

УДК 622.276  
МРНТИ 29.17.01

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108640>

Получена: 13.04.2023.

Одобрена: 07.12.2023.

Опубликована: 30.12.2023.

## Оригинальное исследование

### Увеличение эффективности применения бактерицида на НСМ-4 АО «Озенмунайгаз»

Н.К. Альжанов, С.К. Беркуталиева, М.Т. Тлешев

*КМГ Инжиниринг, Астана, Казахстан*

#### АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Исследование посвящено повышению эффективности бактерицидной обработки отложений на месторождениях АО «Озенмунайгаз». Проведены расчеты по оценке возможности подогрева пласта и трубопровода, гидравлических теплопотерь при закачке бактерицида, эффективности смешивания реагента с водой. Анализ выявил неэффективность смешивания бактерицида с водой при низких температурах и скоростях введения ингибитора.

**Цель.** Цель исследования заключалась в выявлении решений для преодоления проблем, вызванных повышенным содержанием сероводорода на месторождениях АО «Озенмунайгаз». Это включало в себя решение проблем с температурой при подаче бактерицида и увеличением скорости введения ингибитора.

**Материалы и методы.** Были проведены расчеты теплопотерь с использованием программы UniSim как для нагрева резервуара, так и для линий ввода, а также анализ перемешивания бактерицида внутри трубопровода с использованием программы ANSYS.

**Результаты.** Результаты исследования привели к конкретным рекомендациям и мерам, которые могли бы смягчить проблемы, связанные с температурой и скоростью введения. Среди них были такие меры, как нагрев и изоляция, контроль температуры, регулярный осмотр теплоизоляции и выбор нового реагента с улучшенными свойствами перемешивания при более низких температурах. Также рекомендована установка датчиков потока и температуры реагента вместе с контролем питания.

**Заключение.** Внедрение предложенных мер позволит эффективно решить проблемы, связанные с повышенным содержанием сероводорода. Такой подход обеспечит плавный и безопасный поток бактерицида и поможет поддерживать эффективность работы соответствующих объектов.

**Ключевые слова:** *смешиваемость бактерицида, сероводород, подбор реагента, теплоизоляция резервуара.*

#### Как цитировать:

Альжанов Н.К., Беркуталиева С.К., Тлешев М.Т. Увеличение эффективности применения бактерицида на НСМ-4 АО «Озенмунайгаз» // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2023. Том 5, №4. С. 60–73. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108640>.

UDC 622.276  
CSCSTI 29.17.01

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108640>

Received: 13.04.2023.

Accepted: 07.12.2023.

Published: 30.12.2023.

## Original article

### Increasing the efficiency of the bactericide use at PS-4 of "Ozenmunaigas" JSC

Nursultan K. Alzhanov, Sandugash K. Berkutaliyeva, Maxat T. Tleshev

KMG Engineering, Astana, Kazakhstan

#### ABSTRACT

**Background:** The study is devoted to increasing the efficiency of bactericidal treatment of sediments at the oil fields of Ozenmunaigas JSC. Calculations were carried out to assess the capability of heating the formation and the pipeline, hydraulic heat loss when injecting a bactericide, and the efficiency of mixing the reagent with water. The analysis revealed the ineffectiveness of mixing the bactericide with water at low temperatures and rates of inhibitor introduction.

**Aim:** The purpose of the study was to identify solutions to overcome the problems caused by the increased content of hydrogen sulfide in the fields of Ozenmunaigas JSC. This included addressing the temperature issues during bactericide delivery and increasing the rate of inhibitor injection.

**Materials and methods:** Heat loss calculations were carried out using the UniSim program for both tank heating and input lines, as well as an analysis of bactericide mixing inside the pipeline using the ANSYS program.

**Results:** The results of the study led to specific recommendations and measures that could mitigate the problems associated with temperature and rate of injection. These included measures such as heating and insulation, temperature control, regular inspection of thermal insulation, and selection of a new reagent with improved mixing properties at lower temperatures. It is also recommended to install reagent flow and temperature sensors along with power supply control.

**Conclusion:** The implementation of the proposed measures will effectively solve the problems associated with high levels of hydrogen sulfide. This approach will ensure a smooth and safe flow of bactericide and help maintain the operating efficiency of the affected facilities.

**Keywords:** *bactericide miscibility, hydrogen sulfide, selection of reagent, thermal insulation of the tank.*

#### To cite this article:

Alzhanov NK, Berkutaliyeva SK., Tleshev MT Increasing the efficiency of the bactericide use at PS-4 of "Ozenmunaigas" JSC. *Kazakhstan journal for oil & gas industry.* 2023;5(4):60–73.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108640>.

ӘОЖ 622.276  
ГТАХР 29.17.01

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108640>

Қабылданды: 13.04.2023.

Мақұлданды: 07.12.2023.

Жарияланды: 30.12.2023.

## Түпнұсқа зерттеу

### «Өзенмұнайгаз» АҚ НСМ-4-те бактерицидті пайдаланудың тиімділігін арттыру

Н.Қ. Әлжанов, С.Қ. Бүркітәлиева, М.Т. Тлешев

ҚМГ Инжиниринг, Астана қаласы, Қазақстан

#### АННОТАЦИЯ

**Негіздеу.** Зерттеу «Өзенмұнайгаз» АҚ кен орындарында бактерицидтік өңдеудің тиімділігін арттыруға арналған. Қабатты және құбырды жылыту мүмкіндігін, бактерицидті айдау кезіндегі гидравликалық жылуды жоғалтуды және реагентті сумен араластыру тиімділігін бағалау үшін есептеулер жүргізілді. Талдау төмен температураларда және ингибиторды енгізу жылдамдығында бактерицидті сумен араластырудың тиімсіздігі анықтады.

**Мақсаты.** Зерттеудің мақсаты «Өзенмұнайгаз» АҚ кен орындарында күкіртті сутегі деңгейінің жоғарылауынан туындаған мәселелерді шешу жолдарын анықтау болды. Бұған бактерицидті жеткізу кезінде температура мәселелерін шешу және ингибиторды енгізу жылдамдығын арттыру кіреді.

**Материалдар мен әдістер.** Резервуарды қыздыру үшін де, енгізу желілері үшін де UniSim бағдарламасын қолдана отырып, жылу шығынын есептеу және ANSYS бағдарламасын қолдана отырып, құбыр ішіндегі бактерицидті араластыру талдауы жүргізілді.

