

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 4 / 2026, Vol. 18, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/19NZVN426.pdf>

DOI: 10.15862/19NZVN426 (<https://doi.org/10.15862/19NZVN426>)

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Трушков, А. Ю. Оптимизация струйной геотехнологии при ограждении действующих полигонов твердых коммунальных отходов / А. Ю. Трушков, В. Н. Коротаев // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/19NZVN426.pdf>. DOI: 10.15862/19NZVN426.

For citation:

Trushkov A.Yu., Korotaev V.N. Optimisation of jet grouting technology for isolating existing solid municipal waste landfills. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(4): 19NZVN426. Available at: <https://esj.today/PDF/19NZVN426.pdf>. DOI: 10.15862/19NZVN426. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 699.8

Трушков Арсений Юрьевич

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

Аспирант

E-mail: At_kasp14@mail.ru

Коротаев Владимир Николаевич

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

Декан факультета «Химических технологий, промышленной экологии и биотехнологий»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: KOROTAEV@pstu.ru

Оптимизация струйной геотехнологии при ограждении действующих полигонов твердых коммунальных отходов

Аннотация. Существует необходимость в изоляции действующих объектов захоронения отходов от воздействия на окружающую среду. Высокая угроза загрязнения эмиссией отходов требует тщательного подхода к контролю качества возводимых завес. Из-за различного возраста объектов захоронения отходов, использовавшихся на момент их устройства подходов к строительству, географических и климатических особенностей, существует необходимость ограждения уже находящихся в эксплуатации объектов, зачастую без физической и экономический возможности по откопке. Вероятная нехватка данных о емкости объектов захоронения отходов, сложные гидрогеологические параметры и планировка участков накладывают дополнительную ответственность на качественные свойства геобарьеров при изоляции окружающей среды от воздействия отходов. В связи с этим, в зависимости от характеристик объекта, используются различные технологии устройства противофильтрационных завес, в том числе с применением технологии струйной цементации. Одним из обязательных контролируемых параметров является сплошность завесы. Каждый из распространенных методов контроля качества имеет свои преимущества и недостатки, которые частично перекрываются проведением дополнительных мероприятий для контроля. Авторами разработан метод контроля качества возводимых противофильтрационных завес для полигонов твердых коммунальных отходов. Предложен вариант совмещения процесса формирования противофильтрационной завесы с применением струйной геотехнологии, контроля качества формирования скважин, jet-колонн и залечивания ослабленных зон. Предложенный авторами метод обеспечивает сплошность, водостойкость и коррозионную стойкость противофильтрационной завесы в агрессивной среде.

Ключевые слова: полигонные технологии; полигоны твердых коммунальных отходов; струйная геотехнология; Jet-колонны; инклинометр; форсуночный монитор; инклинометрическая система

Введение

Захоронение отходов на специализированных полигонах является преобладающим способом очистки городов на территории Российской Федерации. На протяжении всего периода функционирования полигонов происходит образование эмиссии отходов (фильтрат, биогаз), представляющей собой высокотоксичную смесь химических соединений и болезнетворных микроорганизмов, что вызывает прогрессирующую деградацию геосреды в зоне влияния полигона и в том числе на значительном расстоянии за пределами площадок захоронения [1]. Поскольку негативное воздействие объектов захоронения отходов сохраняется в течение многих лет после вывода объекта из фазы эксплуатации, существует необходимость в ограждении незапланированных свалок, полигонов, спроектированных во времена упрощенного подхода к проектированию объектов захоронения, а так же полигонов, находящихся в зоне потенциальных стихийных бедствий, способных вызвать утечку эмиссий [2]. В связи с этим, современные санитарные полигоны для захоронения отходов проектируются, строятся и эксплуатируются таким образом, чтобы максимально снизить контакт отходов и образуемой ими эмиссией с окружающей средой. Что касается иных объектов захоронения отходов, полигоны сильно различаются по многим параметрам: возрасту объекта, климатическим условиям, географическому положению, объемам отходов и их составу. В зависимости от индивидуальных особенностей каждой площадки, производится изоляция полигонов через комплекс инженерных решений, сочетающих различные технологии противофильтрационных барьеров. Одной из таких технологий является технология струйной цементации (jet-grouting).

