

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКЛАДИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ОТХОДОВ МНОГОТОННАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ENVIRONMENTALLY SAFE TECHNOLOGY FOR STORAGE OF LIQUID WASTES OF MULTI-TONNEL PRODUCTION

А. Ф. Аржанов
Andrey F. Arjanov

Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Mechanical Engineering Research
Institute of the Russian
Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

Ю. С. Кузнецов
Yuriy S. Kuznetsov

Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Mechanical Engineering Research
Institute of the Russian
Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

А. Р. Хафизов
Airat R. Khafizov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Б.Ю. Чапля
Bogdan Yu. Chaplia

Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Mechanical Engineering Research
Institute of the Russian
Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

А.П. Шульгина
Anna P. Shulgina

Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Mechanical Engineering Research
Institute of the Russian
Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

В статье приведены способ и особенности создания изоляционных экранов в целях исключения возможной миграции опасных компонентов жидких отходов в верхние, пригодные к хозяйственному использованию водоносные горизонты, а также способ создания участков раздельного складирования разных по химическому составу жидких отходов.

Предложена схема создания изолирующих экранов для глубинного складирования жидких отходов. Определена конструктивная особенность расположения специальных скважин.

Рассмотрены две буферные жидкости — 3 %-ый водный раствор NaOSiO_2 , 0,05 %-ый раствор полиакриламида в 50 %-ом водном растворе CaCl_2 , которые при контакте образуют твердеющее, нерастворимое, высоковязкое вещество (изолирующий экран).

Определен оптимальный способ бурения и крепления специальных скважин. Обоснован выбор поливинилхлоридных труб на этапе строительства обсадной колонны. Подобраны необходимый тампонажный раствор и метод качественного формирования обсадной колонны специальной скважины, оборудование для проведения гидроразрыва пласта и нагнетания изоляционного раствора.

Рассчитан необходимый объем буферной жидкости и радиус распространения изоляционного раствора для условия, приближенного к реальному.

Ключевые слова

бурение скважин;
пласт-коллектор; жидкие отходы;
изолирующий экран

The article describes the method and features of the insulation screens creation in order to exclude the possible migration of liquid waste hazardous components into the upper aquifers suitable for economic use, as well as the creation of separate storage areas of liquid waste different chemical composition.

We proposed the creating insulating screens scheme for deep liquid waste storage. We determined the design feature of the special wells location.

We considered two buffer liquids — 3 % aqueous solution of NaOSiO_2 , 0.05 % polyacrylamide solution in 50 % aqueous solution of CaCl_2 , which form a hardening, insoluble, high-viscosity substance (insulating screen) upon contact.

The optimal method of special wells drilling and fastening is determined. The choice of polyvinyl chloride pipes at the stage of casing construction is defined. We selected the necessary plugging solution and the method of qualitative formation of the casing string of a special well, equipment for hydraulic fracturing and injection of an insulating solution.

We calculated the buffer fluid required volume and the insulating solution propagation radius for the real condition.

Глубинное складирование жидких отходов в пласты-коллекторы является наиболее перспективным как с точки зрения безопасности экосистемы, так и возможности складирования жидких отходов всех классов опасности.

При строительстве подземных хранилищ, применяемых для глубинного складирования экологически опасных жидких отходов, особое внимание должно уделяться изоляционным барьерам. Заранее определяется наличие или отсутствие участков выклинивания или литологического замещения слабопроницаемых пород водоупоров, зон тектонических нарушений, по которым возможно развитие перетоков опасных компонентов. При наличии таких участков (зон) вблизи пласта-коллектора в соответствии с законодательными и нормативными актами запрещается дальнейшая его эксплуатация в качестве склада экологически опасных жидкостей [1–3]. Безусловно, требование в этой части ограничивает применение глубинного складирования.

При глубинном складировании химически активных отходов следует однородные по химическому составу жидкие компоненты закачивать в разные участки пласта-коллектора, что позволит по мере развития технологий, способных использовать их в качестве исходного сырья, снизить будущие затраты на работы, связанные с геологоразведкой, тем самым превратив «отходы в доходы». Это становится возможным при разработке технологии создания изоляционных экранов на границах раздела.