**Нәтижелері.** Зерттеу нәтижелері температура мен енгізу жылдамдығына байланысты мәселелерді жеңілдететін нақты ұсыныстар мен шараларға әкелді. Оларға жылыту және оқшаулау, температураны бақылау, жылу оқшаулауды жүйелі түрде тексеру және төменгі температурада жақсартылған араластыру қасиеттері бар жаңа реагент таңдау сияқты шаралар кірді. Және де қуатты бақылаумен бірге реагент ағыны мен температура сенсорларын орнату ұсынылды.

**Қорытынды.** Ұсынылған шараларды енгізу күкіртсутектің жоғарылауымен байланысты мәселелерді тиімді шешуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл бактерицидтің біркелкі және қауіпсіз ағынын қамтамасыз етеді және тиісті нысандардың жұмыс тиімділігін сақтауға көмектеседі.

**Негізгі сөздер:** бактерицидтің араласуы, күкіртсутек, реагент таңдау, резервуардың жылу оқшаулауы.

#### Дәйексөз келтіру үшін:

Әлжанов Н.Қ., Бүркітәлиева С.Қ., Тлешев М.Т. «Өзенмұнайгаз» АҚ НСМ-4-те бактерицидті пайдаланудың тиімділігін арттыру // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2023. 5 том, №4, 60–73 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108640>.

**Введение**

В данном исследовании рассматривается вопрос повышения эффективности бактерицидной обработки отложений на месторождениях АО «Озенмунайгаз» (далее – ОМГ), с фокусом на технической инспекции объекта НСМ-4 и узла закачки реагента, проведенной в ноябре – декабре 2020 г. Эти мероприятия были выполнены при участии Филиала ТОО «КМГ Инжиниринг» (далее – КМГИ) «КазНИПИмунайгаз» (далее – КазНИПИ), а также специалистов Управления подготовки нефти и производственного обслуживания (далее – УПНиПО) и Управления химизации и экологии ОМГ. В ходе исследования проведены расчеты теплопотерь, анализ смешивания бактерицида с водой и выявлены проблемы, связанные с температурой и скоростью введения ингибитора [1].

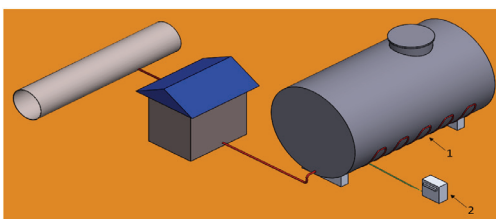
По результатам выполненных исследований определено следующее:

- при температуре бактерицида -15°C и морской воды +4°C – плохая смешиваемость;
- при температуре бактерицида +4°C и морской воды +4°C – хорошая смешиваемость;
- при температуре бактерицида +20°C и морской воды +4°C – хорошая смешиваемость.

Таким образом, можно говорить о нижней допустимой границе температуры +4°C, после достижения которой будет обеспечиваться эффективное смешивание бактерицида с морской водой.

Несколько исследований дают ценную информацию при решении проблем микробной коррозии в нефтегазовой промышленности. Чжан и др. исследуют потенциал экстрактов шелухи хурмы в качестве экологически чистых ингибиторов коррозии и бактерицидов, показывая их эффективность в подавлении бактериальной активности микроорганизмов нефтяных месторождений [2]. Конг и др. уделяют особое внимание применимости бактерицидов, подчеркивая важность выбора подходящих соединений, таких как фталоцианин меди, для предотвращения микробной коррозии в бетонных конструкциях [3]. Эльгинди и др. изучили динамику бактерий, устойчивых к ионам меди, подчеркнув значение содержания влаги, состава медного сплава и питательной среды для влияния на выживаемость бактерий на медных поверхностях [4]. Кроме того, Самедов и др. исследовали ингибирующее и бактерицидное действие природных нафтенатов на коррозию стали в морской воде, подчеркивая потенциал этих соединений в защите как от электрохимической, так и от микробной коррозии [5].

Эти исследования в совокупности способствуют пониманию различных стратегий и материалов для повышения эффективности бактерицидов.



**Рисунок 1. Схема системы обогрева резервуара в НСМ-4**

**Figure 1. Diagram of the tank heating system in PS-4**

1 – нагревательные секции / heating sections, 2 – шкаф управления системой обогрева / heating system control cabinet

Результаты лабораторных исследований были применены в исследовательской работе КМГИ для анализа различных вариантов обогрева системы закачки бактерицида, моделирования потока бактерицида и смешиваемости реагента с морской водой.

**Методология**

Система закачки бактерицида состоит из резервуара для хранения бактерицида (без обогрева, но с теплоизоляцией), трубопровода размером Ду = 25 мм (без теплоизоляции) длиной около 5 м от резервуара до насоса, электронасоса 630/40 (подача 630 л/ч и давление 40 кгс/см<sup>2</sup>), трубопровода размером Ду = 25 мм (без теплоизоляции) длиной около 5 м от насоса до клапана Ду = 150 мм и от клапана до точки врезки.

В рамках исследования были проведены следующие работы:

- расчет тепловых потерь потока бактерицида в случае обогрева резервуара по программе UniSim;
- расчет тепловых потерь потока бактерицида в случае обогрева линий закачки с помощью программы UniSim;
- анализ смешивания бактерицида внутри водовода с помощью программы ANSYS.

**Расчет тепловых потерь потока бактерицида в случае обогрева резервуара**

В данном варианте рассматривается возможность установки и монтажа обогревающего оборудования внешней стенки резервуара с помощью греющих кабелей.

Особенности тепловой системы включают в себя определение общего количества нагревательных секций, длины каждой секции, шага укладки и высоты установки нагревательного кабеля в сотрудничестве с потенциальным поставщиком. Рекомендуется установка нагревательных секций только

в нижней части резервуара, обеспечивая тем самым обогрев только половины резервуара и значительно сокращая время монтажа и технического обслуживания.

Шкаф управления тепловой системой гарантирует автоматическое поддержание заданной температуры +5°C, обеспечивая дополнительную экономию электроэнергии. В нем предусмотрены автоматический и ручной режимы работы тепловой системы.

Нагревательный кабель, шкаф управления и система заземления разрабатываются и поставляются поставщиком. Система включает в себя следующие элементы:

- саморегулирующийся нагревательный кабель RGS30-2CR (30 Вт/м), Samreg 40-2CR (40 Вт/м) или их аналоги;
- коробка силовая (используется для подключения секций нагревательного кабеля);
- коробка контрольная (для подключения датчика температуры);

- система крепления нагревательного кабеля на внешней стенке резервуара (обеспечивает надежную фиксацию);

- шкаф управления системой электрообогрева (играет ключевую роль в обеспечении автоматического контроля и управления температурой, обеспечивая эффективную работу системы).

