

УДК 622.5
МРНТИ 52.47.31

DOI: [10.54859/kjogi108896](https://doi.org/10.54859/kjogi108896)

Получена: 23.07.2025.
Одобрена: 11.12.2025.
Опубликована: 31.12.2025.

Оригинальное исследование

Рассмотрение применимости технологии улавливания CO₂ с последующей закачкой в пласт с целью захоронения на месторождениях АО НК «КазМунайГаз»

М.А. Нугиев, А.М. Есбатыр, А.К. Сейтов

КМГ Инжиниринг, Астана, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Изменение климата – одна из самых острых проблем современности, которая оказывает влияние на экосистемы, экономику и сообщества по всему миру. По мере того, как глобальная температура растёт, а погодные условия становятся все более непредсказуемыми, необходимость в решительных действиях по сокращению выбросов парниковых газов становится как никогда острой. И бизнес, и правительства признают важность перехода к низкоуглеродной экономике для обеспечения устойчивого развития и рационального использования природных ресурсов.

Цель. Целью данной работы является изучению возможности применения улавливания CO₂ с дальнейшей закачкой в пласт с целью захоронения.

Материалы и методы. В работе использованы материалы компании INPEX с учётом фактических результатов работ в Японии по улавливанию и захоронению CO₂. Проанализированы геолого-физические материалы по нефтегазовым месторождениям, расположенным территориально (в радиусе 100 км), вблизи рассматриваемой установки по комплексной подготовке газа на территории Атырауской области РК, с целью изучения технической осуществимости закачки CO₂. Выполнены расчеты в программном обеспечении UniSim Design, где смоделирован технологический процесс от забора дымовых газов до закачки уловленного CO₂ в пласт.

Результаты. Определены технологические возможности осуществления улавливания и дальнейшей закачки CO₂, выбран объект улавливания и объект захоронения CO₂.

Заключение. В целях закачивания и хранения выбрасываемого CO₂ произведён скрининг перспективных ловушек, расположенных непосредственно вблизи разрабатываемых месторождений КМГ. Оценивались регионы с наибольшими выбросами в радиусе 100 км от указанных источников выбросов. С целью проведения аналитических исследований по определению возможности улавливания и захоронения CO₂ в качестве объектов выбросов выбрана УКПГ на одном из месторождений КМГ в Западном Казахстане. На территории РК данная технология не применялась, поэтому использовался опыт работ, проведённых в других странах, показавший положительный эффект в данном направлении.

Ключевые слова: установка по комплексной подготовке газа, углеводородное сырьё, дымовые газы, улавливание и захоронение CO₂.

Как цитировать:

Нугиев М.А., Есбатыр А.М., Сейтов А.К. Рассмотрение применимости технологии улавливания CO₂ с последующей закачкой в пласт с целью захоронения на месторождениях АО НК «КазМунайГаз» // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Том 7, №4. С. 124–132. DOI: [10.54859/kjogi108896](https://doi.org/10.54859/kjogi108896).

UDC 622.5
CSCSTI 52.47.31

DOI: [10.54859/kjogi108896](https://doi.org/10.54859/kjogi108896)

Received: 23.07.2025.

Accepted: 11.12.2025.

Published: 31.12.2025.

Original article

Consideration of The Applicability of Co₂ Capture Technology with Subsequent Injection into The Formation for The Purpose of Burial at The Fields of NC KazMunayGas JSC

Maxat A. Nugiyev, Ardak M. Yesbatyr, Aidyngali K. Seitov

KMG Engineering, Astana, Kazakhstan

ABSTRACT

Background: Climate change is one of the most pressing global issues, affecting ecosystems, economies, and communities worldwide. As global temperatures rise and weather conditions become increasingly unpredictable, the need for decisive action to reduce greenhouse gas emissions is more urgent than ever. Both businesses and governments recognize the importance of transitioning to a low-carbon economy to ensure sustainable development and the rational use of natural resources.

Aim: The aim of this study is to examine the feasibility of applying CO₂ capture technology with subsequent injection into reservoirs for storage purposes

Materials and methods: Materials from INPEX were used, taking into account actual results of CO₂ capture and storage projects in Japan. Geological and physical data on oil and gas fields located within a 100 km radius of the gas processing facility in the Atyrau region of Kazakhstan were analyzed to assess the technical feasibility of CO₂ injection. Calculations were performed using UniSim Design software, where the technological process was modeled from flue gas intake to the injection of captured CO₂ into the reservoir

Results: The technological feasibility of CO₂ capture and subsequent injection was determined, and both the capture site and the storage reservoir were selected

Conclusion: Potential storage traps located near the developed fields of KMG were screened for CO₂ injection and storage. Regions with the highest emissions within a 100 km radius of the emission sources were evaluated. For analytical studies to determine the feasibility of CO₂ capture and storage, a gas processing facility at one of KMG's fields in Western Kazakhstan was chosen as the emission source. This technology has not previously been applied in Kazakhstan; therefore, experience from projects in other countries, which demonstrated positive outcomes, was used as a reference

Keywords: integrated gas treatment plant; hydrocarbon feedstock; flue gases; CO₂ capture and storage.

