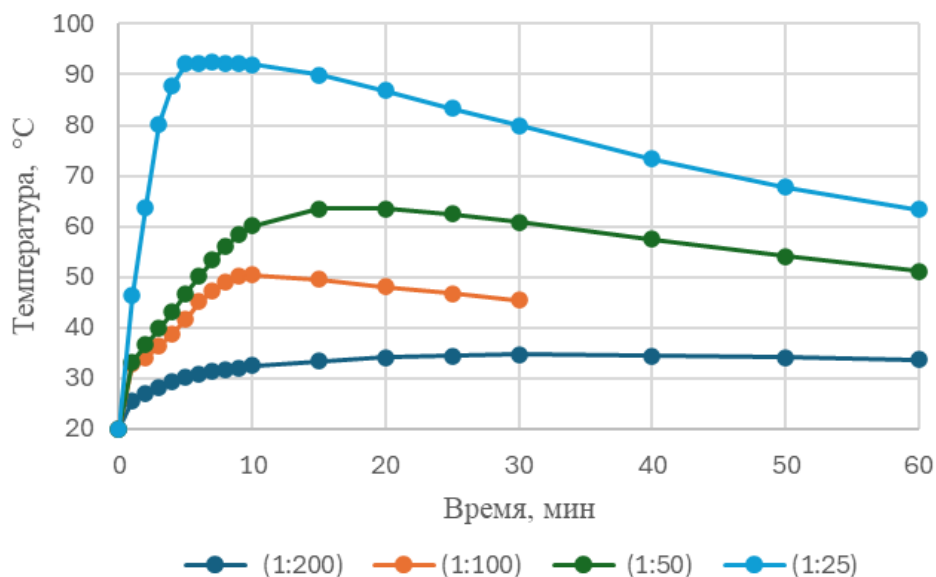
3.3 Исследование реакции сплавов с пластовой водой месторождения Каражанбас

Для оценки реакционной активности сплава в условиях, приближённых к реальным, были проведены эксперименты с использованием пластовой воды, с месторождения Каражанбас. Пробы воды были отобраны с ДНС, и скважин № 5025, №8425. Пластовая вода была разбавлена раствором соляной кислоты (HCl), имитируя условия, при которых усиливается разрушение оксидных плёнок на поверхности металлов. В ходе экспериментов было установлено, что значительное влияние оказывает на интенсивность протекания реакции соотношение между массой сплава и объёмом воды.

Кинетические кривые выхода водорода(а) и тепловыделения(б) при взаимодействии сплава №2.1 с пластовой водой м. Каражанбас ДНС (дожимная насосная станция) при различном соотношении сплав: водный раствор кислоты: (1 :200) (1:100); (1:50); (1:25) приведены на рисунке 6. Результаты показали, что реакция протекает достаточно интенсивно: активное газовыделение начиналось уже в первые 30–60 секунд после контакта сплава с водой и продолжалось 20-30 минут в зависимости от состава сплава. За первые 3–5 минут было зафиксировано более 60 % от общего объёма газа. Оптимальные значения выхода водорода (12дм³) и температуры нагрева воды (93°C) были получены при соотношении сплав : HCl.=1:25.



(а)