В данном анализе рассмотрена возможность увеличения температуры бактерицида для повышения эффективности его смешивания с морской водой в водоводе. Моделирование проведено с помощью программы UniSim, позволяющей производить подбор нефтегазового оборудования и симулирования.

В расчёте было рассмотрено консервативное допущение, когда в практически пустой резервуар заливают реагент, который хранился на открытом воздухе, т.е. температура реагента равна температуре окружающей среды.

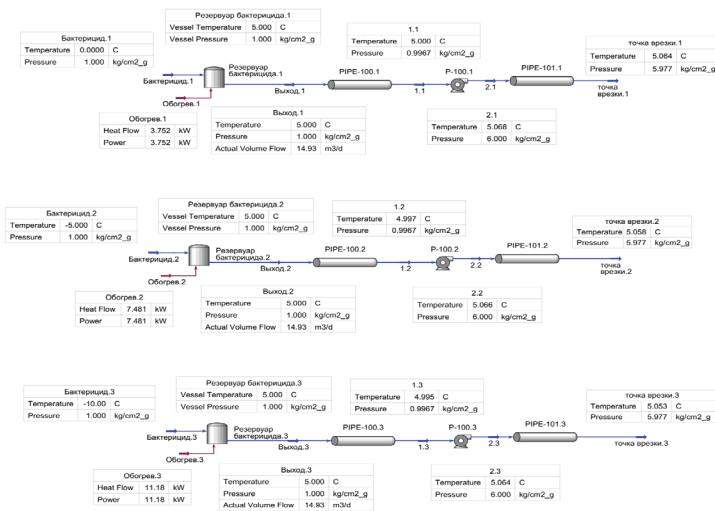


Рисунок 2. Расчет обогрева резервуара и тепловых потерь при температурах окружающей среды 0°C, -5°C, -10°C  
Figure 2. Calculation of tank heating and heat losses at ambient temperatures of 0°C, -5°C, -10°C

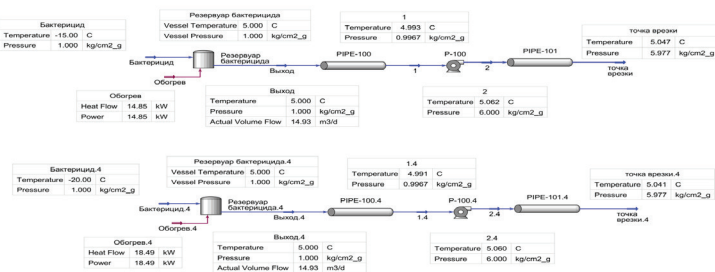


Рисунок 3. Расчет обогрева резервуара и тепловых потерь при температурах окружающей среды -15°C и -20°C  
Figure 3. Calculation of tank heating and heat losses at ambient temperatures of -15°C and -20°C

Ниже рассмотрены несколько вариантов температур бактерицида в резервуаре (0°C, -5°C, -10°C, -15°C, -20°C).

В расчёте было принято условие, что вся линия заправки бактерицида от резервуара до точки врезки в морской водовод покрыты теплоизоляцией.

В результате расчёта при пополнении резервуара бактерицидом с температурой 0°C необходимо прогреть резервуар до температуры +5°C, что позволяет в дальнейшем достичь водовода с температурой свыше +4°C и эффективно смешивать бактерицид с морской водой согласно исследованиям КазНИПИ.

Мощность для обогрева резервуара напрямую зависит от температуры окружающей среды. Например, для достижения температуры +5°C требуется 3,752 кВт. Эффективность обогрева изменяется в зависимости от температурных условий, как указано ниже:

- при температуре окружающей среды -5°C – 7,481 кВт (рис. 2);
- при температуре окружающей среды -10°C – 11,18 кВт (рис. 2).
- при температуре окружающей среды -15°C – 14,85 кВт (рис. 3);
- при температуре окружающей среды -20°C – 18,49 кВт (рис. 3).

Таким образом, изменение внешних температурных условий непосредственно влияет на требуемую мощность для обогрева резервуара.

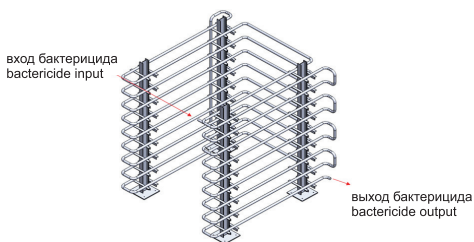
**Расчет тепловых потерь потока бактерицида в случае обогрева линий заправки**

В данном варианте предлагается разработать и установить нагревательный модуль (тэн), выполненный в виде змеевика, по которому проходит бактерицид. Внешние стенки змеевика оборудованы саморегулирующим нагревательным кабелем для резкого нагрева проточного бактерицида.

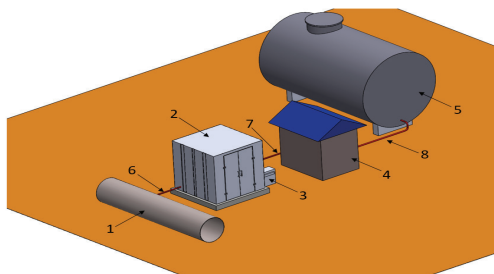
Нагревательный блок предлагается установить после насоса для обеспечения циркуляции через змеевик до точки врезки в морской водовод (рис. 4).

Для подачи реагента достаточными условиями являются давление 6 кгс/см<sup>2</sup> дозирования насоса марки 630/40-K13B и номинальная мощность греющего кабеля 65 Вт/м. Потеря давления в нагревательном блоке для консервативного расчета принята как 0,5 бар.

Нагревательный блок выполнен из змеевика, греющего кабеля, которые размещены внутри контейнера, утепленного теплоизоляцией. Контейнер установлен на бетонный фундамент, как это показано на рис. 5.



**Рисунок 4. Нагревательный блок размером 2 x 2 м**  
**Figure 4. Heating block with a size of 2 x 2 m**



**Рисунок 5. Схема системы обогрева резервуара в HCM-4**  
**Figure 5. Diagram of the tank heating system in PS-4**

- 1 – водовод / water conduit; 2 – нагревательный блок / heating block; 3 – шкаф управления системой обогрева / heating system control cabinet; 4 – насосная станция / pumping station; 5 – резервуар с бактерицидом / tank with bactericide; 6 – патрубок Ду = 10 мм / pipe DN = 10 mm; 7 – патрубок Ду = 25 мм / pipe DN = 25 mm; 8 – патрубок Ду = 25 мм / pipe DN = 25 mm

Змеевик, или трубный пучок, – это труба, которая может иметь различный диаметр, где внутри циркулирует теплоноситель – бактерицид. Змеевик должен быть из коррозионностойкого материального исполнения, например, из аустенитной нержавеющей стали ASTM 304 или 316. Внешние стенки труб обмотаны по окружности нагревательным кабелем. Для исключения электрохимической и гальванической коррозии контакты между нержавеющей и углеродистыми сталями должны быть исключены. Для этого следует использовать хомуты, изготовленные из нержавеющей стали.