To cite this article:

Nugiyev MA, Yesbatyr AM, Seitov AK. Consideration of The Applicability of Co₂ Capture Technology with Subsequent Injection into The Formation for The Purpose of Burial at The Fields of NC KazMunayGas JSC. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2025;7(4):124–132. DOI: [10.54859/kjogi108896](https://doi.org/10.54859/kjogi108896).

ӨОЖ 622.5

ГТАХР 52.47.31

DOI: [10.54859/kjogi108896](https://doi.org/10.54859/kjogi108896)

Қабылданды: 23.07.2025.

Мақұлданды: 11.12.2025.

Жарияланды: 31.12.2025.

Түпнұсқа зерттеу

«ҚазМұнайГаз» ҰК» АҚ кен орындарында көму мақсатында кейіннен қабатқа айдау арқылы CO₂ сақтау технологиясын қолдану мүмкіндігін қарастыру

М.А. Нугиев, А.М. Есбатыр, А.Қ. Сейтов

ҚМГ Инжиниринг, Астана қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Климаттың өзгеруі-бүкіл әлемдегі экожүйелерге, экономикаға және қауымдастықтарға әсер ететін қазіргі заманның ең өзекті мәселелерінің бірі. Жаһандық температура көтеріліп, ауа-райының барған сайын құбылмалы болуы парниктік газдар шығарындыларын азайтуға бағытталған батыл әрекет ету қажеттілігі бұрынғыдан да өткір бола бастады. Бизнес те, үкімет те табиғи ресурстардың тұрақты дамуы мен ұтымды пайдаланылуын қамтамасыз ету үшін төмен көміртекті экономикаға көшудің маңыздылығын мойындайды.

Мақсаты. Бұл жұмыстың мақсаты- CO₂-ны көму мақсатында кейіннен қабатқа айдау арқылы оны сақтау технологиясын қолдану мүмкіндігін зерттеу.

Материалдар мен әдістер. Жұмыста Жапониядағы CO₂ жинау және көму жұмыстарының нақты нәтижелерін ескере отырып, INPEX компаниясының материалдары пайдаланылды. ҚР Атырау облысының аумағында газды көшенді дайындау жөніндегі қаралып отырған қондырғыға жақын аумақтық (100 км радиуста) орналасқан мұнай-газ кен орындары бойынша геологиялық-физикалық материалдар CO₂ айдаудың техникалық жүзеге асырылуын зерделеу мақсатында талданды. UniSim Design бағдарламалық жасақтамасында есептеулер жүргізілді, онда түтін газдарын алудан бастап, жинақталған CO₂ қабатқа айдауға дейінгі технологиялық процесс модельденген.

Нәтижелері. CO₂ ұстаудың және одан әрі айдаудың технологиялық мүмкіндіктері анықталды, CO₂ ұстау объектісі мен көму объектісі таңдалды.

Қорытынды. Шығарылатын CO₂ айдау және сақтау мақсатында ҚМГ игеріліп жатқан кен орындарының жанында орналасқан перспективалы тұзақтарға скрининг жүргізілді. Аталған шығарындылар көздерінен 100 км радиуста ең көп шығарындылары бар аймақтар бағаланды. CO₂-ны ұстау және көму мүмкіндігін анықтау бойынша талдамалық зерттеулер жүргізу мақсатында шығарындылар объектілері ретінде Батыс Қазақстандағы ҚМГ кен орындарының бірінде ГҚДҚ таңдалды. ҚР аумағында бұл технология қолданылмады, сондықтан осы бағытта оң нәтиже көрсеткен басқа елдерде жүргізілген жұмыс тәжірибесі пайдаланылды.

Негізгі сөздер: газды көшенді дайындау қондырғысы, көмірсутек шикізаты, түтін газдары, CO₂-ні бөліп алу және жер қойнауында сақтау.