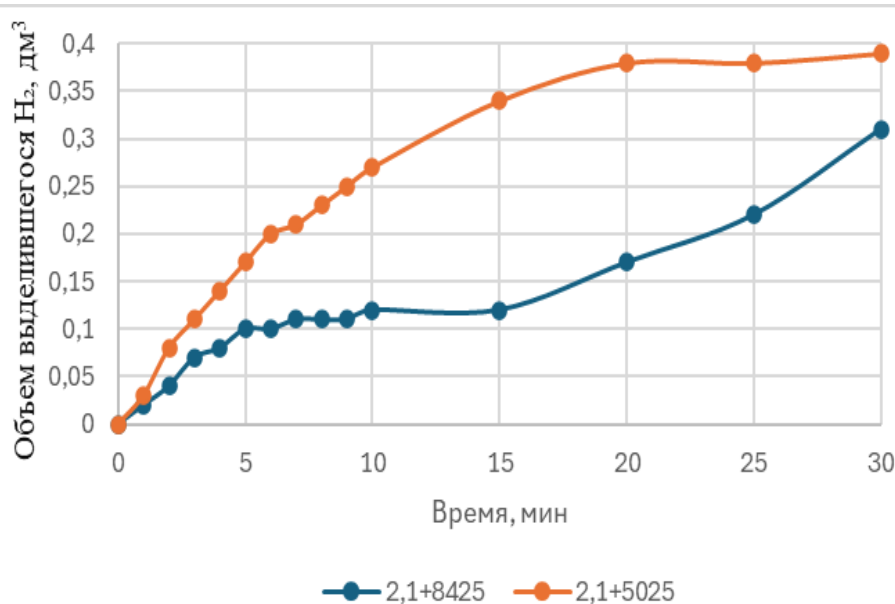


(б)

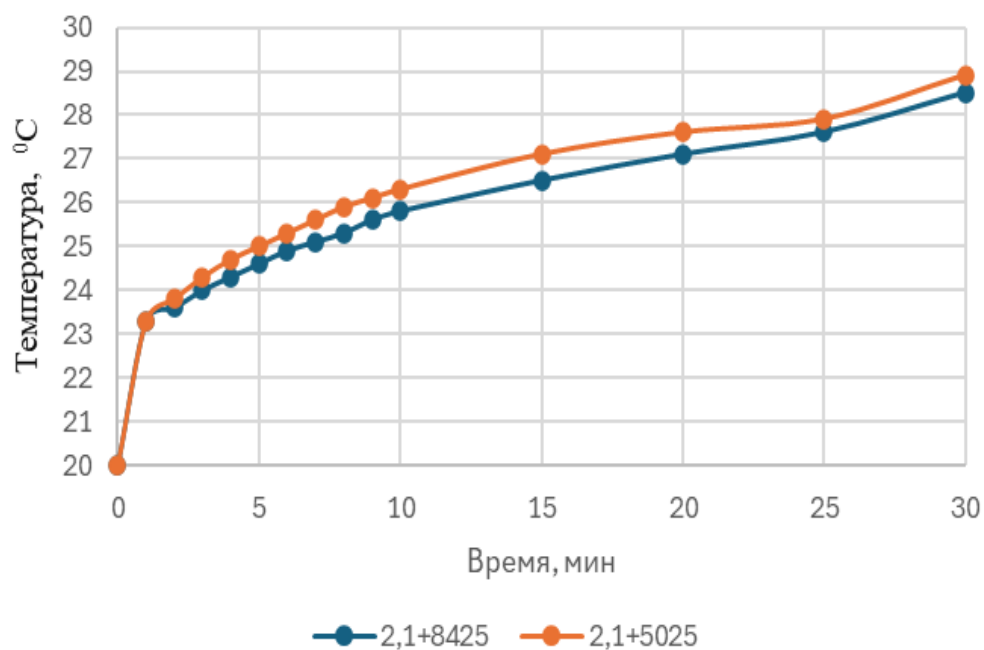
Рисунок 6 - Кинетические кривые выхода водорода(а) и тепловыделения(б) при взаимодействии с пластовой водой м Каражанбас ДНС с разной концентрацией сплава №2.1 и с водным раствором 1% HCl на 250 мл пластовой воды. Сплав:пластовая вода (1,25г :250мл); (2,5г:250мл); (5г:250мл); (10г:250мл).

При значительном увеличении объёма воды (более 150 мл на 1 г сплава) отмечается снижение температуры нагрева воды, выхода водорода и теплоты реакции. По-видимому, разбавление оксоний - ионов (H_3O^+) замедляет разрушение оксидных плёнок и снижает скорость реакции.