На рисунке 1 представлена анизотропия околоскважинного пространства при создании участков раздельного складирования раз-

Key words

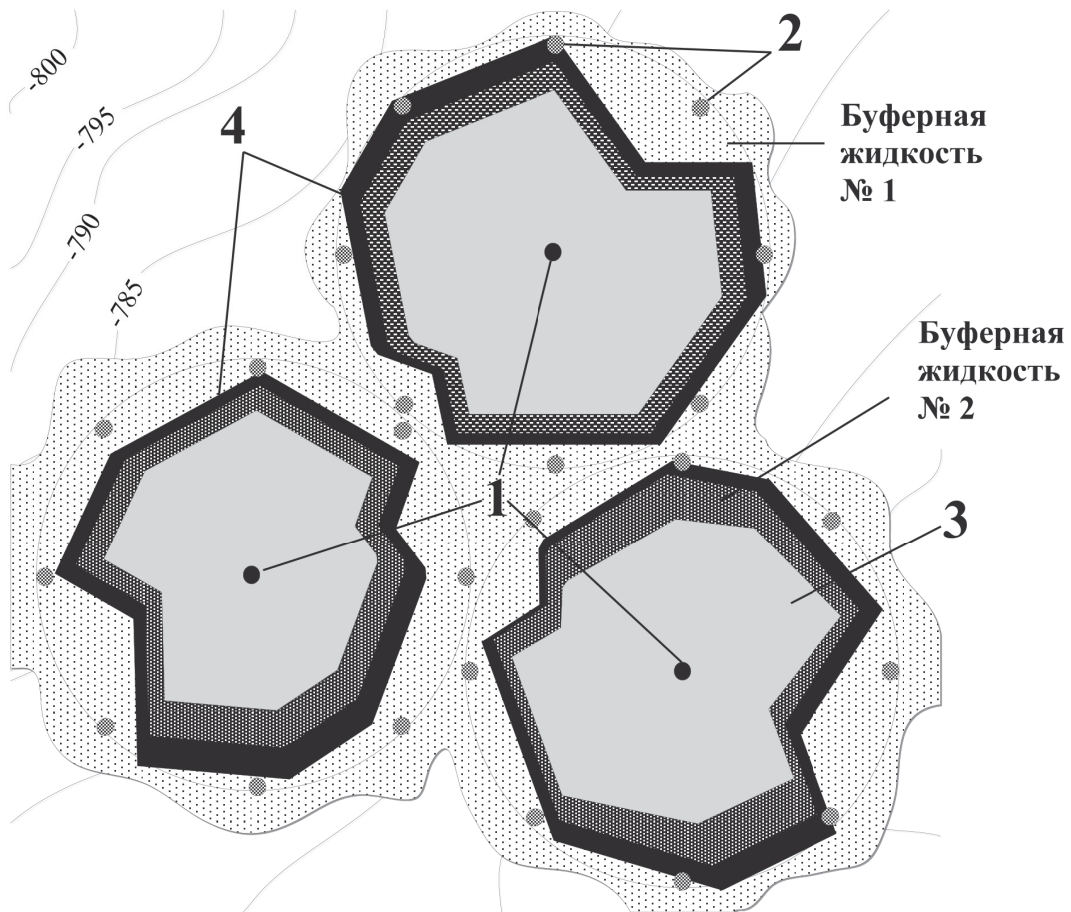
well drilling; collector layer; liquid waste; insulating screen

ных по химическому составу жидких отходов. Технология создания изоляционного экрана представляется возможной посредством подбора двух разнокомпонентных буферных жидкостей № 1 и № 2, которые при контакте друг с другом твердеют или образуют нерастворимое высоковязкое малоподвижное вещество в пласте-коллекторе.