Дәйексөз келтіру үшін:

Нугиев М.А., Есбатыр А.М., Сейтов А.Қ. «ҚазМұнайГаз» ҰК» АҚ кен орындарында көму мақсатында кейіннен қабатқа айдау арқылы CO₂ сақтау технологиясын қолдану мүмкіндігін қарастыру // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2025. 7 том, №4. 124–132 б.

DOI: [10.54859/kjogi108896](https://doi.org/10.54859/kjogi108896).

Введение

С начала промышленной революции в XVIII в. и по настоящее время концентрация парниковых газов (далее – ПГ) в атмосфере имеет тенденцию к постоянному росту. Известно, что наибольшее влияние на изменение климата оказывает выброс CO_2 , доля которого в общем объёме выбросов ПГ составляет 80%. CO_2 – продукт сгорания ископаемого топлива в процессах выработки электроэнергии, промышленной деятельности и транспорта.

Республика Казахстан (далее – РК) является стороной Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата¹ (далее – РКИК ООН). В рамках Парижского соглашения, направленного на снижение объёмов выброса парниковых газов², в 2016 г. Казахстан представил Секретариату РКИК ООН свой предполагаемый определяемый на национальном уровне вклад (далее – ОНУВ), вызвав готовность к 2030 г. сократить выбросы парниковых газов на 15% от уровня 1990 г., а при условии получения внешней помощи (в виде передачи новых технологий) и благоприятной экономической ситуации довести показатель до 25% [1].

В декабре 2020 г. на Саммите климатических амбиций президент Казахстана заявил, что страна обязуется достичь углеродной нейтральности к 2060 г. [2]. С учётом важности климатической повестки, поддерживая страновые цели по достижению углеродной нейтральности и снижению выбросов ПГ на 15% от уровня 1990 г., в АО НК «КазМунайГаз» (далее – КМГ) принята Программа низкоуглеродного развития до 2031 г.

Программа низкоуглеродного развития КМГ³ соответствует законодательству РК, Стратегии Казахстана по достижению углеродной нейтральности к 2060 г.⁴, Уставу КМГ⁵, Стратегии развития КМГ на 2022–2031 гг.⁶, а также Политике управления выбросами в группе КМГ⁷. Благодаря такому соответствию Программа является неотъемлемой частью корпоративного управления, систематически определяя направления деятельности КМГ в области сокращения выбросов.

Программа создаёт единую основу для климатической стратегии КМГ, обеспечивая чёткую и действенную дорожную карту по сокращению выбросов и переходу к низкоуглеродной экономике. Включив в свою стратегическую основу программу по снижению выбросов ПГ, КМГ стремится повысить свою инвестиционную привлекательность и конкурентоспособность, что особенно важно в условиях глобального энергетического перехода.

Материалы и методы

В ходе проведения работы использованы материалы по опыту компании INPEX (Япония), а также в области улавливания и дальнейшей закачки CO_2 в пласт [3]. В рамках изучения материалов и с целью ознакомления с опытом работы компании INPEX группа специалистов осуществила выезд на объект Томакомэй (Япония). В результате выезда на промышленный объект японской стороной продемонстрированы объекты улавливания CO_2 , нагнетательные скважины, куда происходит закачка уловленного газа, а также продемонстрированы и озвучены программы мониторинга захоронения CO_2 . С учётом полученных данных специалистами ТОО «КМГ Инжиниринг» (далее – КМГИ) проведена работа по планированию улавливания и захоронения CO_2 на одном из объектов КМГ.

В рамках проведённой аналитической работы рассмотрены различные подходы для последующей утилизации CO_2 . Проведён анализ источников выбросов CO_2 , одним из основных критериев которого был объём выбросов CO_2 в годовом эквиваленте 15–20 тыс. т. После определения крупных источников выбросов CO_2 проведён анализ источников месторождений группы компании КМГ, находящихся в непосредственной близости с крупными источниками выбросов.

С учётом фильтрационно-ёмкостных свойств, а именно: пористости и проницаемости пластов, наличия массивной флюидоупорной породы, способной противостоять распространению CO_2 по подземному резервуару, а также

¹ [РКИК ООН](#) – международное климатическое соглашение о совместной борьбе с последствиями опасного вмешательства человека в естественные природные системы, которое стало причиной глобального изменения климата. Вступило в силу 21.03.1994 г.

² [Парижское соглашение](#) – соглашение в рамках РКИК ООН, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г. Принято 12.12.2015 г., подписано 22.04.2016 г.

³ [Программа низкоуглеродного развития АО НК «КазМунайГаз» до 2060 г.](#) – стратегия, направленная на сокращение выбросов парниковых газов и переход к низкоуглеродной экономике, поддерживающая национальную цель РК по достижению углеродной нейтральности к 2060 г. Утверждена протоколом Совета директоров КМГ от 13.11.2024 г. за №23/2024.