Греющие кабели в основном используются для поддержания температуры в трубопроводах, а также для нагрева.

Данные кабели обеспечивают поддержание температуры до 65°C. Кабели имеют внешнюю оболочку из фторполимера,



Таблица 1. Требуемая расчетная длина кабеля для разных условий  
Table 1. Required estimated cable length for different conditions

Температура, °C Temperature, °C	Мощность, кВт Power, kW	Номинальная мощность кабеля Cable power rating			
		16 Вт/м 16 W/m	25 Вт/м 25 W/m	47 Вт/м 47 W/m	65 Вт/м 65 W/m
0	3,695	230,9375	147,8	78,61702	56,84615
-5	7,423	463,9375	296,92	157,9362	114,2
-10	11,13	695,625	445,2	236,8085	171,2308
-15	14,8	925	592	314,8936	227,6923
-20	18,44	1152,5	737,6	392,3404	283,6923

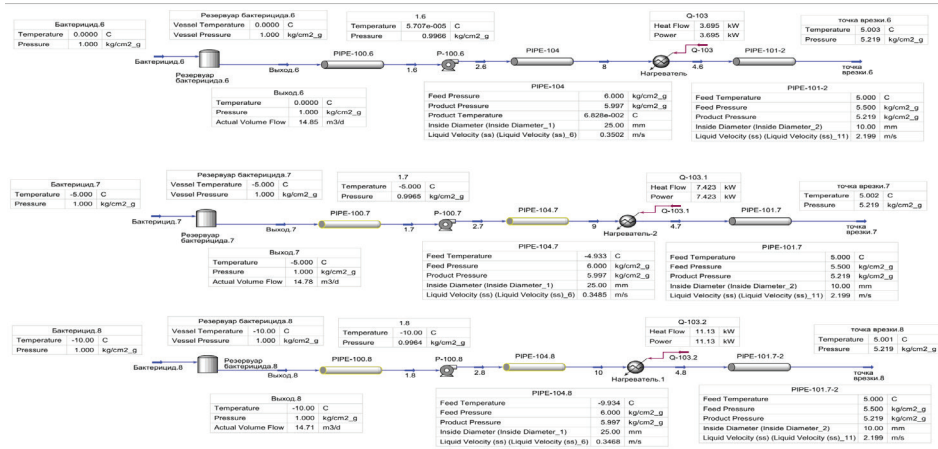


Рисунок 6. Расчет обогрева линий заправки бактерицида и тепловых потерь при температурах окружающей среды 0°C, -5°C, -10°C  
Figure 6. Calculation of heating of bactericide injection lines and heat losses at ambient temperatures of 0°C, -5°C, -10°C

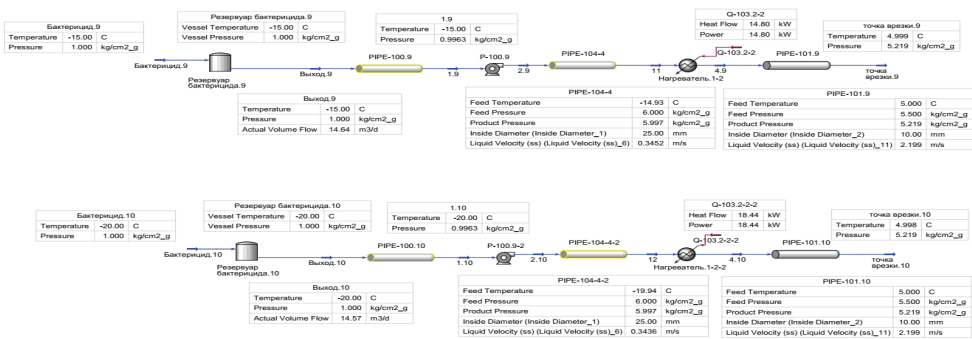


Рисунок 7. Расчет обогрева линий заправки бактерицида и тепловых потерь при температурах окружающей среды -15°C и -20°C  
Figure 7. Calculation of heating of bactericide injection lines and heat losses at ambient temperatures of -15°C and -20°C

обеспечивающего высокую стойкость к агрессивным органическим химическим веществам и коррозии.

В зависимости от мощности потребляемой электроэнергии (рис. 2 и 3) и номинальной мощности кабеля можно рассчитать длину кабеля.

В табл. 1 показан расчёт максимальной необходимой длины кабеля, который нужен для обогрева линий заправки бактерицида.

Оператор добычи принимает решение о применении системы подогрева, функционирующей при окружающей температуре 0°C. Для обеспечения такой работы необходим блок мощностью 3,695 кВт и кабель с номинальной мощностью 65 Вт/м. Необходимо определить длину кабеля, рассчитав отношение 3,695 кВт к 65 Вт/м, что составляет 57 м. Таким образом, требуется установить длину кабеля не менее 57 м. Возникает вопрос о возможности достижения протекающим охлажденным бактерицидом температуры +4°C и выше на выходе из системы подогрева.

Ниже рассмотрены несколько вариантов температур бактерицида в резервуаре (0°C, -5°C, -10°C, -15°C, -20°C).

В анализе используется электрообогрев линий подачи реагента нагревательным блоком.

В расчете было принято условие, что вся линия закачки бактерицида от резервуара до точки врезки в морской водовод покрыты теплоизоляцией, кроме змеевика.

В результате расчёта при пополнении резервуара бактерицидом с температурой 0°C необходимо прогреть линию закачки до температуры +5°C, чтобы в дальнейшем достичь водовода с температурой свыше +4°C и эффективно смешивать бактерицид с морской водой, согласно исследованиям КазНИПИ.

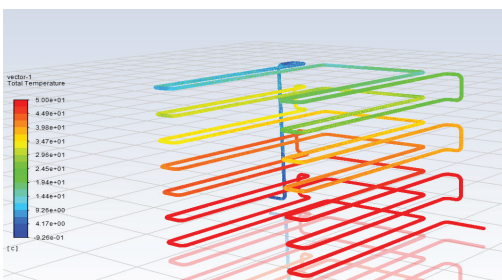
Необходимая мощность для обогрева линий закачки зависит от температуры окружающей среды, причем чем ниже температура, тем выше требуемая мощность.