Струйная цементация как технология ограждения полигонов

Технология струйной цементации — хорошо изученное направление в геотехнике, за время применения которой разработано множество методов закрепления грунтов [3–5].¹ Сущность струйной цементации заключается в использовании высоконапорной струи цементного раствора или воды для разрушения грунта и его смешивания с вяжущим цементом, с образованием цилиндрической грунтоцементной Jet-колонны. Технология позволяет создавать под сооружениями сплошные монолитные фундаменты и противофильтрационные завесы. Jet-колонны, как правило, имеют по глубине разные простирания, неодинаковые диаметры и объемы закрепления, а также неоднородные составы и прочностные характеристики грунтоцемента, вызванные многими факторами [6], что требует контроля качества выполненных работ. Формирование противофильтрационной завесы для ограждения тела полигона ТКО (полигона твердых коммунальных отходов) требует соблюдения её сплошности, для защиты окружающей среды от разрушающего воздействия фильтрата, поступающего из тела полигона в течение многих лет после его возведения. Это особенно касается мест размещения ТКО, где ранее не была предусмотрена нейтрализация вредных веществ. При этом ограждение должно быть устойчивым к воздействию агрессивного фильтрата, из-за процессов коррозии. Поэтому необходим контроль качества уже на начальной стадии возведения противофильтрационной завесы, при формировании скважин и Jet-колонн. В Российской Федерации разработаны рекомендации, касающиеся усиления грунтов оснований сооружений и рекомендации по

¹ И. И. Бройд. Струйная геотехнология. — М. — 2004г. 448 с. EDN: QNKJRT.

устройству ограждающих и несущих конструкций² [7]. Что касается методов контроля качества противofильтрационной завесы, они проводятся отдельной операцией в уже готовых колоннах. Наиболее распространены методы ультразвукового тестирования [8; 9].³ Они позволяют получить данные для определения целостности материала, извлеченные из показаний ультразвуковых зондов (усилителя и отражателя). Сигналы от ультразвуковых зондов передаются к оснащённому компьютером полевому прибору для записи, передачи и отображения данных в виде ультразвукового профиля. Прибор формирует импульсы от зонда отражателя с фиксированными интервалами глубины или с фиксированными интервалами времени. В основном, этот способ применим эффективно, если исследование проводят при помощи каналов доступа — труб, установленных во время сооружения подземной конструкции. Способ функционально ограничен тем, что, в случае контроля качества возводимых грунтоцементных колонн, не фиксирует их потенциальные отклонения в пространстве а так же демонстрирует большую погрешность из-за неоднородности грунтоцемента. Обнаружение возникающих при этом пустот, зазоров в межскважинном узле, слабых мест цементации крайне важно для достижения заданного уровня сплошности, фальтратонепроницаемости готовых завес [10]. Так как это значительно снижает качество контроля завесы в целом, способ используют только для подтверждения соответствующего качества внутри элемента. При наличии же дефекта проводят дальнейшее исследование путем отбора керна и других методов испытаний (Д 1143, Д 4945 или Д 5882) для исправления структуры материала. Таким образом, бурение скважин и отбор образцов являются вторым распространённым методом контроля. Отбор керна может сопровождаться отклонением бурового инструмента от продольной оси по мере проходки скважины, нарушением сплошности массива завесы.

С целью повышения эффективности существующих способов контроля истинного состояния противofильтрационных завес, разработан новый метод, который включает в себя непосредственный мониторинг с обратной связью на вышеописанных этапах формирования будущей противofильтрационной завесы с использованием струйной геотехнологии решает задачу ликвидации участков с неравномерным заполнением грунтоцемента, выравнивание свойств материала во всем объеме противofильтрационной завесы? уже на первичных этапах ее возведения. Для этого известную буровую установку [3; 5] предложено дополнительно стационарно оснастить инклинометром (рис. 1).

