

Обзорная статья
УДК 622. 277
DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-71-79

Анализ целесообразности применения полимерных обсадных труб из различных полимерных материалов для оборудования технологических скважин подземного выщелачивания урана

Александр Георгиевич Иванов

Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии, г. Москва, Россия
ivanov_ag@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
08.08.2024

Одобрена после
рецензирования
21.10.2024

Принята к публикации
24.10.2024

Ключевые слова:

добыча урана, подземное выщелачивание, технологические скважины, обсадка скважин, обсадные трубы, материалы для изготовления труб, полимеры, достоинства и недостатки труб из различных материалов, старение полимерных труб, температурные напряжения

Добыча урана в Советском Союзе и в России сопровождалась применением для сооружения технологических скважин обсадных труб из различных материалов: стали, фанеры, нержавеющей стали, полиэтилена низкого и высокого давления, металлопластика, стеклопластика, поливинилхлорида. Актуальность исследования заключается в том, что в настоящее время метод скважинного подземного выщелачивания урана – самый применяемый в мире. Россия не является исключением в этом вопросе. Надёжность эксплуатационных технологических скважин определяется качеством обсадных труб, применяемых для крепления. Цель исследования – рассмотрение применимости труб из различных материалов для сооружения скважин. Объект исследования – месторождения скважинного подземного выщелачивания урана. Задача исследования – сравнение свойств обсадных труб из различных материалов, выработка рекомендаций по использованию труб из современных материалов. Методы исследования – сбор информации по ранее применявшимся обсадным трубам для сооружения технологических скважин, анализ полученных результатов, формулирование задач, которые должны быть решены при выборе труб, определение перспективного материала для изготовления труб. Если рассматривать работанность проблемы исследования, то следует отметить, что вопрос выбора материала обсадных труб для оборудования технологических скважин мало освещён в современных источниках, а последние исследования относятся к 1983–1987 гг. Данные работы выполнялись в основном для труб из полиэтилена высокого и низкого давления. В статье обобщены результаты известных работ по рассматриваемой теме. Проанализированы физико-механические характеристики отдельных материалов, приведены сравнительные данные материалов труб, описаны особенности технологии изготовления полимерных труб из некоторых рассматриваемых материалов. Исследована возможность применения обсадных труб из материала современного поколения, отличающегося более высокими эксплуатационными характеристиками (трубы из ориентированного поливинилхлорида). Анализ показал, что применение полимерных труб должно учитывать: срок использования после изготовления; срок их хранения; старение полимеров; условия хранения; расчётные характеристики для определения прочности труб в зависимости от сроков эксплуатации скважин; температуру труб при их спуске в скважину.

Review article

Analysis of the Feasibility of Using Polymer Casing Pipes Made of Various Polymer Materials for Equipping Process Wells for In-Situ Leaching of Uranium

Alexander G. Ivanov

Leading Design and Survey Research Institute of Industrial Technology, Moscow, Russia

ivanov_ag@mail.ru

Information about the article

Received 8 August 2024

Approved after review
21 October 2024

Accepted for publication
24 October 2024

Keywords:

uranium mining, in-situ leaching, process wells, well casing, casing, materials for pipe manufacturing, polymers, advantages and disadvantages of pipes made of various materials, aging of polymer pipes, temperature stresses

Uranium mining in the Soviet Union and in Russia was accompanied by the use of casing pipes made of various materials for the construction of technological wells: steel, plywood, stainless steel, low-density polyethylene, high-pressure polyethylene, metal-plastic, fiberglass, polyvinyl chloride. The method of borehole underground uranium is currently the most used in the world. Russia is no exception in this matter. The reliability of production technological wells is determined by the quality of the casing pipes used for fastening. The purpose of the study is to consider the applicability of pipes made of various materials for the construction of wells. The object of the study is the deposits of borehole in-situ leaching of uranium. The purpose of the study is to compare the properties of casing pipes made of different materials, to develop recommendations for the use of pipes made of modern materials. The research methods are to collect information on previously used casing pipes for the construction of technological wells, to analyze the results obtained, formulations of the tasks that must be solved when choosing pipes, determining the promising material for pipe manufacturing. The issue of choosing casing pipe material for the equipment of technological wells is little covered in modern sources, the last studies date back to the period of 1983–1987. The article summarizes the results of well-known works on the topic under consideration. The author analyzes the physical and mechanical characteristics of individual materials, provides comparative data on pipe materials, and describes the features of the technology for manufacturing polymer pipes from some of the materials under consideration generation with higher performance characteristics (pipes made of oriented polyvinyl chloride). The analysis showed that the use of polymer pipes should take into account: the period of use after manufacture; their storage period; aging of polymers; storage conditions; design characteristics for determining the strength of pipes depending on the life of wells; the temperature of the pipes when they are lowered into the well.