⁴ [Стратегия Казахстана по достижению углеродной нейтральности к 2060 г.](#) предусматривает поэтапное снижение выбросов парниковых газов путем перехода на низкоуглеродную экономику. Утверждена Указом Президента РК от 02.02.2023 г. №121.

⁵ [Устав АО НК «КазМунайГаз»](#) утверждён решением Общего собрания акционеров АО НК «КазМунайГаз» от 30.05.2023 г.

⁶ [Стратегия развития АО НК «КазМунайГаз» на 2022–2031 гг.](#) ориентирована на устойчивое развитие с акцентом на низкоуглеродное развитие и ESG-принципы. Утверждена Советом директоров АО НК «КазМунайГаз» в ноябре 2021 г.

⁷ [Политика управления выбросами в группе компаний АО НК «КазМунайГаз»](#) утверждена решением Правления АО НК «КазМунайГаз» от 28.03.2019 г., протокол №15.

отсутствия в непосредственной близости источников пресной воды (во избежание риска нарушения работы источников подземного питьевого водоснабжения), следуя принципу технологической цепочки (улавливание, транспортировка, утилизация, мониторинг), в качестве объекта захоронения выбрано одно из месторождений в Западном Казахстане (далее – месторождение X), находящееся на расстоянии порядка 4 км от объекта улавливания, входящее в группу КМГ.

К настоящему времени в качестве основных вариантов хранилищ CO_2 рассматриваются пласты истощенных залежей углеводородного сырья (далее – УВС) и водоносные горизонты. Специалистами КМГИ в 2022–2024 гг. проведена работа, направленная на выявление и возможность улавливания CO_2 с последующей закачкой в пласт как с целью увеличения нефтеотдачи, так и с целью дальнейшей утилизации и захоронения углекислого газа в водоносные горизонты и истощенные пласты.

Хранение в пластах выработанных залежей месторождения X

Нефтяные залежи – по типу природного резервуара, пластовые, сводовые, тектонически и литологически экранированные. Границами нефтеносности для всех горизонтов являются контурные воды и тектонические нарушения.

Литологически продуктивные пласты представлены чередованием песчаников, глинистых алевролитов и аргиллитов. Коллекторами являются тонко- и мелкозернистые глинистые песчаники.

Начиная с 1995 г., на месторождении X реализуется утилизация попутно-добываемых вод в неокомские отложения в пределах горного отвода.

Учитывая критерии для захоронения CO_2 , структурный элемент в апт-неокомских отложениях был выбран как потенциальный пласт для геологического захоронения CO_2 . Отбор потенциальных горизонтов производился по нескольким критериям:

- отложения апт-неокомских горизонтов залегают на глубине 1400–1700 м;
- горизонты имеют выдержанное распространение в регионе;
- имеют конформное залегание и унаследованный характер от нижележащих триасовых и юрских горизонтов.

Наличие структурного замыкания восточного свода с отсутствием или низким влиянием разломов позволяет рассматривать данный участок для структурного удерживания CO_2 , а также провести количественную оценку объема закачиваемого газа. Глубины залегания аптского и неокомского горизонтов – 1390 и 1460 м соответственно.

Низкий потенциал регионального распространения и риски утечки CO_2 вследствие нарушения целостности имеющихся транзитных скважин являются ограничивающими факторами

при выборе истощенных месторождений УВС для закачки CO_2 . Основным недостатком этого варианта хранения CO_2 является ограниченное количество геологических данных, которое ведёт к большим геологическим неопределённостям. Может возникнуть необходимость проведения дополнительного детального геологического изучения потенциальных хранилищ.

Важно учесть, что как минеральное удержание, так и растворение CO_2 в поровых жидкостях считаются относительно незначительными в масштабах времени закачки (50 лет и более), поскольку кинетика этих процессов относительно медленная, поэтому они вряд ли сильно повлияют на объём емкости хранилища. Как правило, допускается, что в масштабах времени закачки CO_2 , удерживаемого в обычных породах-коллекторах, будет храниться либо в виде газа, либо в виде сверхкритической жидкости в заполненных жидкостью поровых пространствах между зёрнами, составляющими матрицу породы, и/или любых заполненных жидкостью трещинах. Более того, подавляющее количество CO_2 будет захвачено либо в структурных и/или стратиграфических ловушках, либо капиллярными силами в качестве остаточного насыщения. Многие оценки ёмкости хранилища CO_2 фокусируются на этих двух механизмах удержания на том основании, что неопределённости в оценке, вызванные другими факторами, намного больше, чем те, которые вызваны игнорированием растворения, минеральной реакции и адсорбции.