В известной буровой установке не предусмотрены функции контроля дефектности jet-колонн и соблюдения сплошности при возведении противofильтрационной завесы. Инклинометры же рассчитаны на определение пространственных координат скважины, позволяют установить правильность бурения в заданном направлении. Устройство активно применяется при нефтедобывающих работах, где основным видом бурения является наклонно — направленное бурение. При этом обязательным является соблюдение большого расстояния между скважинами [6]. В нашем же случае инклинометр применяется для оперативной фиксации отклонений, квалифицируемых как дефектные участки завесы, с возможностью оперативной ликвидации.

Устройство средства мониторинга

² СП 45.1330. 2012г., СНиП 3.02.01 — 87. «Земляные сооружения, основания и фундаменты».

³ Стандарт — код 6760-08. «Стандартный метод тестирования целостности бетонных фундаментов глубокого заложения при помощи ультразвукового тестирования», утв. 01.01.08г., опубли. 02.2008 г.

И. Ю. Быков, Д. А. Борейко. Диагностика нефтепромыслового оборудования методами неразрушающего контроля, М. «Старый Оскол», 2016 г. С. 243.

Устройство представляет собой буровую установку (рис. 1) следующей конструкции: Вертлюг **1** для сменной подачи промывочного раствора в скважину в процессе её формирования, одинарной штанги **2** для сменной подачи промывочного раствора в период прямого хода буровой установки или цементирующего раствора — при обратном ходе. При одинарной штанге размещен обратный клапан, регулирующий сменную подачу раствора через буровое долото, или форсуночный монитор для реализации струйной технологии **3** с соплами **4**. Под форсуночным монитором размещен обратный клапан **5**, регулирующий сменную подачу растворов, между обратным клапаном **5** и долотом **9** размещен монитор **6** пространственного положения формируемой колонны для дифференциации её отклонений и поиска дефектных зон в виде зазоров между колоннами. В качестве монитора использована телеметрическая забойная система с гидравлическим каналом связи **7**, в которую входит модуль инклинометрии **8**. Система мониторинга обеспечена сквозным отверстием вдоль оси по вертикали для доступа промывочного раствора к располагающемуся ниже долоту. Модификация используется следующим образом: Включают буровую установку, и открывают обратный клапан **5**. Промывочный раствор под заданным оператором давлением из шланга **10** поступает в скважину **11** через вертлюг **1**, штангу **2**, монитор форсуночный **3**, систему мониторинга **6**, долото **9** поступает в формирующуюся в грунте **11** скважину **12**. В процессе формирования скважины происходит мониторинг скорости поступления жидкости, перемещения установки и мониторинг пространственного размещения скважины в грунте (рис. 2). При обратном ходе буровой установки (рис. 3) обратный клапан закрывается и цементирующий раствор поступает через форсуночный монитор **3** в скважину. При этом одновременно продолжается мониторинг из обеих систем **3,6**, описанных выше.