Введение. Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания (далее – СПВ) возможна только при применении материалов, абсолютно стойких к воздействию рабочих выщелачивающих (далее – ВР) и продуктивных (далее – ПР) растворов [12; 13]. Надёжность конструкций эксплуатационных колонн (далее – ЭК), состоящих из обсадных труб различных видов полимеров, является темой данного исследования. Автором проанализированы основные типы обсадных труб из различных материалов, которые могут применяться для сооружения скважин. Вопрос применения труб для сооружения скважин СПВ рассматривался в различных работах [1–5; 7–9].

Стальные обсадные трубы. В исходном виде стальные обсадные трубы не применимы из-за низкой коррозионной стойкости. В своё время проводились опыты по нанесению на внутреннюю и наружную поверхность таких труб химстойкого лака. Опыт работы показал, что при спуске внутрь такой колонны различ-

ного инструмента – бурового, геофизического, специального, погружных насосов и иного – происходит разрушение лакового покрытия на внутренней поверхности труб и, в контакте с рабочими растворами кислот, колонна быстро выходит из строя. В связи с этим тема применения стальных труб для сооружения технологических скважин СПВ урана была закрыта. По этой же причине не нашли применения в СПВ урана и **фанерные трубы** с покрытием из химстойкого лака [10; 11].

Нержавстальные обсадные трубы. Данный вариант обсадных труб не применим по следующим показателям: дороговизна, дефицитность, недостаточность коррозионной стойкости при длительной эксплуатации скважин СПВ. Если иметь в виду возможности расширения объёмов добычи урана методом СПВ, то России придётся всю вновь выпускаемую продукцию труб из нержавеющей стали расходовать на замену прокорродированных труб.

Обсадные трубы из полиэтилена низкого давления (далее – ПНД). Приведённый

материал обладает абсолютной коррозионной стойкостью, относительной дешевизной, морозостойкостью [6]. Трубы изготавливаются из полиэтилена марки ПЭ-100, обладающего максимальными физико-механическими свойствами среди других марок полиэтилена (ПЭ-60, ПЭ-80). Основными недостатками труб из этого полимера являются: большой коэффициент термического расширения $C=0,0002 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, вызывающий перенапряжения в стенках трубы при сезонных перепадах температуры ВР и ПР, высокая степень старения при воздействии радиации, в том числе при хранении на открытом воздухе, что снижает его исходную прочность почти в 2 раза. Существенным недостатком труб ПНД является отсутствие общедоступных клеев для герметизации их резьбовых соединений и ремонта. Как правило, в условиях осадочных горных пород гидрогенных месторождений урана трубы ПНД применимы для сооружения скважин глубиной не более 200 м из-за неспособности выдерживать горное давление вмещающих горных пород. В настоящее время глубины скважин СПВ урана достигают 900 м, что исключает применение труб ПНД. Поиск решений упрочнения материала труб ПНД, среди которых армирование, двухслойные, двухколонные конструкции скважин, увеличенная толщина стенки, не дал положительного результата из-за высокой стоимости скважин, оборудованных такими трубами, что приводило к неконкурентоспособности метода СПВ урана с добычей его традиционными горными способами: открытыми и подземными. По совокупности перечисленных свойств и выполненных испытаний обсадные трубы ПНД не используются в мире для сооружения технологических скважин СПВ урана.

Обсадные трубы из полиэтилена высокого давления (далее – ПВД). Такие трубы использовались в небольшом объеме в летний период в условиях Узбекистана при сваривании в плетель для дальнейшего спуска её в скважину. Трубы обладают более низкими физико-механическими характеристиками по сравнению с трубами из ПНД, являются более гибкими, что приводит к потере осевой устойчивости ЭК после спуска их в скважину и пр. Соответственно, их применение в настоящее время полностью исключено.

Процесс получения труб ПНД и ПВД предусматривает нагревание исходного сырья (гранул) в экструдере и выдавливание расплава из экструдера с погружением полученного продукта в ванну с холодной водой.