Отложения неокомского горизонта подразделяются на глинисто-карбонатно-песчанистую пачку готерива и преимущественно глинистую пачку баррема. Толщина варьируется в пределах от 398 до 512 м. Слагающие горизонт глины серовато-зелёные, кирпично-красные с неровным изломом, алевроитовые, редко слоистые, с тонкими прослоями светло-серого алевроита и чешуйками слюды по плоскостям наслоения, неизвестковистые. Пески и песчаники зеленовато-серые, мелкозернистые, слюдистые, карбонатно-глинистые.

В пределах рассматриваемого участка альб-сеноманский комплекс выступает в качестве буферного горизонта. Общая мощность альб-сеноманского комплекса на рассматриваемом участке довольно выдержана и составляет около 530–690 м.

Мощная карбонатная толща верхнего мела и глинисто-карбонатные образования палеогена надёжно изолируют пласты нижнего мела от грунтовых вод четвертичных отложений, а также поверхностных водоёмов и водотоков.

По результатам работ по мониторингу утилизации попутно-добываемых вод юрский резервуар не имеет существенной связи с выше-залегающими песчаниками неоккома. Он основан на отсутствии значительного изменения уровня жидкости в наблюдательных скважинах X1, X2, X3, которые закончены в юрских песчаниках.

Выбор объекта для улавливания CO₂

В качестве объекта улавливания рассмотрена установка по комплексной подготовке газа (далее – УКПГ) на выбранном месторождении X. Следующие параметры приняты в качестве исходных данных:

- объём выхлопных газов – 130 млн м³/г.;
- объём CO₂ в составе выхлопных газов – 11,7 млн м³/г.;
- вес CO₂ в составе выхлопных газов – 22500 т/сут;
- мольное содержание CO₂ в составе выхлопных газов – 10%моль.;
- давление выхлопных газов – 1–1,1 бар (абс.), 0–0,1 бар (изб.);
- температура выхлопных газов – 200–400°С;
- глубина нагнетательной скважины – 1450 м;
- пластовое давление – 145 бар;
- температура пласта – 45–60°С;
- расстояние от объекта улавливания до предполагаемого места бурения нагнетательной скважины – 5 км

Результаты

Используя данные, указанные выше, выполнены расчёты в программе (далее – ПО) UniSim Design, где смоделирован технологический процесс от забора дымовых газов до закачки уловленного CO₂ в пласт.

Дымовые газы в объёме 356164 м³/сут от семи газовых компрессоров рассматриваемой УКПГ (в среднем от одного компрессора дымовые газы составляют 50880 м³/сут) с температурой 200–400°С и давлением 0,1 бар (здесь и далее указано избыточное давление) по проектируемому стальному трубопроводу коллектору дымовых газов диаметром 1220 мм направляются на блок охлаждения дымовых газов.

Расстояние от точки забора дымовых газов до блока охлаждения дымовых газов принято ориентировочно 80 м. Охлаждение дымовых газов предусматривается снизить с 200–400°С до 40°С. Охлаждение по модели выполнено за счёт кожухотрубного теплообменника. В данной модели использован бифенил, но возможен вариант с использованием колонны с противотоком холодной воды или другой теплообменной жидкости.

Далее поток направляется на вход воздушной или вакуумного компрессора. Расстояние от блока охлаждения дымовых газов до воздушной или вакуумного компрессора принято ориентировочно 50 м. По результатам технологических расчётов определено, что давление на входе компрессора составит порядка 0,04 бар. Увеличение давления дымовых газов предусмотрено от 0,04 до 0,45 бар. Решение об использовании воздушной или вакуумного компрессора необходимо принять на этапе детального проектирования при подборе оборудования совместно с заводами-изготовителями.

Далее поток направляется на установку аминной очистки с целью улавливания CO₂ из потока дымовых газов. Аминная установка с использованием метилдиэтанолamina (далее – МДЭА) для улавливания CO₂ – это одна из технологий химической абсорбции, которая используется для извлечения CO₂ из дымовых газов. МДЭА отличается высокой избирательностью и термической устойчивостью, что делает его особенно популярным в таких процессах. Газовый поток (дымовые газы) контактирует с раствором МДЭА в абсорбционной колонне. CO₂ связывается с МДЭА. С верхней части колонны абсорбера дымовые газы удаляются на свечу рассейвания. С нижней части колонны абсорбера уловленный CO₂ с аминовым раствором направляется на колонну десорбера для регенерации аминового раствора. Насыщенный раствор CO₂ нагревается в десорбционной колонне. Высокая температура высвобождает CO₂, а МДЭА возвращается в цикл для повторного использования.