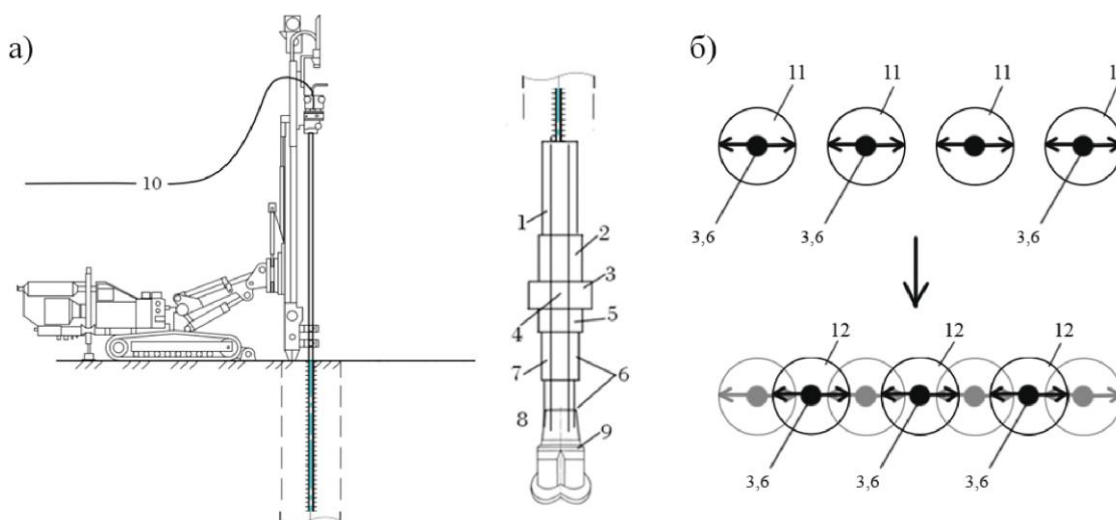


Рисунок 1. (а) Буровая установка, оснащенная: 1 — вертлюгом, 2 — штангой, 3 — форсуночным монитором, 4 — сопла, 5 — обратный клапан, 6 — монитор: 7 — телеметрическая часть, 8 — инклинометр, 9 — долото, 10 — шланг высокого давления; (б) Схема многократного контроля качества формирования скважин и Jet-колонн 3,6 — мониторами 11 — одиночных скважин, 12 — при их пересечении (разработано автором)

Таким образом контролируется пространственное размещение скважины и режимы подачи растворов, обеспечивая контроль за состоянием скважины и колонны, которые формируются при прямом и обратном ходе буровой установки соответственно. Такой же непрерывный контроль производится при устройстве секущих jet-колонн при повторной проходке (рис. 1). При этом модуль инклинометрии подключают в состав телесистемы по видео-интерфейсу. Модуль телеметрической системы постоянно сверяет параметры инклинометрии и положение jet-колонн относительно друг друга в пространстве.