При охлаждении трубы формируется кристаллическая структура тела трубы, что придаёт им определённые физико-механические характеристики.

Металлопластовые обсадные трубы (далее – МПТ). Автором конструкции МПТ для оборудования ими технологических скважин является Л. Л. Стриковский. Им поставлена задача разработки труб для больших глубин скважин (более 200 м). Трубы имели в своей конструкции внутренний проволочный сварной каркас из стальной проволоки диаметром 4–6 мм со сварными ячейками размером 4–6 мм в зависимости от диаметра трубы. Наружный и внутренний слой полимера представлены кристаллической структурой ПНД, а внутренний слой сформирован из ПНД аморфной структуры, в котором размещался металлический каркас. При такой структуре изменение температурных режимов эксплуатации скважин позволяло компенсировать разность в линейных изменениях полимера и металла из-за разности температурного коэффициента термического расширения материалов. Для разных сталей $C=0,000001–0,0000014 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$. На предприятиях Казахстана и Узбекистана трубы этого типа опробовались в 1985–1987 гг. В результате проведённых испытаний выявлены следующие основные недостатки труб МПТ:

- 1) низкая механическая прочность полимерного материала по ячейкам между арматурой ячеек;
- 2) разрушение внутреннего кристаллического слоя ПНД при выполнении различных работ в скважине: геофизических, ремонтно-восстановительных, спуске-подъём раствороподъёмных средств (погружных насосов) в откачных скважинах и пр.

Опрессовка участка трубы МПТ, извлечённого из скважины глубиной 63,1–72,1 м, приведена на рис. 1.

Из-за низких эксплуатационных характеристик МПТ не получили распространения в практике сооружения технологических скважин СПВ урана.

Стеклопластиковые обсадные трубы. Стеклопластики обладают повышенными физико-механическими и коррозионными свойствами. Промышленные испытания таких труб на одном из месторождений СПВ урана выполняли в Узбекистане в начале 90-х гг. XX в. Испытания показали, что эти трубы обладают высокой хрупкостью, аварии с ними ликвидировать невозможно (извлечение упавшей в скважину колонны), спуск в сква-