Кинетические кривые выхода водорода(а) и тепловыделение(б) при взаимодействии сплава №2.1 с пластовой водой месторождения Каражанбас скв. №8425 и Каражанбас скв. №5025

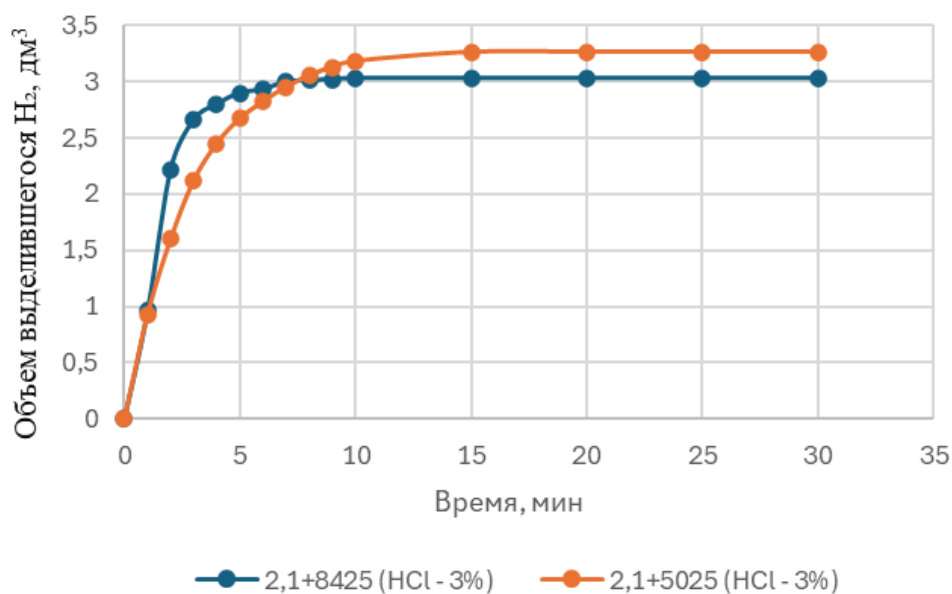


(а)

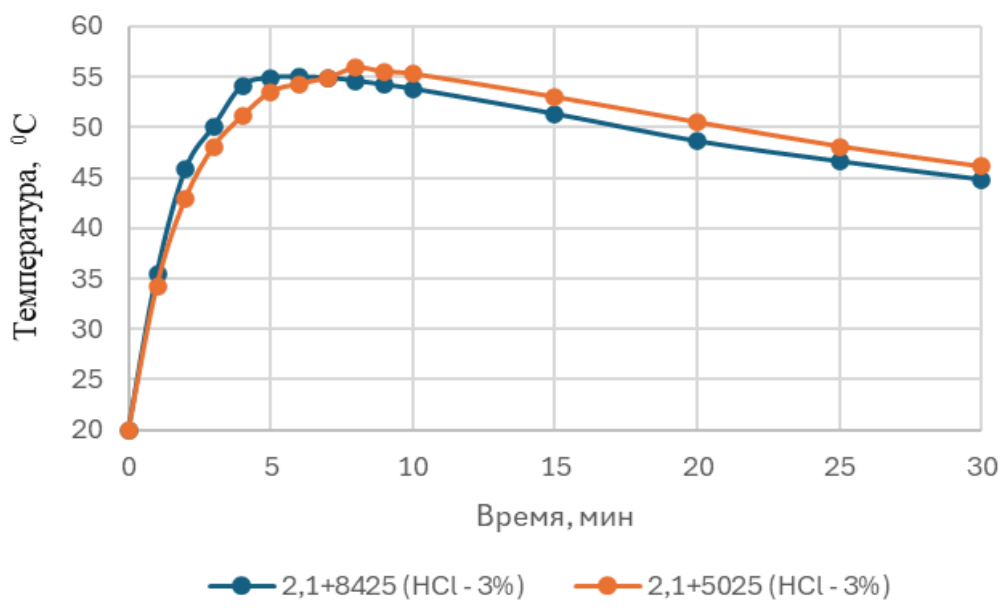


(б)