Список компонентов:

- при температуре окружающей среды (бактерицида) -5°C: 7,423 кВт (рис. 6);
- при температуре окружающей среды (бактерицида) -10°C: 11,13 кВт (рис. 6);
- при температуре окружающей среды (бактерицида) -15°C: 14,8 кВт (рис. 7);
- при температуре окружающей среды (бактерицида) -20°C: 18,44 кВт (рис. 7);
- при увеличении температуры обогрева резервуара до +5°C: 3,695 кВт (рис. 6).

**Анализ нагревательного блока**

Для проведения анализа необходимо знать скорость потока и температуру на входе в нагревательный блок. Согласно гидравлическому расчету (рис. 6 и 7), скорость потока до входа в нагреватель составляет 0,35 м/с. Температура потока может варьироваться от 0°C до -20°C. С использованием программы ANSYS был проведен тепловой анализ, где на змеевик подается температура +50°C (максимальная +65°C). Необходимо рассчитать температуру потока на выходе из змеевика при заданной скорости потока и температуре.



**Рисунок 8. Расчет обогрева линий закачки бактерицида при температуре на входе 0°C**  
**Figure 8. Calculation of heating of bactericide injection lines at an inlet temperature of 0°C**

В результате анализа получаем на выходе температуру нагретого бактерицида до +50°C (выделено красным) при условии, что температура бактерицида на входе составляет 0°C, а скорость потока – 0,35 м/с. Как видно из рис. 8, уже на первом витке температура поднимается до +10°C (выделено светло-синим цветом).

Также с помощью программы ANSYS был сделан расчет потери скорости потока жидкости в змеевике при заданных температурах (0°C – бактерицид, +50°C – змеевик). Результаты показали, что скорость потока на выходе из змеевика составила 0,33 м/с, (потеря 0,02 м/с), увеличение скорости потока – 0,5 м/с в местах соединения труб, после поток замедляется до 0,33 м/с.

С использованием программы ANSYS был проведен анализ на прочность опорной колонны, учитывая полное заполнение змеевика жидкостью. Расчет, выполненный по критерию напряжения фон Мизеса, показал, что максимальная нагрузка не превышает 7 МПа. Напряжение фон Мизеса как индикатор текучести или разрушения материала особенно ценно для пластичных материалов, таких как металлы. Согласно этому критерию, материал считается текучим, если напряжение фон Мизеса при нагрузке равно или превышает предел текучести при простом растяжении.

Используемый материал для опорной стойки – сталь с пределом прочности 235 и 295 МПа соответственно. Таким образом, коэффициенты запаса прочности составили 34 (235 / 7) и 42 (295 / 7). Эти значения свидетельствуют о высоком запасе прочности материала, делая его пригодным для использования в нагревательном блоке.

Также проведен анализ деформации опорной стойки, который показал минимальные изменения, настолько малые, что их можно исключить из расчетов. В итоге опорная колонна и уголки продемонстрировали высокий уровень безопасности и подтвердили свою пригодность для применения в нагревательном блоке.



**Анализ смешивания бактерицида внутри водовода**

Для моделирования физического процесса смешивания бактерицида и морской воды использовалась программа ANSYS Fluent. Эта программа способна проводить моделирование смешивания и передачи химических веществ, решая уравнения сохранения, которые описывают конвекцию, диффузию и источники реакций для каждого компонента.

Для расчёта были приняты консервативные результаты, когда температура в резервуаре была не менее +4°C.

Граница жидкости делится на следующие области для задания граничных условий: вход морской воды (A1), вход бактерицида (A2), выход (B), как показано на рис. 9.

По данным участка УПНиПО, диаметр морского трубопровода составляет 720 мм (Du = 700 мм). Согласно расчету с помощью программы PipeSim, скорость морской воды при данном Du составляет 1,4 м/с. Также в симуляции принят во внимание диаметр врезки Du = 150 мм, который значительно сокращает скорость потока из-за от перехода между трубами разного диаметра (с 25 на 150 мм).

В качестве входных данных для симуляции потока бактерицида были приняты значения, указанные в табл. 2.

В контексте гидродинамики термин «условия прилипания» означает предположение, что жидкость, непосредственно контактирующая с твердой границей, имеет одинаковую скорость с границей. Это означает, что жидкость не испытывает проскальзывания по твердой поверхности, имеет прилипание к поверхности и отражает её скорость.

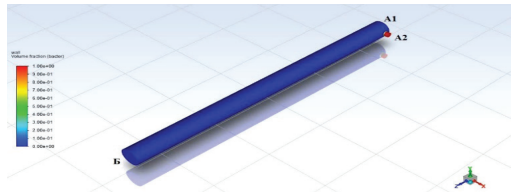
Очень важно подчеркнуть основные предположения, которые учитывались в ходе моделирования. В 3D анализе были учтены гравитационные силы -9,87 м/с<sup>2</sup> по оси Y, влияющие на динамику изменяющегося потока. Однако в 2D анализе гравитационные силы не учитывались из-за специфической конфигурации вставки труб. Чтобы упростить задачу, было проведено моделирование на основе скорости потока. Исследование потока воды в трубе проводилось как в 2D, так и в 3D, что привело к исключению анализа потока под давлением. Анализ включал воспроизведение характеристик жидкостей, в частности, морской воды с бактерицидом путём определения их вязкости и плотности при заданной температуре (табл. 2).

Данная работа заключается в смешивании и растворении бактерицида в морской воде, где коэффициент диффузии был принят  $1,5 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с. Физически коэффициент диф-

**Таблица 2. Входные данные ANSYS Fluent**  
**Table 2. ANSYS Fluent Input Data**

Параметр Parameter	Значение Value
Скорость потока на входе: морская вода (A1), м/с Inlet flow velocity: sea water m/s.	1,4
Скорость потока на входе: бактерицид (A2) (врезка размером Ду = 150 мм), м/с Inlet flow rate: bactericide (A2) (tie-in with a size DN = 150 mm), m/s	0,009
Плотность бактерицида, кг/м <sup>3</sup> Bactericide density, kg/m <sup>3</sup>	960
Вязкость бактерицида Bactericide viscosity	0,07
Температура*, °C Temperature*, °C	4°C
Платформа Platform	Fluent, Steady
Модель турбулентности Turbulence model	k- $\omega$ , shear stress transport
Интенсивность турбулентности, % Turbulence intensity, %	5
Количество итераций Number of iterations	500