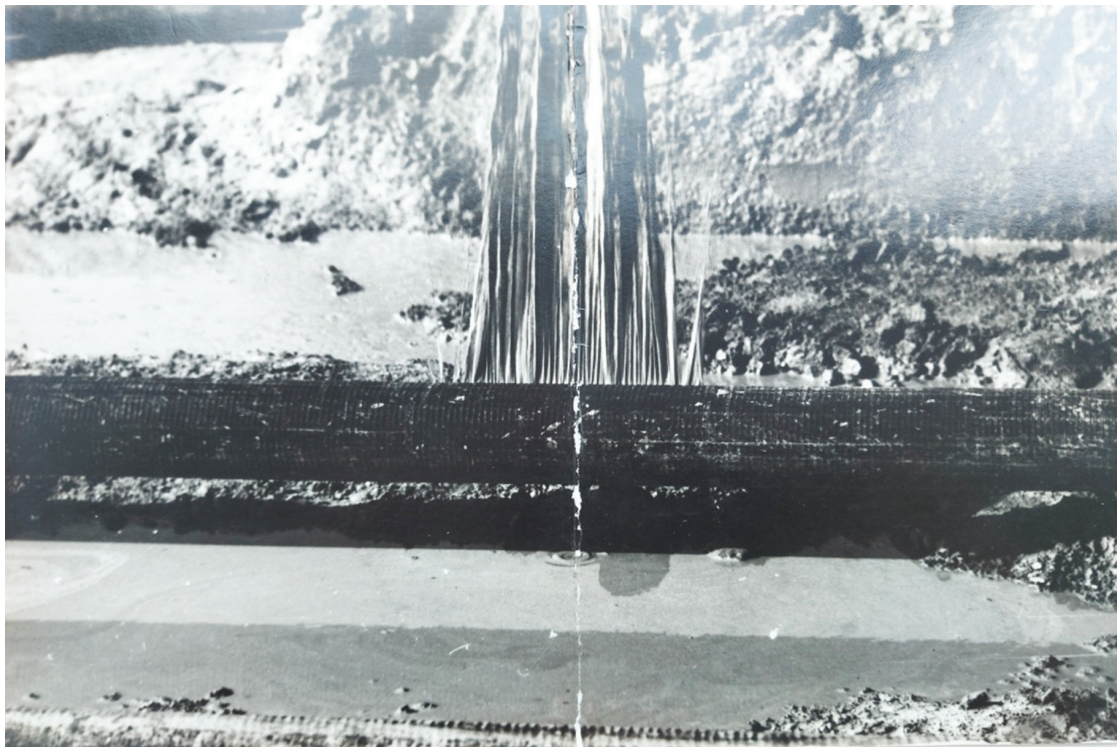


Рис. 1. Опрессовка МПТ глинистым раствором под давлением 0,05 МПа /
Fig. 1. Pressure testing of reinforced-plastic pipes with clay solution under pressure of 0.05 MPa

жину оборудования для ремонтно-восстановительных или других видов работ может привести к их растрескиванию и разрушению. Кроме того, применение стеклопластиковых труб при СПВ урана ограничено высокой стоимостью изделий, что делает добычу урана с их использованием неэффективной.

Комплекс приведённых недостатков не позволил применять такие трубы для сооружения технологических скважин.

Стеклобазальтовые обсадные трубы.

Трубы из этого материала не приемлемы для сооружения технологических скважин по тем же причинам, что и для стеклопластиковых обсадных труб.

Полипропиленовые обсадные трубы. Обсадные трубы из этого материала бесперспективны по причине низкой морозостойкости.

Обсадные трубы из полибутена. Обсадные трубы из этого материала не применяются из-за отсутствия отечественного сырья.

Обсадные трубы из полипропилена (далее – ПП). Анализ этого материала показал его неприменимость для сооружения скважин из-за его низкой морозостойкости.

Обсадные трубы из АБС-пластика (сополимера акрилонитрилбутадиенстиро-

ла). Во второй половине 80-х гг. XX в. рассматривался вопрос применения этих труб, но до изготовления опытных партий труб и проведения испытаний дело не дошло. Ограничения, в том числе, были связаны с дефицитом отечественного сырья.

Обсадные трубы из напорных термопластических материалов (норласты – полиэтилен с неорганическим наполнителем). Исследования применимости труб из этого материала также выполнялись во второй половине 90-х гг. XX в. Теоретический анализ показал, что трубы из этого материала не могут быть применены для сооружения скважин по следующим основным причинам:

- низкая долговременная прочность при гидравлических нагрузках;
- отсутствие отечественного сырья.

Трубы из хлорированного поливинилхлорида (далее – ХПВХ). Выполненный теоретический анализ показал, что недостатков, препятствующих использованию таких труб при СПВ урана, не установлено. Рекомендовано применять их при сооружении магистральных трубопроводов. Дальнейший опыт на примере одного из месторождений Казахстана показал, что это не верно. Эксплуатация таких трубопроводов сопровождается остановкой подачи по ним рабочих рас-

творов. Последующее включение раствороперекачивающего оборудования (насосов) в сочетании с «завоздушиванием» трубопровода приводило к значительным внутренним нагрузкам и его разрушению.

Обсадные трубы из непластифицированного поливинилхлорида (далее – НПВХ). Трубы НПВХ выпускаются из жёсткого ПВХ – PVC hard. Такой материал обладает высокими прочностными показателями, формоустойчивостью, теплостойкостью, химической стойкостью, при нагреве не плавится, а лишь размягчается и затем разлагается. Способность к размягчению, вызванная полярностью макромолекул ПВХ, позволяет использовать клеи различных видов для соединения или герметизации резьбовых соединений таких труб. Достоинством труб НПВХ является возможность введения в состав исходного сырья различных добавок и модификаторов для повышения их физико-механических характеристик. Добавками могут быть смазки, стабилизаторы различного назначения (морозостойкость, ударная прочность, красители, светостабилизаторы, противостарители). Вид добавок для труб, применяемых в различных климатических и горно-геологических условиях, как правило, является коммерческой тайной производителя и в настоящей работе не рассматривается.

Некоторые физико-механические характеристики приведённых полимерных материалов приведены в табл. 1.

Более точные значения параметров труб, а также их сортамент различных изготовителей можно узнать из их технических условий (далее – ТУ) или из российских стандартов на каждый тип труб. Следует учитывать, что полимерные обсадные трубы изготавливаются по ТУ на обсадные трубы специального назначения, а требования на ТУ труб для водоснабжения и водоотведения в этом случае не применимы.