Технология заключается в следующем. По периметру будущего хранилища бурятся скважины, через которые в пласт-коллектор подается изолирующий состав — буферная жидкость № 2. В нагнетательную скважину перед складированием жидких отходов закачивается расчетное количество буферной жидкости № 1, которая проталкивается по пласту закачиваемыми вслед жидкими отходами до момента контакта с буферной жидкостью № 2. Таким образом, создается экранированная полость для хранения жидких отходов.

В качестве буферной жидкости № 2, которая будет закачана через специальные скважины, предлагается использовать 3 %-ый водный раствор NaOSiO_2 . В качестве проталкиваемой жидкими отходами буферной жидкости № 1 предлагается взять 0,05 %-ый раствор полиакриламида в 50 %-ом водном растворе CaCl_2 .

При определении необходимого объема буферной жидкости V_0 , м^3 , следует определить заранее объем жидких отходов $V_{\text{от}}$, м^3 , толщину изоляционного экрана l , м, пористость поглощающего пласта-коллектора m , м, и его мощность h , м, а также насыщенность порового объема пласта закачиваемыми жидкостями k . Данные параметры определяются на этапе проектирования скважины и изуче-



1 — нагнетательные скважины (для закачки жидких отходов); 2 — специальная скважина; 3 — жидкие отходы; 4 — формирование изоляционного экрана

Рисунок 1. Анизотропия околоскважинного пространства при создании участков раздельного складирования разных по химическому составу жидких отходов

ния геолого-физических и фильтрационных характеристики пласта-коллектора.

После определения указанных параметров определим V_6 по следующей формуле:

$$V_6 = \pi [(R_{н.с} + l)^2 - R^2] m h k, \quad (1)$$

где $R_{н.с}$ — половина расстояния между нагнетательной и специальной скважин, м.

Для определения V_6 в условиях, приближенных к реальным, примем $m=0,2$, $h=10$ м, $k=0,8$, $R=600$ м.

Исходя из условия, что допустимый V_6 будет равен $1,81 \times 10^6$ м³, а для создания изоляционного экрана l равна 20 м, понадобится закачать V_6 , равный $0,12 \times 10^6$ м³, что в 15 раз меньше V_6 .

Количество специальных скважин, необходимых для формирования одного раздельного участка складирования, зависит от свойств слагающих пород пласта-коллектора и объемов закачиваемых жидких отходов.

Первостепенная задача при строительстве нагнетательных и специальных скважин — обеспечить колоннам высокую коррозионную стойкость к агрессивным средам на весь срок эксплуатации. Для решения этой задачи нами предлагается применять поливинилхлоридные (ПВХ) трубы.

Проводились испытания по опрессовке труб на внутренние давления, по термостойкости, растягивающим нагрузкам, механическим повреждениям и устойчивости к агрессивным химическим средам. Образцы труб были длиной 6 и 12 м, диаметром 165 мм, толщиной стенки 7,5 мм, внутренним диаметром 150 мм, вес 1 пог. м трубы составлял 5,47 кг, грузоподъемность нарезки — 85 кН с муфтовым резьбовым соединением.

В результате испытаний было установлено:

— допустимое наружное давление ($P_{\text{max нар}}$) — 10,5 МПа;

— допустимое внешнее давление ($P_{\text{max вн}}$) — 9,5 МПа;

— допустимая температура (t_{max}) до 90 °С [4].

Для определения стойкости к агрессивным средам образцы подвергли воздействию концентрированной азотной и соляной кислот и щелочей. При визуальном анализе образцов было установлено, что на поверхности труб образовался тонкий налет в виде легкого напыления и изменения цвета, который удаляется бытовой содой.

В результате опытно-промышленных испытаний и проведения расчетов установлено, что для формирования обсадной колонны для нагнетательной скважины глубиной 700 м, с проницаемым горизонтом для закачки жидких отходов глубиной от 560 до 800 м, подходящими ПВХ трубами будут трубы с такими же характеристиками, какими обладали опытные образцы труб.

