

Таблица 1 – Стоимость строительства дома

Наименование	3D-принтер, руб.
1 Фундамент	501,34
2 Стены	3235,27
3 Перекрытия, кровля	4880,74
4 Электропроводка	427,96
5 Двери и окна	7140,14
6 Наружная, внутренняя отделка	3895,66

Анализ строительства дома с помощью 3D-принтера показывает, что расходы материалов снижаются от 30 до 70 % в сравнении со стандартной технологией. Однако, учитывая стоимость самого принтера, можно сделать вывод о том, что рассмотренная технология возведения дома является достаточно дорогой и не все строительные организации смогут себе позволить приобрести соответствующее оборудование.

Список литературы

- 1 **Игнатова, Е. В.** Устойчивое развитие на основе цифровых технологий в строительстве / Е. В. Игнатова, М. А. Матюхина, Н. С. Сморгенков // Строительство и архитектура. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 56–60.
- 2 **Иноземцев, А. С.** Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве / А. С. Иноземцев, Е. В. Королев, Т. К. Зыонг // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13, № 7 (118). – С. 863–876.
- 3 **Адамцевич, А. О.** Аддитивное строительное производство: особенности применения технологии / А. О. Адамцевич, А. П. Пустовгар, Л. А. Адамцевич // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 7. – С. 70–78.

УДК 622.363.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШЛАМОВОГО ОСНОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА КОНВЕЙЕРНОГО УКЛОНА ИЗ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ

А. А. КОЛОГРИВКО, В. А. КУЗЬМИЧ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Рост объемов добычи и переработки калийных руд активно развивающегося предприятия ОАО «Беларуськалий» влечет за собой увеличение объемов отходов обогащения. На современном этапе освоения Старобинского месторождения калийных солей наиболее приемлемым остается вариант складирования твердых галитовых и жидких шламовых отходов соответственно в солеотвалы и шламохранилища на поверхности земли вблизи работ рудоуправлений (рисунок 1).

Отчуждение дополнительных площадей для хранения галитовых отходов обогащения затруднительно или не представляется возможным. Здесь следует рассматривать новые способы складирования отходов обогащения при организации хвостовых хозяйств, позволяющих сократить рост площадей, используемых для размещения этих отходов. Одним из вариантов снижения техногенной нагрузки в районе работ рудоуправлений является расширение солеотвалов с использованием в качестве оснований отработанные шламохранилища, представленные в качестве слабых шламовых оснований.



Рисунок 1 – Галитовые отходы обогащения ОАО «Беларуськалий»

Наибольшую актуальность в настоящее время приобретают работы по организации хвостового хозяйства первого рудоуправления ОАО «Беларуськалий». Складирование галитовых отходов действующей технологией становится затруднительным, анализ ситуационного плана показывает отсутствие резерва земельных ресурсов. На основе многолетнего производственного опыта и научно-

исследовательских работ предлагается реализация технологии складирования отходов обогащения способом гидронамыва с последующим строительством конвейерного уклона из галитовых отходов сухой отсыпкой на площади отработанного шламохранилища № 3, чаша которого заполнена слабыми шламовыми грунтами, несущую способность которых следует установить.

Организация безопасного строительства на первом этапе ставит задачу изучения прочностных и деформационных свойств шламовых грунтов, литологически слагающих тело шламохранилища для прогнозирования поведения слабого шламового основания во времени. Шламохранилище № 3 введено в эксплуатацию в 1975 году, а в 1979 году реконструировано за счет повышения отметки гребня дамб.