Выполненный анализ показывает, что трубы НПВХ имеют преимущество перед всеми видами труб из других полимеров, в том числе и по расходам на их изготовление. Например, расчёты показывают, что для трубы с наружным диаметром 210 мм, выдерживающей избыточное внутреннее давление 1,6 Мпа, толщина стенки труб ПНД должна составлять 45,4 мм, для труб НПВХ – 14,9 мм. Иными словами, для изготовления 1 м трубы НПВХ потребуется 12,3 кг сырья, для трубы ПНД – 22,5 кг. В то же время увеличение толщины стенки трубы сопровождается увеличением в ней внутренних термических напряжений. Длительная прочность полимерных труб зависит также от времени действия на них нагрузки и температуры транспортируемой среды [11–15]. Чем выше температура этой среды, тем интенсивнее снижается прочность труб.

Таблица 1 / Table 1

Физико-механические характеристики полимерных материалов /
Physical and mechanical characteristics of polymeric materials

| Показатели / Indicators | Материал / Material | | | |
|--|---------------------|-------------|------------|------------|
| | НПВХ / PVC | ПНД / HDPE | ПВД / LDPE | ПП / PM |
| Плотность, г/см ³ / Density, g/cm ³ | 1,41 | 0,949–0,967 | 0,92–0,923 | 0,9–0,91 |
| Показатель текучести раствора, г/10 мин / Solution flow index, g/10 min | – | 0,3–0,6 | 0,3 | 0,2–0,4 |
| Предел текучести при растяжении, МПа / Tensile yield strength, MPa | >50 | >20 | >9,5 | >26 |
| Относительное удлинение при разрыве, % / Elongation at break, % | >25 | >200 | >210 | >200 |
| Модуль упругости при изгибе, МПа / Flexural modulus, MPa | >2500 | 800 | 160 | 67–1190 |
| Коэффициент Пуассона / Poisson's Ratio | 0,35–0,38 | 0,42–0,48 | 0,42–0,44 | 0,4–0,42 |
| Твёрдость по Бринеллю, н/м ² / Brinell hardness, n/m ² | 110–180 | 45–54 | 14–25 | 60–85 |
| Температура плавления, °С / Melting point, °С | – | 125–132 | 103–110 | 120–160 |
| Температура размягчения по Вика, °С (0,5 МПа) / Wick's softening temperature, °С (0.5 MPa) | 30 | 65 | 40 | 100 |
| Коэффициент термического расширения 1/°С / Coefficient of thermal expansion 1/°С | 0,00006 | 0,0002 | 0,0002 | 0,00015 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/М·К (Ккал/м·ч·°С) / Thermal conductivity coefficient, W/m·K (Kcal/m·h·°С) | 0,2 (0,17) | 0,5 (0,43) | 0,4 (0,34) | 0,24 (0,2) |
| Удельная теплоёмкость, Дж/кг·К (Ккал/кг·°С) / Specific heat capacity, J/kg·K (Kcal/kg·°С) | 1,7 (0,4) | 2,5 (0,6) | 3,5 (0,83) | 2,1 (0,5) |

Перспективы применения специальных обсадных труб НПВХ. Наиболее перспективными для сооружения технологических скважин в настоящее время являются трубы ориентированного поливинилхлорида ПВХ-О 500, изготавливаемые по технологии фирмы Molecool (Испания) [9]. В трубах НПВХ молекулы полимера расположены случайным образом. Трубы ПВХ-О 500 изготавливаются по технологии, позволяющей сориентировать молекулы при определенных значениях температуры, скорости и давления, как в радиальном, так и в осевом направлениях одновременно. Вследствие этого характеристики материала ПВХ-О 500 получаются более высокими, чем у других трубных полимеров. При минимальной толщине стенки трубы из ПВХ-О обладают максимальной износостойкостью, высокой ударной и усталостной прочностью, стойкостью к порезам и царапинам, воздействию химически активных веществ. Такие трубы не подвержены коррозии и устойчивы к

блуждающим токам. Степень шероховатости их внутренней поверхности минимальна, соответственно, увеличена пропускная способность трубопровода. Трубы ПВХ-О способны сохранять свои характеристики при экстремальных температурах от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, а срок их службы превышает 100 лет.

Сравнительные характеристики материала труб ПВХ-О 500 и НПВХ приведены в табл. 2.