Учитывая дальнейшую необходимость нагнетания буферной жидкости в пласт-коллектор, способом строительства специальной скважины предлагается «открытый забой». Особенность данного способа заключается в бурении основного ствола и спуска обсадной колонны до кровли проектного горизонта (пласта-коллектора), а не до подошвы, что делает возможным применять метод формирования щелевой разгрузки призабойной зоны.

Исключительно важное значение придается герметизации заколонного пространства. Тампонажный раствор должен обеспечивать седиментационную устойчивость раствора, формировать безусадочный малопроницаемый цементный камень, обладать широким температурным диапазоном и коррозионной стойкостью к минерализованным пластовым водам. Данными характеристиками обладает портландцемент седиментационно-устойчивый, расширяющийся (ПЦСУР) [5, 6].

ПЦСУР состоит из клинкера портландцемента с отходами производства кальцинированной соды, предварительно обожженными с кремнеземсодержащим компонентом. Такой тампонажный раствор обладает высокой седиментационной устойчивостью в скважинах с зенитными углами до 10–15°. Цементный камень обладает объемным расширением до 1,8% при температуре свыше 100 °С, а продукты твердения представлены низкоосновными гидросиликатами кальция, обладающими достаточной стойкостью к коррозии.

При формировании тампонажного камня в период ожидания затвердевания цемента не-

обходимо исключить негативные процессы, такие как расслоение, каналообразование и «зависание» тампонажного раствора. Наиболее рациональное и простое решение этой задачи было предложено Ю.С. Кузнецовым путем разрушения кристаллогидратной пленки на поверхности исходного вяжущего раствора. Для этого он применил метод вибрационного воздействия низкочастотными гидраударами, генерируемыми электрогидроимпульсным устройством. Метод заключается в перемещении электрогидроимпульсного устройства внутри обсадной колонны от верхней отметки его расположения до забоя и генерации импульсных давлений, вызывающих упругую деформацию ПВХ труб.

Оптимальным временем для вибрационного воздействия на тампонажный раствор является 60–120 мин от момента затворения.

Для достижения максимального эффекта необходимо постоянно поддерживать давление столба тампонажного раствора, перемещая электрогидроимпульсное устройства в указанных временных рамках.

Следующей задачей при создании изоляционного экрана является необходимость создания щелевых каналов для нагнетания изоляционного раствора. Для решения этой задачи были проанализированы существующие способы формирования трещин в массиве горных пород. Оптимальным, на наш взгляд, считается применение гидropескоструйной перфорации.

Для расчета радиуса распространения изоляционного раствора на участке пласта $R_{из}$, м, воспользуемся следующей формулой:

$$R_{из} = \sqrt{\frac{Q_{из}t}{\pi h m k M}} \quad (2)$$

где $Q_{из}$ — расход изоляционного раствора, м³/сут;

t — время нагнетания изоляционного раствора, сут;

M — коэффициент загрязнения пласта.

Определим $R_{из}$ для ранее принятого при расчете V_0 условия. При этом t примем 3 сут. При определении $Q_{из}$ необходимо учитывать его пропорциональную зависимость от давления на устье (P_{yc}). Рассмотрим оптимальное $P_{yc} \approx 0,5$ МПа, при котором $Q_{из}$ будет около 2500 м³/сут.

Подставив принятые значения в формулу (2), получим:

$$R_{из} = \sqrt{\frac{2500 \cdot 3}{3,14 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,8}} = 43,2 \text{ м.}$$

Изменяя время нагнетания изоляционного раствора, можно определить необходимое расстояние, учитываемое при определении V_6 .

Выводы

В статье рассмотрены способ создания изоляционных экранов для исключения возможной миграции опасных компонентов жидких отходов в верхние пригодные к хозяйственному использованию водоносные горизонты, а также способ создания участков раздельного складирования разных по химическому составу жидких отходов.

1. Для создания изоляционного экрана предложено использование двух разнокомпонентных буферных жидкостей № 1 (0,05 %-ый раствор полиакриламида в 50 %-ом водном растворе CaCl_2) и № 2 (3 %-ый водный рас-

твор NaOSiO_2), которые при контакте друг с другом твердеют или образуют нерастворимое высоковязкое малоподвижное вещество в пласте-коллекторе.