Рисунок 7 - Кинетические кривые выхода водорода(а) и тепловыделение(б) при взаимодействии сплава №2.1 с пластовой водой месторождения Каражанбас скв. №8425 и Каражанбас скв. №5025



(а)



(б)

Рисунок 8 - Кинетические кривые выхода водорода(а) и тепловыделение(б) при взаимодействии сплава №2.1 с 1% раствором HCl пластовой воды месторождения Каражанбас скв. №8425 и Каражанбас скв. №5025

Таким образом, для обеспечения стабильных условий реакции рекомендуется использовать соотношение сплав: водный HCl = 1: 50. Такое соотношение обеспечивает равномерное течение реакции, отсутствие вторичных эффектов и воспроизводимость результатов.

Присутствие хлоридов в воде способствует разрушению сплава, ускоряя начало реакции. Испытания сплава в условиях подкисленной пластовой воды м. Каражанбас показали высокую реакционную активность. Полученные данные подтверждают, что даже без подогрева можно добиться устойчивого газовыделения и высокой степени водородоотдачи, что повышает практическую значимость данных сплавов для проведения исследований повышения продуктивности скважин.

3.4 Теплоты реакции при взаимодействии многокомпонентных сплавов легких и рассеянных металлов с водой и водными растворами HCl

Количество выделенной теплоты Q реакции многокомпонентных сплавов легких и рассеянных металлов с водой и водными растворами HCl при 25°C рассчитывают по уравнению теплообмена (1). Найденное значение Q позволяет судить об интенсивности протекания реакции и потенциальной тепловой энергии, которую может генерировать данный сплав. Рассчитанные теплоты реакции приведены в таблице 3.

Выявлено, что Q реакции зависит от pH, минерализации среды. В слабокислой среде достигает 73,150 кДж, в нейтральной 14,421 кДж.

Таблица 3 – Теплоты реакции при взаимодействии многокомпонентных сплавов легких и рассеянных металлов с водными растворами HCl при 25°C

Вода	Концентрация раствора HCl	Номер сплава	Соотношение сплав: водный раствор HCl.	Сплав: водный раствор HCl в граммах	Выход газов, дм ³	Нагрев воды, °C	Общая минерализация, г/л	Q, Дж
Дистиллированная	1.0	2.1	1:25	5:125	6.99	92.50	2.57	35294
Дистиллированная	0	2.1	1:100	2.5:250	1,83	38,8	2.57	14421
Дистиллированная	1.0	2.1	1:100	2.5:250	3.30	50.6	2.57	26771.2
Дистиллированная	3.0.	2.1	1:100	2.5:250	3.14	55.9	2.57	32313.6
Дистиллированная	5.0	2.1	1:100	2.5 :250	2.96	61.6	2.57	38274.4
Дистиллированная	1.5	7.1	1:50	5:250	7.52	81.8	2.57	59398.6
Дистиллированная	3.0	2.1	1:50	5:250	6.94	79.9	2.57	57411.6
Дистиллированная	3.0	2.1	1:25	10:250	13.88	90.0	2.57	67973.7
Пластовая вода м. Каражанбас скв.5025	1.0	2.1	1:25	1:25	1.10	77.6	44.42	54967
Пластовая вода м. Каражанбас, скв. 8425	3.0	2.1	1:100	2.5:250	3.03	55.0	15.34	31372.5
Пластовая вода м. Каражанбас, скв. 5025	3.0	4.1	1:100	2.5:250	3.13	54.7	44.42	30535.9
Пластовая вода м. Каражанбас, скв. №5025	10	2.1	1:25	1:25	1.30	86.0	44.42	6379.0
Пластовая вода м. Каражанбас, ДНС	3.0	2.1	1:100	2.5:250	3.23	70.8	34.020	47895.3
Пластовая вода м. Каражанбас, ДНС	3.0	2.1	1:25	1:25	1.30	95	30.020	73150

*ГОСТ Р 58144–2018 Вода, дистиллированная Технические условия. Distilled water. Specifications

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осуществлена оценка реакционной активности взаимодействия многокомпонентных сплавов, содержащих In, Ga, Sn с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения.