Состав раствора МДЭА для улавливания CO₂:

- МДЭА является основным активным компонентом, связывающим CO₂ (в модели принято 11,7%моль.);
- вода служит растворителем для МДЭА и обеспечивает необходимую текучесть раствора (в модели принято 86,4%моль.);
- пиперазин (активатор) улучшает эффективность поглощения, особенно при низких парциальных давлениях CO₂ (в модели принято 1,8%моль.).

После колонны десорбера поток CO₂ и воды при температуре 104°С в паровой фазе направляется на блок охлаждения типа АВО (аппарат воздушного охлаждения), где температура потока снижается до 35–40°С. После охлаждения поток направляется на вертикальный сепаратор для отделения свободной и капельной воды от газового потока CO₂. Давление CO₂ в этой точке составит 0,15 бар.

Далее влажный поток CO₂ направляется на блок осушки – адсорбер. На данном блоке выполняется осушка потока CO₂ от влаги, что позволит снизить коррозионную активность потока CO₂. Однако на данный момент отсутствует информация об уровне осушки CO₂ и его дальнейшей коррозионной активности на практике. В связи с этим, несмотря на осушку CO₂ от влаги, далее все трубопроводы и оборудование предусматриваются также коррозионно-стойкого исполнения по всему проекту в целом. Давление CO₂ в этой точке составит 0,1 бар.

Далее после блока осушки CO₂ от влаги предусмотрен вакуумный компрессор на давление на выходе 25 бар. После этого поток CO₂ направляется на основной дожимной нагнетательный компрессор. Давление после нагнетательного компрессора составит 80 бар.