\*см. табл. 1 / See table 1



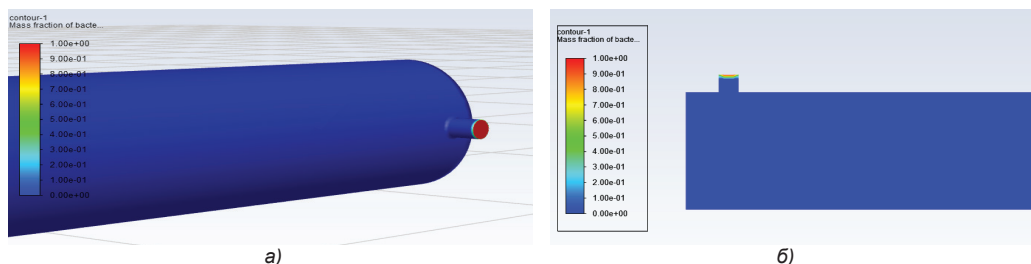
**Рисунок 9. 3D модель HCM-4**  
**Figure 9. PS-4 3D model**

фузии означает, что масса вещества диффундирует через единицу поверхности за единицу времени при градиенте концентрации, равном единице.

Анализ был проведен на основании скорости потоков (transient velocity based). Согласно результатам, в трубе наблюдается растворение бактерицида при различной скорости потока. Для понимания данных на рис. 10 указана разноцветная шкала массовой доли бактерицида в морской воде, выраженная в концентрации.

На рис. 10 данные проведенной симуляции показывают, что с учетом значительной разницы в скоростях потока между бактерицидом и потоком в основной трубе с морской водой, поток бактерицида будет остановлен при его входе в основную трубу.

По шкале массовой доли бактерицида в морской воде можно увидеть, что концентрация бактерицида будет составлять 0%.



**Рисунок 10. 3D модель HCM-4**  
**Figure 10. PS-4 3D model**

а) изометрический вид / isometric view; б) вид сверху / view from above

Вход на HCM-4		
Расход воды	2213,5	м3/ч
Давление	0,751	кгс/см2
Перепад давления	0,293	кгс/см2
Расход воды за час	2193,7	м3
Расход воды за 2 часа	4343,3	м3
Давление на выходе	0,7	кгс/см2

**Рисунок 11. Данные по HCM-4**  
**Figure 11. Data for PS-4**

Поскольку на практике цистерна с раствором бактерицида опустошается, соответственно, бактерицид попадает в трубу, но не смешивается. Чтобы это доказать, была проведена 2D симуляция на основании давлений в каждой трубе (рис. 11.)

На рис. 12 наблюдается поток бактерицида (обозначен красным цветом), который не проходит через основной поток, а лишь течёт по краю, соприкасаясь с трубой.

Был проведён параметрический анализ подбора размеров патрубка с разными диаметрами отверстий по течению морской воды и против течения. В итоге получены следующие результаты:

1. Смешиваемость бактерицида зависит от скорости струй, закачиваемых в водовод. При низких значениях скорости потока бактерицида происходит смачивание внутренних стенок трубы водовода, как показано на рис. 12. Если применять удлиненный патрубок внутри водовода, то струя бактерицида уносится потоком без какого-либо смешивания с морской водой. При установке отверстий напротив течения потока морской воды происходит повышение давления около форсунок, таким образом, снижается скорость струй бактерицида. Эффективность смешивания значительно падает.

2. Смешиваемость бактерицида зависит от диаметра отверстия форсунок внутри водовода: чем больше диаметр, тем лучше происходит смешивание бактерицида с морской водой.

3. Вихревой поток тоже влияет на смешиваемость: всё зависит от рас-

положения патрубка в пространстве трубы водовода, геометрической формы форсунки или патрубка, который обтекает морская вода, создавая вихревые потоки.

Таким образом, уменьшили диаметр трубы врезки со 150 мм на 10 мм для увеличения скорости потока с 0,009 на 2,2 м/с (рис. 6 и 7).

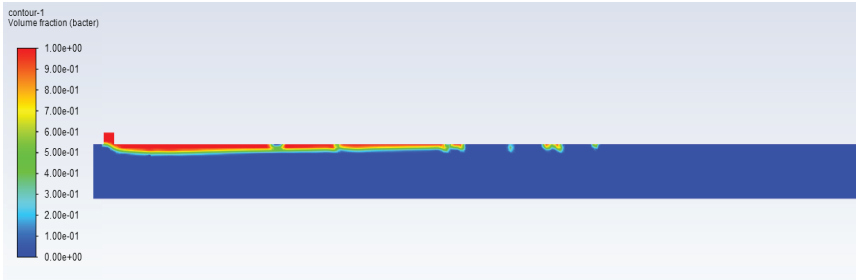
Предложили использовать только одно отверстие, чтобы сохранить скорость потока. Форсунку выполнили в виде короткого патрубка с изгибом 90°, которое переходит из патрубков размером 10 мм и на конусное сечение размером 30 мм в самом конце.

На рис. 12 показан отдельный анализ изменения скорости потока внутри патрубка. Как видно, вначале скорость потока равна 2,2 м/с, которая увеличивается до 2,65 м/с на участке изгиба, и далее поток течёт со скоростью 2,4 м/с. На выходе из конусной части скорость потока снизилась до 1,86 м/с при диаметре отверстия Ду = 30 мм. Этой скорости будет достаточно, чтобы обеспечить смешиваемость.

Диаметр отверстия форсунки (конуса) был специально увеличен, т.к. позволяет усилить эффективность смешивания, при этом потери скорости потока будут незначительными.

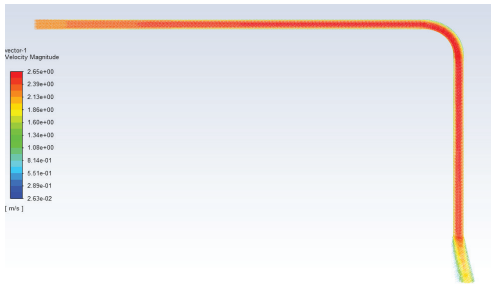
Внешне патрубок расположен в пространстве так, чтобы инжектируемый реагент вначале поступал в нижнюю часть трубы, далее постепенно уносился потоком и поднимался вверх из-за плотности реагента меньшей, чем у морской воды. Конусный наконечник патрубка установлен поперечно потоку морской воды. Форма конусного наконечника патрубка позволяет создавать некоторую микротурбулентность, или завихрение, потока, позволяющее увеличить процент смешивания (рис. 15).