2. Рассчитан необходимый объем буферной жидкости для условия, приближенного к реальному.

3. Подобраны необходимый тампонажный раствор и метод качественного формирования обсадной колонны специальной скважины.

4. Предложены способ и технология формирования щелевых каналов в целях нагнетания изоляционного раствора.

5. Приведен расчет радиуса распространения изоляционного раствора на участке пласта за определенное время.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823 (дата обращения 12.05.2019.).

2. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481 (дата обращения 12.05.2019.).

3. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109 (дата обращения 12.05.2019.).

4. Аржанов А.Ф. Строительство скважин многофункционального назначения (теория, практика, проектные решения): дисс. ... д-ра техн. наук. Тюмень, 2006. 296 с.

5. Вершинин Ю.А., Возмител В.М., Кошелев А.Т. и др. Состояние и пути совершенствования водоизоляционных работ на месторождениях Западной Сибири. М.: ВНИИОЭНГ, 1992. 68 с.

6. Блажевич В.А., Стрижнев В.А. Проведение РИР в скважинах в сложных гидродинамических условиях. М.: ВНИИОЭНГ, 1981. Вып. 12. 53 с.

REFERENCES

1. *Federal'nyi zakon ot 10.01.2002 № 7-FZ «Ob okhrane okruzhayushchei sredy»* [Federal Law of 10.01.2002 No. 7-FZ «On Environmental Protection»].

Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823 (accessed 12.05.2019.). [in Russian].

2. *Federal'nyi zakon ot 30.03.1999 № 52-FZ «O sanitarno-epidemiologicheskom blagopoluchii naseleniya»* [Federal Law of 30.03.1999 No. 52-FZ «On Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population»]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481 (accessed 12.05.2019.). [in Russian].

3. *Federal'nyi zakon ot 24.06.1998 № 89-FZ «Ob otkhodakh proizvodstva i potrebleniya»* [Federal Law of 24.06.1998 No. 89-FZ «On Production and Consumption Waste»]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481 (accessed 12.05.2019.). [in Russian].

4. Arzhanov A.F. *Stroitel'stvo skvazhin mnogo-funktional'nogo naznacheniya (teoriya, praktika, proektnye resheniya): diss. ... d-ra tekhn. nauk.* [Construction of Multi-Purpose Wells (Theory, Practice, Design Solutions): Dr. Engin. Sci. Diss.]. Tyumen, 2006. 296 p. [in Russian].

5. *Vershinin Yu.A., Vozmitel' V.M., Koshelev A.T. e. a. Sostoyaniye i puti sovershenstvovaniya vodoizolyatsionnykh rabot na mestorozhdeniyakh Zapadnoi Sibiri* [Status and Ways of Improvement of Water Insulation Works at the Fields of Western Siberia]. Moscow, VNIIOEHNG, 1992. 68 p. [in Russian].

6. *Blazhevich V.A., Strizhnev V.A. Provedeniye RIR v skvazhinakh v slozhnykh gidrodinamicheskikh usloviyakh* [Conducting the RIRs in Wells in Challenging Reservoir Conditions]. Moscow, VNIIOEHNG, 1981. Issue 12. 53 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Аржанов Андрей Феликсович, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Andrey F. Arjanov, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

e-mail: info@imash.ru

Кузнецов Юрий Степанович, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Yuriy S. Kuznetsov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director of Research Center for Nonlinear Wave Mechanics and Technology of the Russian Academy of Sciences, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

e-mail: info@imash.ru

Хафизов Айрат Римович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Airat R. Khafizov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Oil and Gas Drilling Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: hafizov57@mail.ru

Чапля Богдан Юрьевич, консультант отдела, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, аспирант Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Bogdan Yu. Chaplya, Department Consultant, Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia, Post-graduate Student of Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

e-mail: b.chaplya@gmail.com

Шульгина Анна Павловна, аспирант Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Anna P. Shulgina, Post-graduate Student of Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

e-mail: orin.home@yandex.ru