Пластические свойства труб из ПВХ-О 500 проиллюстрированы на рис. 2.

Перспективные трубы из ПВХ-О 500 вследствие более высоких прочностных показателей по сравнению с другими полимерами можно изготавливать с меньшей толщиной стенки, снижая их стоимость. Высокая пластичность таких труб позволит наиболее эффективно применять их при сооружении технологических скважин в условиях многолетнемерзлых пород (в криолитозоне). Деформации, вызванные замерзанием воды из

Таблица 2 / Table 2

Сравнительные механические характеристики материалов ПВХ-О 500 и НПВХ / Comparative mechanical characteristics of PVC-O 500 and PVC-U materials

| Показатели / Indicators | Материал / Material | |
|--|-----------------------|------------|
| | ПВХ-О 500 / PVC-O 500 | НПВХ / PVC |
| Минимальная длительная прочность, МПа / Minimum long-terms strength, MPa | 50 | 25 |
| Расчетная прочность, МПа / Designs strength, MPa | 36 | 12,5 |
| Кратковременный модуль упругости, МПа / Short term modulus of elasticity, MPa | >4 000 | >3 000 |
| Твердость по Шору / Shore hardness | 81–85 | 70–85 |
| Сопротивление растяжению осевому / поперечному, МПа / Axial / transverse tensile strength, MPa | >48 / >90 | >48/ >48 |

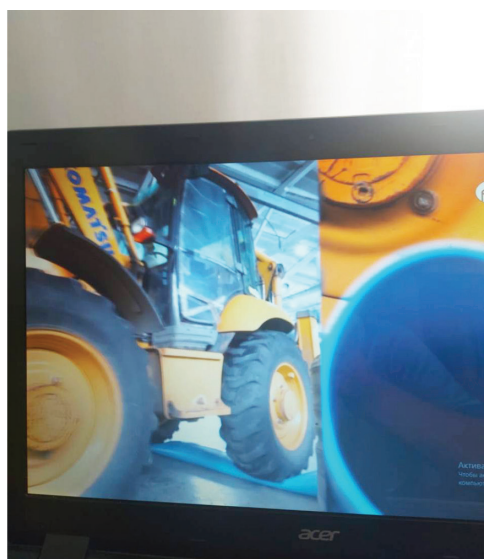


Рис. 2. Пример пластичности труб из ПВХ-О 500 / Fig. 2. Example of plasticity of PVC-O 500 pipes

различных источников поступления в заколонном пространстве, легко исправляются применением различных шаблонов или подачей внутрь колонны жидких агентов (технической воды) с температурой до + 10 °С в течение времени восстановления геометрических размеров трубы.

Общие особенности применения полимерных обсадных труб. Особенности применения таких труб изложены в различных работах [11; 14; 15]. Основными из них являются:

1) не подлежат применению трубы с длительным сроком хранения (более 6 мес. после изготовления), т. к. все полимеры стареют со временем и их физико-механические характеристики снижаются в 2 раза и более;

2) недопустимо хранение обсадных труб на открытых площадках, т. к. под действием солнечной радиации происходит деструкция материала труб;

3) хранение труб НПВХ производится в 20- или 40-футовых морских контейнерах в течение не более 3 мес., при этом до хранения допускаются трубы, срок изготовления которых до передачи на хранение не превышает 3 мес.;

4) при выполнении расчётов на прочность следует принимать значения прочностных параметров материала труб на момент окончания эксплуатации скважин;

5) температура обсадных труб при спуске их в скважину должна быть максимально приближена к температуре вмещающих горных пород;

6) обсадные трубы должны изготавливаться только из первичного сырья, а добавление вторичного сырья строго запрещается.

Способы соединения труб из термопластов (сварные, резьбовые, безрезьбовые, клеевые и иные) будут рассмотрены в отдельной работе автора.

Выводы.

1. Приведена история применения основных видов обсадных труб для оборудования технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана.

2. Показаны основные недостатки и достоинства различных видов обсадных труб.

3. Рекомендованы к применению в настоящее время трубы из НПВХ как наиболее соответствующие для сооружения технологических скважин.

4. Приведён перспективный вид труб для применения в будущие периоды.