Также предлагается использовать защитный кожух в виде трубы размером 150 мм, выполненной из углеродистой стали. Применение стального кожуха позволит минимизировать риски обрушения патрубка, т.к. все нагрузки от проточной воды будут приниматься кожухом. Это позволит использовать одно и тоже отверстие, сделанное



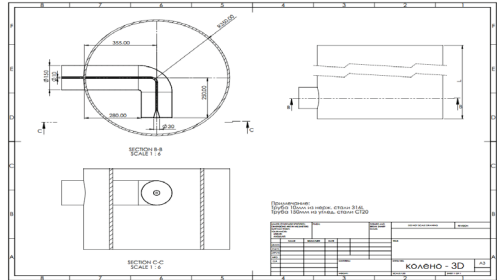
**Рисунок 12. Вид сверху. Результаты гидродинамического анализа объемной доли бактерицида (красный) на основании давления**

**Figure 12. View from above. Results of hydrodynamic analysis of bactericide volume fraction (red) based on pressure**



**Рисунок 13. Вид сбоку. Скорость потока в патрубке**

**Figure 13. Side view. Flow rate in the pup-joint**



**Рисунок 14. 3D расположение патрубка в водоводе**

**Figure 14. Location of the pup-joint in the water conduit 3D model**

ранее. Размер кожуха позволяет увеличить завихрение и смешиваемость потока.

Нижняя часть кожуха герметично закрыта и приварена к конусу патрубка, как показано на рис. 13. Следует учитывать, что патрубок выполнен из нержавеющей стали марки 316L, а кожух из углеродистой. Это может привести к гальванической коррозии и осложнениям при сварке. Для того, чтобы сварить заготовки из нержавеющей стали и чёрных стальных сплавов, получить при этом качественные и надежные соединения, применяют сварку следующих типов:

- покрытыми штучными электродами в режиме ручной электродуговой сварки;
- электродами, изготовленными из вольфрама, не способными к расплавлению;
- в среде защитного газа, в качестве которого преимущественно используется аргон.

Если сварка изделий из чёрного металла и нержавеющей стали проводится ручной электродуговой сваркой, то рекомендуется использовать электроды, специально предназначенные для выполнения соединений цветных металлов и сплавов, как показано в табл. 3.

В анализе смешивания бактерицида с морской водой учитывалось одно допущение,

необходимое для того, чтобы сократить время расчета на компьютере (в силу ограниченности возможности компьютера):

1. Вначале был произведён расчет скорости закачки патрубка.
2. В пространстве водовода, на том месте, где находится конусный наконечник патрубка, был приложен поток со скоростью струй, рассчитанной ранее.

Результаты расчета смешивания показаны на рис. 15 и 16.

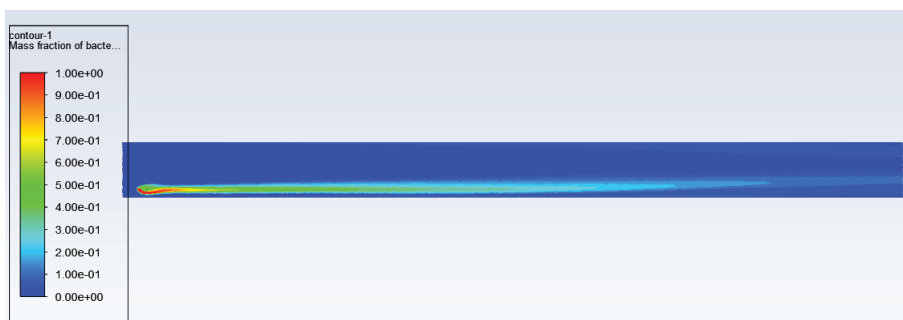
Результаты анализа зависят от правильно подобранного коэффициента диффузии бактерицида в морской воде.

### Заключение

Анализ существующей системы показал неэффективность смешивания бактерицида с водой при низкой температуре среды и скорости ввода ингибитора. Согласно рекомендациям по улучшению эффективности бактерицидной обработки месторождений ОМГ проведена работа по расчету возможности обогрева резервуара и трубопровода, гидравлического расчёта теплотерь при закачке бактерицида, а также эффективности смешивания реагента с водой.

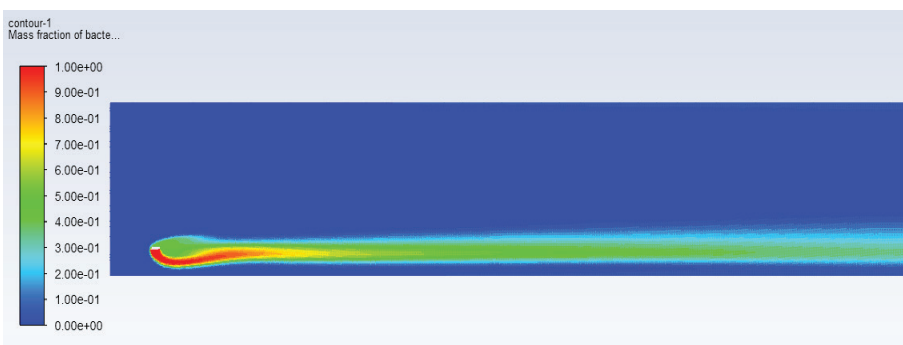
**Таблица 3. Выбор электрода**  
**Table 3. Electrode selection**

Марка электрода Electrode classification	Тип электрода Electrode type	Материал стержня электрода Electrode rod material	Коэффициент наплавки, г/А.ч Deposition rate factor, g/Ah	Применение Use
ОЗЛ-22	Э-02Х21 Н10Г2	СВ-01Х-18Н10	12–14	Сварка конструкций из стали Х8Н10, Х18Н12 Welding of structures made of steel Х8Н10, Х18Н12
ОЗЛ-7	Э-08Х20 Н9Г2Б	Св-01 Х19Н9	11,5–12	Сварка хромоникелевой стали, когда к металлу шва предъявляются жесткие требования против межкристаллической коррозии Welding chromium-nickel steel, when stringent requirements are imposed on the weld metal against intercrystalline corrosion
ЦЛ-11	Э-08Х20 Н9Г2Б	Св-07Х19-Н10Б	1–12	Сварка хромоникелевой стали, когда к металлу шва предъявляются жесткие требования против межкристаллической коррозии Welding chromium-nickel steel, when stringent requirements are imposed on the weld metal against intercrystalline corrosion
НИАТ-1	Э-08Х17 Н8М2	Св-04 Х19Н9	10–11	Сварка конструкций из хромоникелевой и хромоникелемолибденовой стали, наиболее пригоден для сварки тонколистной металла Welding of structures made of chromium-nickel and chromium-nickel-molybdenum steel, most suitable for welding thin-sheet metal



**Рисунок 15. Вид сбоку. Массовая доля смешивания бактерицида с морской водой на уровне 60% и длина смешивания 12 м**

**Figure 15. Side view. The mass fraction of mixing the bactericide with sea water is 60% and the mixing length is 12 m**



**Рисунок 16. Вид сбоку. Массовая доля смешивания бактерицида с морской водой**

**Figure 16. Side view. Mass fraction of mixing bactericide with sea water**

## 1. Обогрев Резервуара.

### *Преимущества:*

- поддержание и равномерное распределение заданной температуры по всему резервуару;
- подогрев только нижней части резервуара для экономии энергии и снижения монтажных работ;
- возможность увеличения температуры жидкости на 5°C;
- равномерная и относительно низкая энергетическая нагрузка на сеть;
- экономия энергии за счет эффекта саморегулирования;
- легкость монтажа;
- возможность монтажа во внешней стенке резервуара без слива реагента;
- существующая теплоизоляция резервуара.