Особое внимание при анализе физико-механических свойств шламовых грунтов и определения несущей способности шламовых грунтов следует уделять определению их качественного состояния, в связи с важностью роли поведения шламов в чаше шламохранилища, определяющей целостную безопасность процесса складирования на слабом основании. Физико-механические и водно-физические свойства изучаемых глинисто-солевых шламовых отходов, не определенные в силу объективных обстоятельств лабораторными и полевыми инженерно-геологическими исследованиями, необходимыми для прогнозирования состояния поведения слабого основания по времени, принимались по результатам прогнозирования после теоретического изучения и обоснования значений свойств шламовых грунтов на основе аналитического обобщения признанных результатов теоретических и экспериментальных исследований инженерно-геологических свойств шламов, аналогичных изучаемым. Прогнозные значения физико-механических характеристик шламовых отходов принимаются интерполяцией и экстраполяцией на основе аналитического обобщения результатов современных и ранее выполненных исследований инженерно-геологических свойств шламовых отходов в условиях ОАО «Беларуськалий», как наиболее изученных и содержащих научную и практическую информацию в части их инженерно-геологических свойств.

Исследования водно-физических и физико-механических свойств шламовых грунтов посредством горно-геологической информационной системы Micromine проведен на основе анализа архивных данных, лабораторных и полевых инженерно-геологических исследований [1, 2] (рисунок 2).

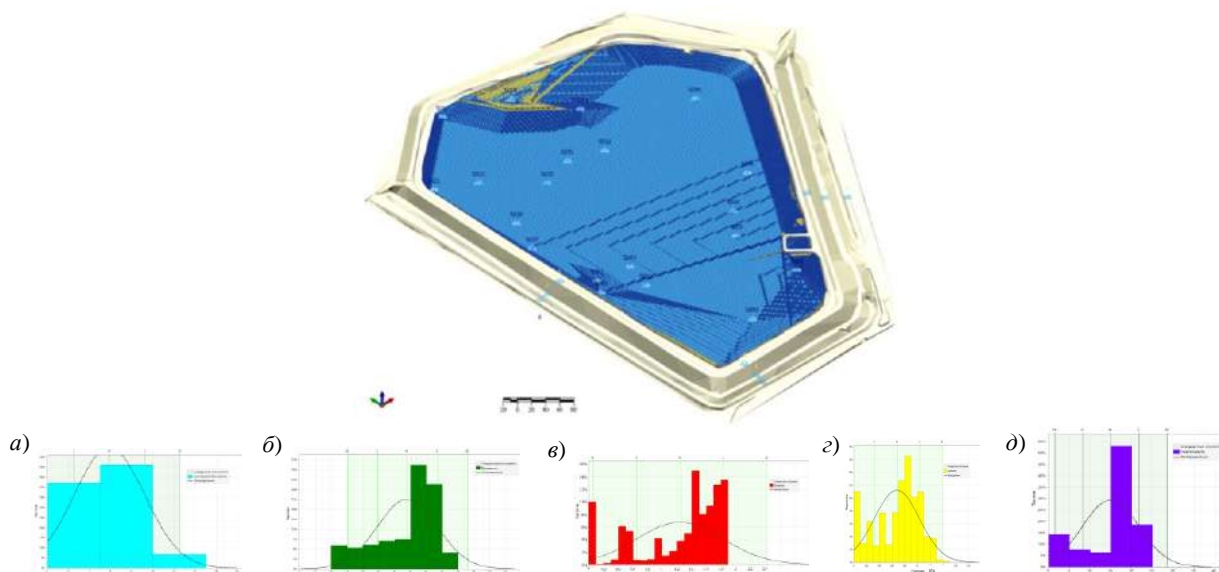


Рисунок 2 – Распределение параметров по телу шламов:
а – угол внутреннего трения; б – влажность; в – плотность; г – сцепление; д – число пластичности

Шламохранилище № 3 заполнено избыточно-засоленными шламовыми грунтами различной консистенции и частично сверху залито рассолами. Под рассолами залегают слабые шламовые грунты с влажностью не менее 60 %, мощностью от 0 до 8 м ниже поверхности земли. Под ними залегают плотные шламовые грунты нижнего слоя от пластичной до твердой консистенции с влажностью от 60 до 15–10 %, мощным сплошным чехлом покрывающие ложе шламохранилища и верховые откосы дамб.

Созданная блочная модель для условий отработанного шламохранилища № 3 дает возможность определять опасные участки шламовых грунтов и прогнозировать их потенциальные нарушения в

трехмерном и двумерном пространстве для определения несущей способности слабых шламовых грунтов. Модельные исследования в системе Micromine позволяют прогнозировать возможность складирования галитовых отходов на слабое шламовое основание.