Список литературы

1. Акутин М. С., Тихонов Н. Н., Платонов М. П. Новые композиционные материалы с улучшенной прочностью и стабильными характеристиками в процессе эксплуатации // XIV Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: в 2 т. М.: Наука, 1989. Т. 2. С. 7–14.
2. Арсентьев Ю. А., Назаров А. П., Забайкин Ю. В., Иванов А. Г. О расчёте эксплуатационных колонн из полимерных материалов для условий многолетнемёрзлых пород // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. Научное обозрение. 2019. Вып. 21. С. 27–32.
3. Добыча урана подземным выщелачиванием в криолитозоне: монография / под ред. И. Н. Солодова. М.: ZetaPrint, 2022. 183 с.
4. Геотехнология урана (российский опыт): монография / под ред. И. Н. Солодова, Е. Н. Камнева. М.: КДУ: Университетская книга, 2017. 516 с.
5. Железняк И. И., Стетюха В. А. Расчёт трубы из полимерного материала под действием внешней нагрузки в скважине в массиве многолетнемёрзлых пород // Известия Уральского государственного горного университета. 2018. Вып. 3. С. 121–125.
6. Зубарев А. Б. Условия работы, обоснование конструкции и технология применения полиэтиленовых обсадных колонн для крепления технологических скважин подземного выщелачивания металлов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГРИ, 1983. 24 с.
7. Иванов А. Г., Иванов Д. А., Арсентьев Ю. А., Назаров А. П., Калинин В. Н. Особенности применения полимерных обсадных труб при сооружении технологических скважин подземного выщелачивания урана // Известия высших учебных заведений. Серия «Геология и разведка». 2019. № 4. С. 50–57.
8. Иванов А. Г., Солодов И. Н. Выбор материала обсадных труб для эксплуатационных скважин подземного выщелачивания // Горный журнал. 2018. № 7. С. 81–85.
9. Отставнов А. А. О высокоэффективных напорных трубах из ПВХ последнего поколения // Санитарная техника, отопление, канализация. 2019. № 2. С. 16–21.
10. Сергиенко И. А., Мосев А. Ф., Бочко Э. А., Пименов М. К. Бурение и оборудование геотехнологических скважин. М.: Недра, 1984. 224 с.
11. Сугавара Н., Секи С., Кимото А. Предел замерзания воды в закрытой трубе. Пер. с японского языка № 2387. СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2013. С. 177–192.

12. Сушко С. М., Асанов Н. С., Карманов Т. Д. Метод гидроизоляции затрубного пространства при сооружении геотехнологических скважин для подземного выщелачивания продуктивного горизонта // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 11. С. 118–122.
13. Шалбаев Ж. С. Разработка методики применения альтернативного материала для гидроизоляции затрубного пространства при сооружении скважин // Развитие урановой и редкометалльной промышленности: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. Алматы, 2024. С. 72–74.
14. Abeuov A., Madani, Dillinger A., Shahzad S., Smagombetov B., Bolat Y., Sagatbekov C., Chanvry E., Fusstic M. Three-dimensional reservoir mapping and modeling, uranium-dearing Uyuk (lower to zene) formation, south Tortkuduk uranium roll-front deposit Cyu-Sarysu, Kasakstan // Development of the Uranium and Rare Metal Industry: proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference. Almaty, 2024. P. 24–25.
15. Paila P., Kirby C., Diaz N., Aboulkhair A., Mfhamoud D., Al Kindi R., Kasem Y., Benygzer M., Moreira R., Gesettim M. Singh Integrated Drilling Optimization Approach Delivers Rxelent Resurs to Improve Drilling Efficiency in Remote Artificial Island // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition Conference. Abu Dhabi, UAE, 2018.