### *Недостатки:*

- долгое время нагрева при пополнении резервуара;
- необходимость полной и качественной теплоизоляции резервуара и трубопровода.

### *Рекомендуется:*

- мониторинг температуры внутри резервуара для регулирования мощности обогрева;
- регулярная инспекция теплоизоляции резервуара и трубопровода;
- подбор нового реагента с возможностью смешивания при более низких температурах.

## 2. Обогрев линий закачки реагента.

### *Преимущества:*

- подогрев только перед входом в водовод, обеспечивая быстрый и простой монтаж;
- возможность подогрева жидкости до необходимой температуры;
- не требует полной замены теплоизоляции резервуара;

## 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 следующий образом: Альжанов Н.К. – сбор, анализ, проведение исследования, написание

- стандартное изготовление для разных диапазонов температур.

### *Недостатки:*

- высокая моментальная нагрузка на источник энергии;
- необходимость регулярного контроля расхода потока и температуры.

### *Рекомендуется отработать:*

- изготовление прототипа для опытно-промышленных испытаний;
- регулярный контроль расхода потока и температуры;
- подготовка места для установки нагревательного блока.

## 3. Смешивание бактерицида и морской воды.

### *Выводы:*

- для эффективного смешивания бактерицида при температуре выше +4°C рекомендуется увеличить скорость потока и диаметр входной трубы;
- заменить патрубок и клапан размером 150 мм на меньший диаметр не более 10 мм на врезке подачи ингибитора в водовод для обеспечения высокой скорости ввода ингибитора;
- использование стального кожуха для защиты закачивающего патрубка.

### *Рекомендуется:*

- мониторинг температуры и регулирование мощности обогрева;
- в точке ввода реагента следует использовать патрубок со стальным кожухом. Особое внимание следует обратить на сварочные работы и проконтролировать их выполнение на соответствие стандартам качества;
- регулярный контроль теплоизоляции резервуара и трубопровода;
- подбор нового реагента для смешивания при более низких температурах.

рукописи, интерпретация данных исследования, проверка результатов, Беркуталиева С.К. – анализ, проведение исследования, написание рукописи, Тлешев М.Т. – концепция исследования, интерпретация данных исследования, редактирование рукописи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**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: Nursultan K. Alzhanov – collection, analysis, conduct of the research, writing the manuscript; Maxat T. Tleshev – concept of the research, interpretation of research data, editing of the manuscript.  
data, verification of results; Sandugash K. Berkutaliyeva – analysis, conduct of the research,

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иманбаев Б.А., Жапаров Н.С., Максұт Д.М., Утепов М.С.* Методы применения бактерицидов для борьбы с биогенным сероводородом на месторождении Узень и Карамандыбас // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2021. Т. 3, №4. С. 77–90. doi: 10.54859/kjogi99709.
2. *Zhang J., Song Y., Su H., et al.* Investigation of DiospyrosKaki Lf husk extracts as corrosion inhibitors and bactericide in oil field // *Chemistry Central Journal*. 2013. Vol. 7, N 1. P. 1–6.
3. *Kong L., Zhang B., Fang J.* Study on the applicability of bactericides to prevent concrete microbial corrosion // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 149. P. 1–8.
4. *Elguindi J., Moffitt S., Hasman H., et al.* Metallic copper corrosion rates, moisture content, and growth medium influence survival of copper ion-resistant bacteria // *Applied microbiology and biotechnology*. 2011. Vol. 89. P. 1963–1970.
5. *Samedov A.M., Alieva L.I., Abbasov V.M.* Inhibitive and bactericidal effects of natural naphthenates on steel corrosion in sea water // *Protection of metals*. 2008. Vol. 44, N 4. P. 397–401.

### REFERENCES

1. Imanbayev BA, Zhaparov NS, Maksut DM, Uteпов MS. Methods of combating biogenic hydrogen sulfur at the Uzen and Karamandibas oilfield. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2021;3(4):77–90. doi: 10.54859/kjogi99709.
2. Zhang J, Song Y, Su H, et al. Investigation of DiospyrosKaki Lf husk extracts as corrosion inhibitors and bactericide in oil field. *Chemistry Central Journal*. 2013;7(1):1–6.
3. Kong L, Zhang B, Fang J. Study on the applicability of bactericides to prevent concrete microbial corrosion. *Construction and Building Materials*. 2017;149:1–8.
4. Elguindi J, Moffitt S, Hasman H, et al. Metallic copper corrosion rates, moisture content, and growth medium influence survival of copper ion-resistant bacteria. *Applied microbiology and biotechnology*. 2011;89:1963–1970.
5. Samedov AM, Alieva LI, Abbasov VM. Inhibitive and bactericidal effects of natural naphthenates on steel corrosion in sea water. *Protection of metals*. 2008;44(4):397–401.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**\*Альжанов Нурсултан Коныспаевич**  
e-mail: [n.alzhanov@kmge.kz](mailto:n.alzhanov@kmge.kz).  
**Беркуталиева Сандугаш Куттыбаевна**  
e-mail: [s.berkutaliyeva@kmge.kz](mailto:s.berkutaliyeva@kmge.kz).  
**Тлешев Максат Тлешевич**  
e-mail: [m.tleshev@kmge.kz](mailto:m.tleshev@kmge.kz).

### AUTHORS' INFO

**\*Nursultan K. Alzhanov**  
e-mail: [n.alzhanov@kmge.kz](mailto:n.alzhanov@kmge.kz).  
**Sandugash K. Berkutaliyeva**  
e-mail: [s.berkutaliyeva@kmge.kz](mailto:s.berkutaliyeva@kmge.kz).  
**Maxat T. Tleshev**  
e-mail: [m.tleshev@kmge.kz](mailto:m.tleshev@kmge.kz).

\*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author