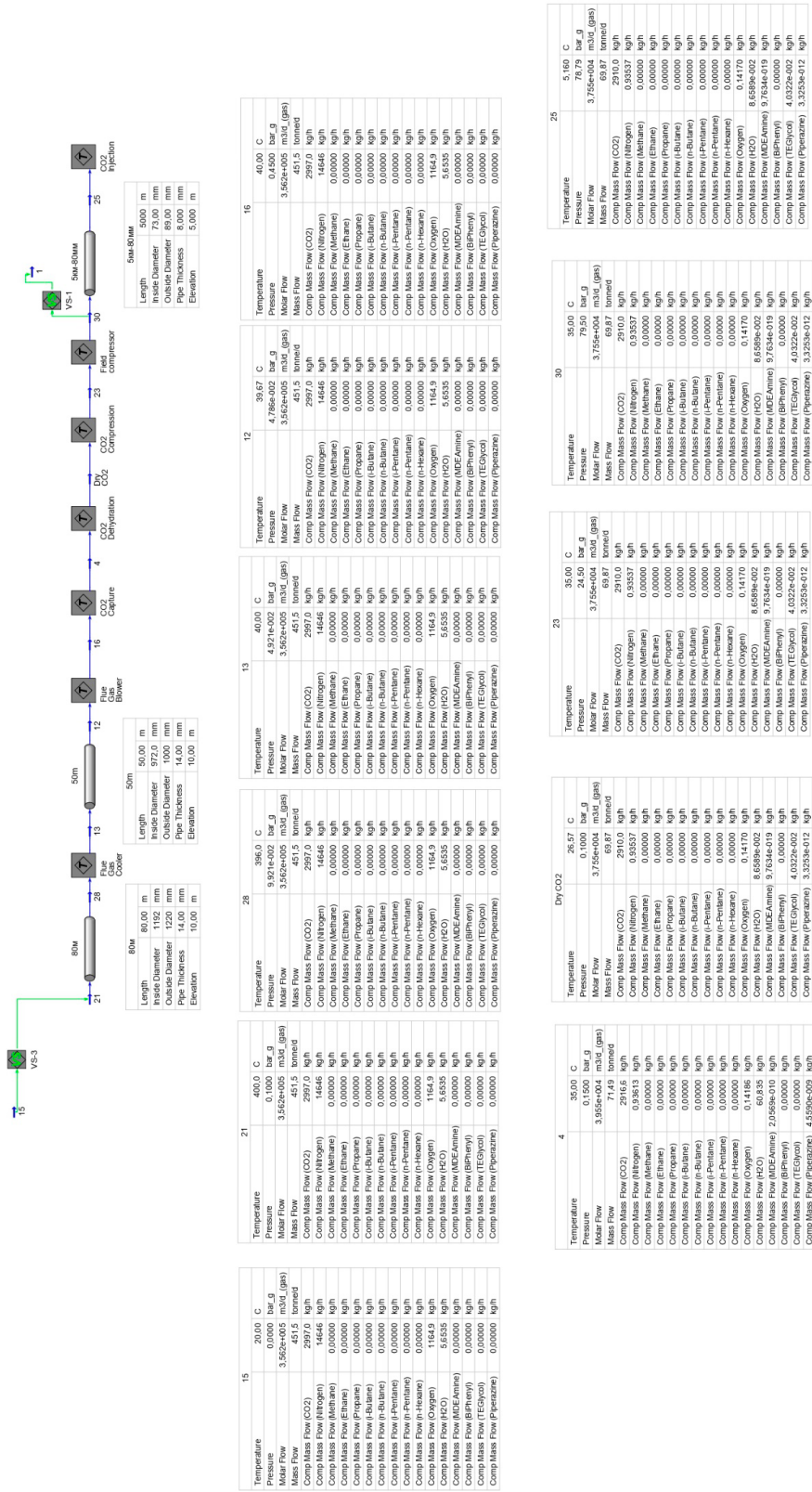


Рисунок 1. Базовая схема системы сбора дымовых газов, улавливания CO₂ и его закачки в пласт
Figure 1. Basic scheme of the flue gas collection, CO₂ capture, and injection into the reservoir system

Далее поток CO_2 транспортируется по нагнетательному стальному подземному трубопроводу диаметром 80 мм до нагнетательной скважины на расстояние порядка 5 км. Наиболее оптимально расположить нагнетательный компрессор рядом с объектами улавливания CO_2 . Это позволяет запитать оборудование от более мощных источников электроснабжения, а также использовать общую операторную для всего комплекса оборудования. Основное преимущество в том, что CO_2 по мере транспортировки до скважины остынет, т.к. отдаст свою температуру в грунт. Снижение температуры приведёт к тому, что CO_2 , который в начале трубопровода был в газовой фазе, к концу трубопровода перейдёт в жидкую фазу. Давление в конце трубопровода составит 78,7 бар, температура 5°C.

Таким образом, в ПО UniSim Design были смоделированы технологические процессы до устья нагнетательной скважины. Поскольку ПО UniSim Design не специализируется на расчётах по нагнетательным скважинам, далее расчёты по технологическим параметрам потока CO_2 в скважине были выполнены в ПО Pipesim.

Расчётами в ПО Pipesim подтверждено, что при давлении на устье нагнетательной скважины 78,7 бар и с учётом насосно-компрессорных труб с наружным диаметром 48 мм и толщиной стенки 4 мм (внутренний диаметр 40,3 мм) давление на забое составит 145 бар. Таким образом, определены технологические параметры и затрачиваемая энергия по проекту.

Обсуждение

Выполнен полный цикл технологических расчётов, при этом имеются технологические вопросы по SO_2 и NO_x , которые образуются в дымовом газе вместе с CO_2 , требующие отдельного

рассмотрения совместно с заводами-изготовителями на последующих этапах проектирования.

На рис. 1 приведена базовая схема сбора дымовых газов, улавливания CO_2 и дальнейшей закачки в пласт с целью захоронения, построенная в ПО Unisim Design специалистами КМГИ.

Заключение

В целях закачивания и хранения выбрасываемого CO_2 произведён скрининг перспективных ловушек, расположенных непосредственно вблизи разрабатываемых месторождений КМГ. Оценивались регионы с наибольшими выбросами в радиусе 100 км от указанных источников выбросов. С целью проведения аналитических исследований по определению возможности улавливания и захоронения CO_2 в качестве объектов выбросов выбрана УКПГ на одном из месторождений КМГ в Западном Казахстане.

Итогом проведённого исследования является выбор участка для закачки и захоронения объёма уловленного CO_2 с рассмотрением технической осуществимости улавливания газа и дальнейшей транспортировки до места закачки.

На территории РК данная технология не применялась, поэтому использовался опыт работ, проведённых в других странах, показавший положительный эффект в данном направлении.

Решение о дальнейшем применении данной технологии будет приниматься на основе экономических факторов, поскольку на территории РК данная технология планируется к осуществлению впервые, рассмотренные материалы исполнения оборудования, которые планируются использовать в рамках пилотного проекта, не производятся на территории РК, в связи с чем возникает вопрос оптимизации затрат при осуществлении закачки CO_2 .