Реакционная способность исследованных сплавов оценивалась на основе двух ключевых параметров: объема выделившегося водорода и количества тепла, выделенного в ходе реакции.

Выявлена высокая эффективность сплавов типа Al–Ga–In–Sn в водных средах, в том числе в пластовых водах месторождения Каражанбас (ДНС. скважина № 5025 и скважина №8425). Установлено, что газовыделение протекает интенсивно, особенно в первые 15–20 минут после начала реакции. Выход водорода зависит как от состава сплава, так и физико-химических свойств исследуемых пластовых вод. Максимальный выход водорода составлял до 270 мл/г сплава, а тепловой эффект достигал 60–68 кДж/кг для сплава при массовом содержании алюминия 90%, Ga 5%, In 2,5% и Sn 2,5%.

Установлено, что подкисление пластовой воды соляной кислотой способствует значительному увеличению скорости и интенсивности реакции за счёт растворения пассивирующей оксидной плёнки. Выход водорода составлял 95–100%. Температура нагрева воды достигала 55–93°C в зависимости от состава сплава, концентрации раствора соляной кислоты в пластовой воде, соотношения сплав: водный раствор кислоты.

Наилучшие результаты по выходу водорода и температуре нагрева воды достигнуты при соотношении сплав: водный раствор кислоты= 1:25.

Рассчитаны теплоты реакции в зависимости от условий взаимодействия многокомпонентного сплава с водными средами.

Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности применения таких сплавов в химико-технологических процессах генерации водорода, повышения продуктивности скважин при добыче нефти и газа, решения экологических и энергетических задач.

Данное исследование финансировалось/финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992868).

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

1. ДНС – дожимная насосная станция
2. Al – алюминий
3. Ga – галлий
4. In – индий
5. Sn – олово
6. pH – pondus hydrogenii

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Xie Z., Dong S., Luo P., Wang H. Enhanced Hydrogen Generation Properties of Al-Ga-In-Sn Alloy in Reaction with Water by Trace Amount of AlTi₅B Additives // *Materials Transactions*. – 2017. – Vol. 58, №5. – P. 724–727.
2. Qiao D., Lu Y., Tang Z., Fan X., Wang T., Li T., Liaw P.K. The superior hydrogen-generation performance of multi-component Al alloys by the hydrolysis reaction // *Int. J. Hydrogen Energy*. – 2019. – Vol. 44. – P. 3527–3537.
3. Rechchach M., Sabbar A., Flandorfer H., Ipser H. Enthalpies of mixing of liquid In–Sn and In–Sn–Zn alloys // *Thermochimica Acta*. – 2010. – Vol. 502, №1–2. – P. 66–72.
4. Liu Y., Zhang W., Chen X. Liquid metal-activated aluminum-water reactions for hydrogen generation // *Advanced Materials*. - 2023. - Vol. 35, № 12. - P. 2204567-2204581. DOI:10.1002/adma.202204567
5. Wang H., Zhao K., Li M. Microstructure and hydrogen generation performance of Al-Ga-In-Sn alloys in simulated seawater // *International Journal of Hydrogen Energy*. - 2022. - Vol. 47, № 58. - P. 24512-24524. DOI:10.1016/j.ijhydene.2022.05.217
6. Chen X., Zhang R., Liu B. Phase composition and activation mechanism of Al-Ga-In-Sn quaternary alloys // *Journal of Alloys and Compounds*. - 2021. - Vol. 876. - P. 160215. DOI:10.1016/j.jallcom.2021.160215
7. Иванов А. В., Петров С. К., Сидоров Д. Е. Влияние состава многокомпонентных сплавов на кинетику выделения водорода // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия "Машиностроение"*. - 2022. - № 3(142). - С. 45-58.
8. Smith J.R., Johnson A.B., Williams C.D. Liquid metal embrittlement of aluminum by gallium-indium-tin alloys // *Materials Science and Engineering: A*. - 2021. - Vol. 802. - P. 140636. DOI:10.1016/j.msea.2020.140636
9. Zhang L., Wang Q., Zhou P. Recent advances in aluminum-based hydrogen generation materials // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. - 2023. - Vol.
10. Razavi-Tousi S.S., Szpunar J.A. Effect of structural evolution of aluminum powder during ball milling on hydrogen generation in aluminum–water reaction // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2013. – Vol. 38, Issue 20. – P. 8357–8368.
11. El-Eskandarany M.S., Al-Ajmi F., Al-Hazza A., Al-Qutub A.M., Ali N. Mechanical alloying of Al-based amorphous alloys for high-efficiency hydrogen generation // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2019. – Vol. 8, Issue 6. – P. 5916–5925.
12. Shibli S.M.A., Gireesh V.S. Activation of Aluminium Alloy Sacrificial Anodes by Selenium // *Corrosion Science*. – 2008. – Vol. 50. – P. 144–151.
13. Fan X., Qiao D., Wang T., Tang Z., Lu Y., Li T. Hydrogen generation performance of activated aluminum alloy powders prepared by ball milling // *Materials Chemistry and Physics*. – 2019. – Vol. 225. – P. 266–272.