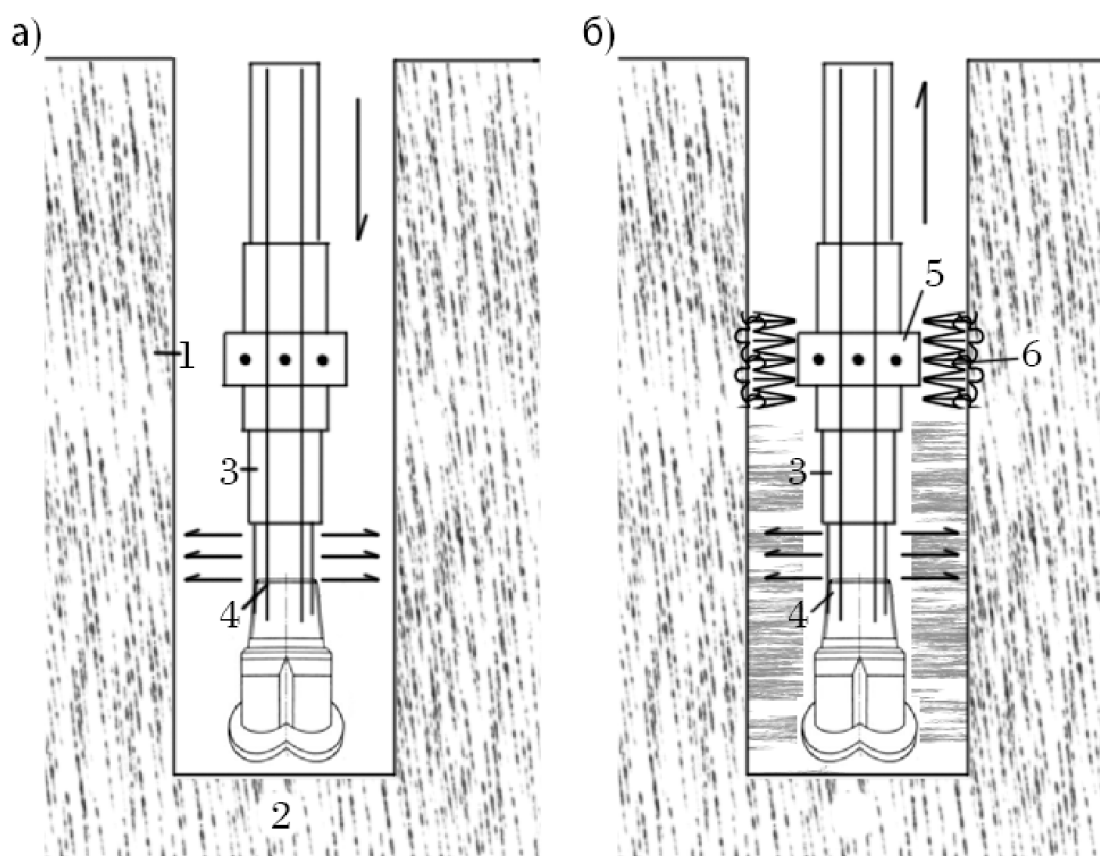


Рисунок 2. (а) Прямой ход буровой установки. Контроль качества скважины — 1, в грунте — 2, монитором 3,4. (б) Обратный ход буровой установки. Контроль качества форсуночным монитором 5 сплошности размещения цементирующего раствора 6 и качества залечивания слабых мест монитором 3,4 в скважине 1 в процессе формирования Jet-колонн (разработано автором)

Для отображения данных с модуля инклинометрии и считывания памяти используется программное обеспечение, позволяющие визуализировать полученную информацию как на местах, так и удаленно, с оперативной коррекцией дефектов (рис. 3) как в процессе формирования скважин, так и jet-колонн в них, т. е. на всех этапах возведения противофильтрационной завесы.

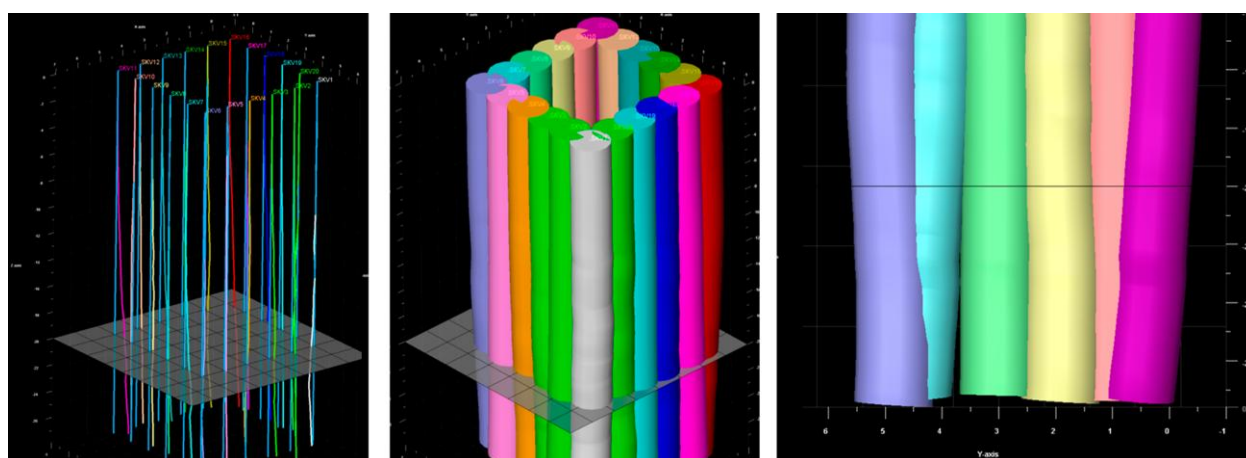


Рисунок 3. Визуализация объемного изображения (3D модель) и Jet-колонн полученная с применением инклинометра непосредственно в процессе возведения противофильтрационной завесы. Визуализация отклонения бурового инструмента от изначальной оси бурения (составлено автором)

Обеспечивается выявление дефектных участков, вызванных отклонениями бурового инструмента. Предоставляется возможность их оперативного устранения, за счет подбора параметров технологии струйной цементации, и, как следствие, повышение безопасности полигонов ТКО и иных ограждаемых конструкций.