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Нугиев М.А. – анализ и подбор опытного участка, сбор данных и анализ опубликованных технических материалов, проведение встреч и обсуждений с лицензиарами технологии по закачке CO_2 ; Есбатыр А.М. – осуществление гидравлических расчётов по процессу улавливания и транспортировки CO_2 , анализ возможных

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The authors declare that they received no external funding for this study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Maxat A. Nugiyev – analysis and selection of a pilot site, data collection and analysis of published technical materials, meetings and discussions with licensors of CO_2 injection technology; Ardak M. Yesbatyr – implementation of hydraulic calculations for the CO_2 capture and transportation process, analysis of possible complications during injection; Aidynkali K. Seitov – selection of materials and well design for CO_2 injection.

осложнений в процессе закачки; Сейтов А.К. – подбор материалов и конструкции скважины для закачки CO₂.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. blogs.worldbank.org [интернет]. Блоги Всемирного Банка. От Парижа до Глазго и далее: на пути к обеспечению углеродной нейтральности Казахстана к 2060 году [дата обращения 21.06.2025]. Доступ по ссылке: blogs.worldbank.org/ru/europeandcentralasia/paris-glasgow-and-beyond-towards-kazakhstans-carbon-neutrality-2060.
2. undp.org [интернет]. ПРООН. Видение Казахстана по достижению углеродной нейтральности представлено на встрече высокого уровня в г. Нур-Султан [дата обращения 21.06.2025]. Доступ по ссылке: undp.org/ru/kazakhstan/news/videnie-kazakhstana-po-dostizheniyu-uglerodnoy-neytralnosti-predstavleno-na-vstreche-vysokogo-urovnya-v-g-nur-sultan.
3. asahi.com [интернет]. Три компании планируют транспортировать CO₂ по дну моря в борьбе с глобальным потеплением [дата обращения 21.06.2025]. Доступ по ссылке: asahi.com/ajw/articles/16006421.
4. desmog.com [интернет]. Япония и крупные нефтяные компании рекламируют проект CCS в Томакомае как флагман будущего энергетики Азии [дата обращения 21.06.2025]. Доступ по ссылке: desmog.com/2024/06/13/japan-oil-majors-tout-tomakomai-project-as-flagship-of-asias-carbon-capture-storage-energy-future/.

REFERENCES

1. blogs.worldbank.org [Internet]. World Bank Blogs. From Paris to Glasgow and beyond: Towards Kazakhstan's carbon neutrality by 2060 [cited 21 Jun 2025]. Available from: blogs.worldbank.org/ru/europeandcentralasia/paris-glasgow-and-beyond-towards-kazakhstans-carbon-neutrality-2060.
2. undp.org [Internet]. UNDP. Kazakhstan's vision to achieve carbon neutrality presented at high-level conference in Nur-Sultan [cited 21 Jun 2025]. Available from: undp.org/ru/kazakhstan/news/videnie-kazakhstana-po-dostizheniyu-uglerodnoy-neytralnosti-predstavleno-na-vstreche-vysokogo-urovnya-v-g-nur-sultan.
3. asahi.com [Internet]. 3 firms plan to pipe CO₂ under the sea in global warming fight [cited 21 Jun 2025]. Available from: asahi.com/ajw/articles/16006421.
4. desmog.com [Internet]. Japan, Oil Majors Tout CCS Tomakomai Project as Flagship of Asia's Energy Future [cited 21 Jun 2025]. Available from: desmog.com/2024/06/13/japan-oil-majors-tout-tomakomai-project-as-flagship-of-asias-carbon-capture-storage-energy-future/.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

***Нугиев Максат Амангельдыевич**
ORCID 0009-0007-2553-8746
e-mail: m.nugiyev@kmge.kz.
Есбатыр Ардақ Мұратұлы
ORCID 0009-0008-4778-0530
e-mail: a.yesbatyr@kmge.kz.
Сейтов Айдынгали Кабдығалиевич
канд. техн. наук, PhD
ORCID 0009-0008-6302-5500
e-mail: a.seitov@kmge.kz.

AUTHORS' INFO

***Maxat A. Nugiyev**
ORCID 0009-0007-2553-8746
e-mail: m.nugiyev@kmge.kz.
Ardak M. Yesbatyr
ORCID 0009-0008-4778-0530
e-mail: a.yesbatyr@kmge.kz.
Aidyngali K. Seitov
Cand. Sc. (Engineering), PhD
ORCID 0009-0008-6302-5500
e-mail: a.seitov@kmge.kz.

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding Author