14. Li J., Yang Y., Gao Y., Zhang Y., Zhao Y. Hydrogen production from Ga-In-Sn alloy and water reaction: experimental and theoretical insight // *Applied Surface Science*. – 2022. – Vol. 572. – Article 151383.
15. Сармурзина Р. Г., Бойко Г. И., Карабалин У. С., Тиесов Д. А., Любченко Н. П., Демеубаева Н. С. Термический анализ продуктов окисления активированного сплава алюминия RAU-85 в различных окислительных средах // *Нефть и газ*. – 2022. – № 2 (128). – С. 70–79.
16. Lu J., Yu W., Tan S., Wang L., Yang X., Liu J. Controlled hydrogen generation using interaction of artificial seawater with aluminum plates activated by liquid Ga-In alloy // *RSC Advances*. – 2017. – Vol. 7. – P. 30839–30844.
17. Zhang S., Zhang X., Li C., et al. Influence of pH on hydrogen generation by aluminum-based alloys // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2016. – Vol. 41, №16. – P. 6890–6896.
18. Махмутов А.А., Сабитов И.С., Ситдилов М.Ш. Исследование химического состава и коррозионной активности пластовых вод месторождений Татарстана // *Нефтехимия и нефть*. – 2019. – № 3. – С. 62–69.
19. Kim Y.J., Lee H., Choi B.C., et al. Effect of water composition on aluminum-based hydrogen generation reaction // *Metals and Materials International*. – 2020. – Vol. 26. – P. 925–933.
20. Lv Z., Chen D., Zhou W. Hydrogen production from activated aluminum and seawater reaction // *Energy*. – 2016. – Vol. 114. – P. 201–208.
21. Zhang D., Hu Y., Yuan Y. Experimental and DFT investigation on water splitting by Al-Ga-In-Sn alloys // *ChemPhysChem*. – 2022. – Vol. 23(3). – P. e202100773.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Маханов Эсет Саматұлы

6B07117- Химическая технология нефтегазохимической продукции

На тему «Оценка реакционной активности взаимодействия многокомпонентных сплавов, содержащих In, Ga, Sn с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения»

Дипломная работа Маханова Э.С. посвящена исследованию реакционной активности многокомпонентных сплавов алюминия с пластовой водой месторождения Каражанбас с целью определения возможности применения сплавов в нефтегазовой отрасли для повышения продуктивности нефтяных скважин. Задача работы заключалась в разработке оптимального состава многокомпонентного сплава алюминия, технологических режимов его изготовления, а также измерении тепло- и газовыделения при взаимодействии их с водными средами, в том числе с пластовой водой с различной минерализацией и pH. Особый интерес вызывает способность системы In-Ga-Sn существенно изменять реакционную способность алюминия при контакте с водными средами, что открывает новые возможности в энергетике и промышленных технологиях.