Заключение

1. Необходимость в изоляции объектов захоронения отходов от воздействия на окружающую среду является актуальной проблемой, для решения которой востребованы различные технологии возведения противofильтрационных завес, в том числе с применением технологии струйной цементации. Высокая угроза загрязнения эмиссией отходов требует тщательного подхода к контролю качества завес.
2. Для одновременного возведения противofильтрационных завес с применением технологии струйной цементации и контроля качества формирования скважин и Jet-колонн в них предложено устройство и способ, позволяющие эффективно выявлять слабые участки конструкции и, при необходимости, оперативно ликвидировать дефектные зоны на этапе формирования jet-колонн.
3. Предложен неразрушающий метод контроля качества формирования скважин и Jet-колонн в них. Контроль за выявлением дефектных участков проводят непрерывно при прямом и обратном ходе буровой установки, при формировании скважин и колонн в них, как одиночных, так и секущихся, универсально оптимизируя применение технологии струйной цементации как таковой.
4. Предложен вариант мониторинга пространственного размещения рядов одиночных и секущихся jet-колонн с применением инклинометра в буровой установке для контроля сплошности возводимых противofильтрационных завес. При этом мониторинг совмещен с регулировкой скорости и времени подачи цементирующего раствора для выявляемых дефектных участков.
5. Впервые предложено одновременное «залечивание» ослабленных зон возникающих в процессе цементации.
6. Инклинометрия обеспечивает визуализацию результата динамического контроля, как в виде графиков, так и в виде изображения скважин и колонн в них в объемном виде, с четкой фиксацией имеющихся зазоров. противofильтрационной завесы для полигона ТКО.
7. Работа по сбору обратной связи, видеоаналитика закладывает развитие технологии строительства противofильтрационных завес, позволяет контролировать порядок работы, упрощает исполнительную схему устройства ГЦК, упрощает создание реестра документов о качестве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление отходами. Полигонные технологии захоронения твердых бытовых отходов. Рекультивация и постэксплуатационное обслуживание полигона: монография / [Я. И. Вайсман и др.]; под ред. Я. И. Вайсмана; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Пермский нац. исслед. политехнический ун-т", Федеральное гос. бюджетное учреждение "НИИ ЭЧ и ГОС имени А. Н. Сысина" Минздрава РФ. — Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та, 2012. — 243 с. — ISBN 978-5-398-00859-3. — EDN QNQFZJ.

2. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: монография / [Я. И. Вайсман и др.]; под ред. Я. И. Вайсмана; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Пермский нац. исслед. политехнический ун-т", Федеральное гос. бюджетное учреждение "НИИ ЭЧ и ГОС имени А. Н. Сысина" Минздрава РФ. — Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та, 2012. — 258 с. — ISBN 978-5-398-00852-4. — EDN QNQFSV.
3. Малинин А. Г. Струйная цементация грунтов монография / А. Г. Малинин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2020. — 234 с. — URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_012337056/.
4. Виноградов, О. В. Основы прогнозирования параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи районов размещения полигонов твердых бытовых отходов / О. В. Виноградов, В. Ю. Глебов, В. А. Дуганов. — Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2022. — 111 с. — ISBN 978-5-93970-255-3. — EDN UDSJXX.
5. М.Н. Ибрагимов Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов [Текст] / М. Н. Ибрагимов, В. В. Семкин. — Москва: Изд-во АСВ, 2012. — 254 с. — URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005443510>.
6. В. Х. Исаченко. Инклинометрия скважин. М., «Недра», 1987 г., С. 216. — URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001348780>.
7. Трушков, А. Ю. Локализация негативного влияния фильтрата полигонов тко на стадии их эксплуатации с помощью струйной геотехнологии экранирования / А. Ю. Трушков, В. Н. Коротаев, Я. И. Вайсман // Вестник Евразийской науки. — 2025. — Т 17. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/54NZVN625.pdf>.
8. Челядинова Е. Ю Современные подходы к проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов / Е. Ю. Челядинова, Курбатова А. И. // Международный научно-исследовательский журнал — 2018 — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-proektirovaniyu-ekspluatatsii-i-rekultivatsii-poligonov-tverdyh-kommunalnyh-othodov>.
9. Кысыыдак А. С. Перспективные технологические решения возведения природоохранных объектов (полигонов ТБО) / А. С. Кысыыдак // Вестник Тувинского государственного университета. Технические науки — 2014 — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-tehnologicheskie-resheniya-vozvedeniya-prirodoohrannyh-obektov-poligonov-tbo?ysclid=mtsuo2etno248167057>.
10. Строчков, Ю. А. Опыт исследования полигонов твердых коммунальных отходов с применением геофизических методов / Ю. А. Строчков, А. В. Кувалдин, А. А. Чуркин, В. В. Капустин // Инженерные изыскания. — 2022. — Т. XVI, № 2. — С. 54–62. — URL: <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2022-16-2-54-62>.
11. Свергузова, С. В. Проблемы утилизации и захоронения отходов / С. В. Свергузова, В. А. Юрченко, Н. П. Горох; С. В. Свергузова, В. А. Юрченко, Н. П. Горох. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. — 166 с. — EDN QNNFBL.
12. Раковская, Е. Г. Основы управления отходами / Е. Г. Раковская; Е. Г. Раковская; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Санкт-Петербургский гос. лесотехнический ун-т имени С. М. Кирова". — Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2012. — 151 с. — ISBN 978-5-9239-0473-4. — EDN QNQCNI.

13. Шантарин, В. Д. Пиролизная утилизация твердых бытовых отходов / В. Д. Шантарин, И. О. Коровин; В. Д. Шантарин, И. О. Коровин; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Тюменский гос. нефтегазовый ун-т. — Тюмень: Тюменский гос. нефтегазовый ун-т, 2005. — EDN QNMLED.
14. Грибанова, Л. П. Процессы на полигонах / Л. П. Грибанова // Твердые бытовые отходы. — 2006. — № 7. — С. 4–7. — EDN NBRDZP.
15. Кушхов, Х. Х. Управление отходами вчера и сегодня / Х. Х. Кушхов, В. Н. Лебедев // Твердые бытовые отходы. — 2006. — № 10. — С. 13–15. — EDN NBRCTR.

Trushkov Arseniy Yurievich

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
E-mail: At_kasp14@mail.ru

Korotaev Vladimir Nikolaevich

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
E-mail: KOROTAEV@pstu.ru

Optimisation of jet grouting technology for isolating existing solid municipal waste landfills

Abstract. There is a need to protect environment from an impact from waste disposal facilities' affection. High risks of waste emission contamination require strict quality control of the barriers. Due to large difference in waste disposal facility age, the construction approaches used at the time of their foundation, climatic and environmental conditions, there is a need to isolate the existing landfills, often without the physical and economic feasibility of ground excavation. A potential lack of data on site planning, waste disposal capacities, and complex hydrogeological parameters increases the responsibility for the quality of geobarriers when protecting the environment from waste emission impacts. Depending on the terrain characteristics, various geobarrier technologies are used, including jet grouting. One of the mandatory recommended parameters is the integrity of the barrier. Each quality control method has its own advantages and disadvantages, which partially necessitate additional monitoring measures. A method has been developed for monitoring the quality of anti-filtration curtains built for landfills. Suggested a variant of combining the process of forming wells and Jet-columns in the uncased form of wells using jet-grouting for soil reinforcement with monitoring the quality of forming structures in them, as well as a variant of fixing discontinuity areas between jet-columns, ensuring continuity, water resistance, and filtration resistance of the anti-filtration curtain.

Keywords: landfill technologies; landfill; jet-grouting; jet columns; inclinometer; monitoring with a nozzle monitor; inclinometric system