References

1. Akutin M. S., Tikhonov N. N., Platonov M. P. New composite materials with improved strength and stable characteristics during operation: XIV Mendeleev Congress on general and applied chemistry: in 2 parts. Moscow: Nauka, 1989. Part 2. P. 7–14. (In Rus.)
2. Arsentiev Yu. A., Nazarov A. P., Zabaykin Yu. V., Ivanov A. G. On the calculation of operational columns made of polymer materials for permafrost conditions. Actual Problems and Prospects of Economic Development: Russian and Foreign Experience. Scientific Review, iss. 21, p. 27–32, 2019. (In Rus.)
3. Uranium mining by in-situ leaching in cryolithozone: monograph / ed. by I. N. Solodov. Moscow: ZetaPrint, 2022. 183 p. (In Rus.)
4. Uranium Geotechnology (Russian Experience): monograph / ed. by I. N. Solodov, E. N. Kamnev. Moscow: KDU: Universitetskaya kniga, 2017. 516 p. (In Rus.)
5. Zheleznyak I. I., Stetyukha V. A. Calculation of a pipe made of a polymer material under the influence of an external load in a well in an array of permafrost rocks. Izvestiya Ural State Mining University, iss. 3, pp. 121–125, 2018. (In Rus.)
6. Zubarev A. B. Conditions of work, justification of design and technology of application of polyethylene casing columns for fastening technological wells of underground leaching of metals: author's abstract. dis. ... candidate of Technical Sciences. Moscow: MGRI, 1983. 24 p. (In Rus.)
7. Ivanov A. G., Ivanov D. A., Arsentiev Yu. A., Nazarov A. P., Kalinichev V. N. Features of the application of polymer casing pipes in the construction of technological wells of underground uranium leaching. Series "Geology and Exploration", no. 4, pp. 50–57, 2019. (In Rus.)
8. Ivanov A. G., Solodov I. N. Selection of casing pipe material for operational wells of underground leaching. Mining Magazine, no. 7, pp. 81–85, 2018. (In Rus.)
9. Otstavnov A. A. On highly efficient pressure pipes made of PVC of the last generation. Journal "Sanitary Engineering, Heating, Sewerage", no. 2, pp. 16–21, 2019. (In Rus.)
10. Sergienko I. A., Mosev A. F., Bochko E. A., Pimenov M. K. Drilling and equipment of geotechnological wells. Moscow: Nedra, 1984. 224 p. (In Rus.)
11. Sugawara N., Seki S., Kimoto A. Limit of water freezing in a closed pipe. Trans. from Japanese No. 2387. Saint-Petersburg: VNIIG named after B. E. Vedenev, pp. 177–192. 2013. (In Rus.)
12. Sushko S. M., Asanov N. S., Karmanov T. D. Method of waterproofing of the annular space in the construction of geotechnological wells for underground leaching of productive horizon. International Journal of Experimental Education, no. 11, pp. 118–122, 2013. (In Rus.)
13. Shalbaev Zh. S. Development of the application methods of alternative material for waterproofing of the annular space in the construction of wells. Development of the Uranium and Rare Metal Industry: proceedings of XI International Scientific and Practical Conference. Almaty, 2024. P. 72–74. (In Rus.)
14. Abeuov A., Madani, Dillinger A., Shahzad S., Smagombetov B., Bolat Y., Sagatbekov C., Chanvry E., Fusstic M. Three-dimensional reservoir mapping and modeling, uranium-dearing Uyuk (lower to zene) formation, south Tortkuduk uranium roll-front deposit Cyu-Sarysu, Kasakstan. Development of the Uranium and Rare Metal Industry: proceedings of XI International Scientific and Practical Conference. Almaty, 2024. P. 24–25. (In Eng.)
15. Paila P., Kirby C., Diaz N., Aboulkhair A., Mfhamoud D., Al Kindi R., Kasem Y., Benygzer M., Moreira R., Gesettim M. Singh Integrated Drilling Optimization Approach Delivers Rxelent Resurs to Improve Drilling Efficiency in Remote Artificial Island. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition Conference. Abu Dhabi, UAE, 2018. (In Eng.)

Информация об авторе

Иванов Александр Георгиевич, канд. техн. наук, член-корреспондент РАН, главный специалист, Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии, г. Москва, Россия; ivanov_ag@mail.ru. Область научных интересов: геотехнология добычи урана методом скважинного подземного выщелачивания, сооружение и эксплуатация геотехнологических скважин.

Information about the author

Ivanov Alexander G., candidate of engineering sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, chief specialist, Leading Design and Survey Research Institute of Industrial Technology, Moscow, Russia; ivanov_ag@mail.ru. Scientific interests: geotechnology of uranium mining by in-situ leaching, construction and operation of geotechnological wells.

Для цитирования

Иванов А. Г. Анализ целесообразности применения полимерных обсадных труб из различных полимерных материалов для оборудования технологических скважин подземного выщелачивания урана // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 4. С. 71–79. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-71–79.

For citation

Ivanov A. G. Analysis of the feasibility of using polymer casing pipes made of various polymer materials for equipping process wells for in-situ leaching of uranium. 2024. Vol. 30, no. 4. P. 71–79. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-71-79.