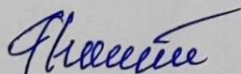
Маханов Э.С. провел обширный анализ научной литературы, патентов, проявил высокий уровень самостоятельности при постановке экспериментов и интерпретации полученных данных. В процессе выполнения работы получены новые сплавы алюминия, содержащие низкотемпературные металлы индий, галлий, олово с высокой реакционной активностью по отношению к водным средам и растворам соляной кислоты различной концентрации.

Работа отличается логичностью изложения, корректной обработкой результатов и обоснованными выводами. Маханов Э.С. продемонстрировал хорошие исследовательские навыки, внимательность к деталям и способность к критическому анализу. Полученные им результаты имеют научную и практическую ценность.

В соответствии с вышесказанным считаю, что Маханов Э.С. достоин оценки «отлично» - 95 баллов (А) и присуждения ему академической степени бакалавра по специальности 6B07117- Химическая технология нефтегазохимической продукции.

Научный руководитель

д-р хим.наук, профессор



Бойко Г. И.

«02» июня 2025г.

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу
(наименование вида работы)

Маханов Эсет Саматулы
(Ф.И.О. обучающегося)

6B07117 – Химическая технология нефтехимической продукции

(шифр и наименование ОП)

На тему: Оценка реакционной активности взаимодействия многокомпонентных сплавов, содержащих In, Ga, Sn с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения

Выполнено:

- а) графическая часть на _____ листах
б) пояснительная записка на _____ 30 _____ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена исследованию многокомпонентных сплавов на основе алюминия, олова, индия и галлия с перспективой использования в нефтедобывающей отрасли. Целью исследования является оценка реакционной активности взаимодействия данных многокомпонентных сплавов с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения.

Работа включает введение, три раздела и список использованной литературы. Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования.

В литературном обзоре представлен анализ существующих научных трудов по теме, отражены особенности активизирующих добавок и оптимального состава сплавов, описаны методы их получения и характеристики. Резюмировано, что данные сплавы обладают потенциалом применения в качестве генераторов водорода в автономных энергетических системах и экологически безопасных технологиях. Обоснован выбор направления дальнейших исследований. Вторая глава содержит описание материалов, методов и лабораторных экспериментов по синтезу многокомпонентных сплавов на основе лёгких и рассеянных металлов. Представлены методики оценки реакционной активности взаимодействия многокомпонентных сплавов с водными средами и пластовой водой месторождения Каражанбас. Иллюстративный материал (таблицы и рисунки) подтверждает достоверность полученных результатов и демонстрирует самостоятельность выполнения работы. В третьей главе представлены результаты и обсуждение взаимодействия синтезированных сплавов с водой и растворами кислот, определены параметры стабильных условий реакций, представлены зависимости реакционной способности от температуры, кислотности среды (pH), концентрации сплава, степени минерализации и состава ионов пластовой воды месторождения Каражанбас. Полученные данные подтверждены расчетами, графиками и таблицами. Выводы в дипломной работе аргументированы.

Оценка работы

Цель исследования достигнута. Содержание дипломной работы полностью соответствует заданию, все вопросы раскрыты последовательно, логично и в полном объеме.

Практическая ценность работы заключается в применении разработанных методов, способов и материалов к природной пластовой воде месторождения Каражанбас.

Автор продемонстрировал высокий уровень подготовки, умения в области научного поиска, проведения экспериментальных исследований и анализа результатов.

Замечание рецензента: в работе следовало бы более отчётливо выделить аспект её актуальности. Однако это не снижает её научной и практической значимости.

Закключение: Дипломная работа Маханова Э. С. соответствует установленным требованиям, выполнена на высоком уровне, заслуживает оценки «отлично (95%)» и рекомендуется к защите.

Рецензент

кандидат тех.наук. Атанова О.В.