Список литературы

1 Создание блочной геомеханической модели района Северомуйского тоннеля в ГГИС Micromine Origin&Beyond / Г. С. Федотов [и др.] // Горный журнал. – 2023. – № 1. – С. 64–68.

2 Курцев, Б. В. Геомеханическое сопровождение горных работ с использованием ГГИС Micromine / Б. В. Курцев, Г. С. Федотов // Горный журнал. – 2022. – № 1. – С. 45–50.

УДК 534.13:656.135

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЧНОСТЬ И КОЛЕБАНИЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

И. Е. КРАКОВА, О. И. ЦЫГАНЮК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Трехслойные сэндвич-панели относятся к высокоэффективным конструкциям. Они широко используются в строительстве при возведении малоэтажных домов, зданий, павильонов производственного и торгового назначений, поскольку обеспечивают меньшую нагрузку на фундамент, хорошие тепло-, звукоизоляционные показатели, позволяют сократить сроки строительства. Строительная трехслойная сэндвич-панель представляет собой конструкцию, состоящую из двух лицевых несущих слоев, которые выполнены из тонкого листа стали, обладающего высокой прочностью, а между ними расположен средний слой – наполнитель. Слои соединены с помощью клея, что обеспечивает их совместную работу.

Доставка сэндвич-панелей к местам строительства чаще всего осуществляется автотранспортными средствами. От правильности размещения и крепления грузов в кузове автомобиля зависит целостность груза в процессе транспортировки и безопасность перевозки. Правила крепления грузов на автомобильном транспорте разработаны с учетом того, что перевозимый груз жесткий. Строительные сэндвич-панели обладают высокой деформативностью. Пакеты, сформированные из таких панелей, имеют относительно небольшую массу, но значительные габаритные размеры. С целью снижения затрат на перевозку такие пакеты в кузове автотранспортного средства часто размещают в два яруса. При этом центр тяжести груза находится на значительной высоте над полом автоплатформы, что приводит в процессе транспортировки груза к значительным по величине моментам сил инерции, приводящим к перераспределению вертикальных нагрузок на средства крепления.

Исследованию колебаний трехслойных пластин посвящено немало работ. Например, в статьях [1, 2] решена задача об определении собственной частоты колебаний трехслойной пластины при различных способах закрепления ее вершин и краев. Практически не рассматривались ситуации, связанные с размещением пакетов, сформированных из двух и более трехслойных панелей, в два яруса. Ранее нами была разработана методика расчета для пакета сэндвич-панелей, срединный слой которых выполнен из минеральной ваты [3]. Целью рассматриваемой работы стал анализ влияния механических свойств трех типов материала срединного слоя (заполнителя) строительных сэндвич-панелей на частоты собственных колебаний пакета и прочность панелей под действием нагрузок, возникающих при их перемещении автотранспортным средством.

Для анализа влияния механических свойств срединного слоя строительной сэндвич-панели были разработаны упрощенные модели пакетов, включающих в себя шесть панелей размером $7200 \times 1000 \times 80$ мм, размещенных друг над другом. Между панелями установлены пенопластовые прокладки с размерами $400 \times 1000 \times 40$ мм, расположенные симметрично относительно центра панели. Нижняя панель пакета опирается на такие же прокладки, установленные на неподвижное основание. Рассмотрен случай расположения одинаковых пакетов в два яруса.

Для расчета напряженно-деформированного состояния и расчета частот собственных колебаний для панелей с различным материалом срединного слоя в программном комплексе ANSYS построена конечно-элементная модель перевозимого груза, учитывающая особенности геометрии и физико-механических свойств материалов слоев, составляющих панели. Для расчета принимались следующие исходные данные: для стали (облицовочные слои) плотность $\rho_1 = 7800$ кг/м³, модуль упругости $E_1 = 200$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu_1 = 0,3$. Рассмотрены три варианта исполнения наполнителя,