(подпись)

Ф. И. О.

« »

2025 г.





Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Оценка реакционной активности взаимодействия многокомпонентных сплавов, содержащих In, Ga, Sn с пластовой водой методом измерения теплоты и газовыделения

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Маханов ЭсетГалина Бойко

Подразделение

ИГИНГД

Объем найденных подобиий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.

4.15%

4.15%

КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2

2.38%

2.38%

КП2

4582

Количество слов

0.33%

0.33%

КЦ

34499

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		22
Интервалы		0
Микропробелы		9
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		6

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	1768-Кеняйкин.docx 4/5/2023 Satbayev University (Служба поддержки публикационной активности и патентного дела)	43 0.94 %

2	1768-Кеняйкин.docx 4/5/2023 Satbayev University (Служба поддержки публикационной активности и патентного дела)	39 0.85 %												
3	https://official.satbayev.university/upload/base/research/ogb/2019/02/01/Dissertatsiya.pdf	27 0.59 %												
4	1768-Кеняйкин.docx 4/5/2023 Satbayev University (Служба поддержки публикационной активности и патентного дела)	24 0.52 %												
5	https://official.satbayev.university/upload/base/research/ogb/2019/02/01/Dissertatsiya.pdf	13 0.28 %												
6	http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2011/01/2011-01-05.pdf	11 0.24 %												
7	https://official.satbayev.university/upload/base/research/ogb/2019/02/01/Dissertatsiya.pdf	7 0.15 %												
8	https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-multimediynogo-posobiya-dlya-obucheniya-grammatike-angliyskogo-yazyka	6 0.13 %												
9	http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2011/01/2011-01-05.pdf	5 0.11 %												
10	https://official.satbayev.university/upload/base/research/ogb/2019/02/01/Dissertatsiya.pdf	5 0.11 %												
из базы данных RefBooks (0.00 %)														
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>НАЗВАНИЕ</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)									
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)												
из домашней базы данных (2.31 %)														
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>НАЗВАНИЕ</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> <tr> <td>1</td><td>1768-Кеняйкин.docx 4/5/2023 Satbayev University (Служба поддержки публикационной активности и патентного дела)</td><td>106 (3) 2.31 %</td></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	1	1768-Кеняйкин.docx 4/5/2023 Satbayev University (Служба поддержки публикационной активности и патентного дела)	106 (3) 2.31 %						
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)												
1	1768-Кеняйкин.docx 4/5/2023 Satbayev University (Служба поддержки публикационной активности и патентного дела)	106 (3) 2.31 %												
из программы обмена базами данных (0.00 %)														
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>НАЗВАНИЕ</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)									
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)												
из интернета (1.83 %)														
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>ИСТОЧНИК URL</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> <tr> <td>1</td><td>https://official.satbayev.university/upload/base/research/ogb/2019/02/01/Dissertatsiya.pdf</td><td>52 (4) 1.13 %</td></tr> <tr> <td>2</td><td>http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2011/01/2011-01-05.pdf</td><td>26 (4) 0.57 %</td></tr> <tr> <td>3</td><td>https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-multimediynogo-posobiya-dlya-obucheniya-grammatike-angliyskogo-yazyka</td><td>6 (1) 0.13 %</td></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	1	https://official.satbayev.university/upload/base/research/ogb/2019/02/01/Dissertatsiya.pdf	52 (4) 1.13 %	2	http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2011/01/2011-01-05.pdf	26 (4) 0.57 %	3	https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-multimediynogo-posobiya-dlya-obucheniya-grammatike-angliyskogo-yazyka	6 (1) 0.13 %
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)												
1	https://official.satbayev.university/upload/base/research/ogb/2019/02/01/Dissertatsiya.pdf	52 (4) 1.13 %												
2	http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2011/01/2011-01-05.pdf	26 (4) 0.57 %												
3	https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-multimediynogo-posobiya-dlya-obucheniya-grammatike-angliyskogo-yazyka	6 (1) 0.13 %												

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---