

УДК 624.131

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Гурьев Д.В., аспирант

Бахаева С.П., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Оценка безопасности ограждающих сооружений накопителей жидких отходов горнопромышленных предприятий [1] является ключевым моментом на всех стадиях их жизни. Одним из параметров оценки безопасности является обеспечение устойчивости откосов сооружения, определяемого величиной коэффициента запаса устойчивости.

В работе Михайловой Т.В. [2] было представлено разделение параметров, влияющих на коэффициент запаса устойчивости сооружения, на три независимые группы: физико-механические свойства грунтов дамбы ( $\Delta_c$ ,  $\Delta_\phi$ ,  $\Delta_y$ ); параметры призмы возможного обрушения ( $\Delta_\delta$ ,  $\Delta_s$ ,  $\Delta_\alpha$ ,  $\Delta_l$ ); параметры гидростатического давления ( $\Delta_{h^B}$ ,  $\Delta_{h^B}$ ).

В настоящей работе провели исследование влияния физико-механических свойств грунтов сооружения на коэффициент запаса. Для расчетов определили графическую модель грунтового сооружения: геометрические параметры (ширина гребня – 5 м; высота дамбы – 15 м; заложение откосов – m=1:2) и положение депрессионной кривой (уровень воды принят на 1 метр ниже гребня). Вычисление коэффициента запаса устойчивости проводили в программе для ЭВМ "Устойчивая насыпь". Полученный массив экспериментальных данных (сцепление, угол внутреннего трения, плотность и коэффициент запаса) обработали методами статистики (корреляция) и установили, что коэффициент запаса прямолинейно связан с углом внутреннего трения ( $r = 0,99 \pm 0,01$ ) и сцепления ( $r = 0,99 \pm 0,01$ ) грунта, обратнолинейная – от плотности грунта ( $r = 0,98 \pm 0,01$ ).

На основании наличия тесной линейной связи между коэффициентом запаса от каждого физико-механических свойства грунта в отдельности предположили, что возможно составить уравнение линейной формы, описывающее зависимость от множества факторов. Применяя метод множественной

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

корреляции для массива экспериментальных данных получили уравнение линейной множественной регрессии:

$$k(\varphi, \gamma, C) = 0,80 \times \varphi_i - 0,43\rho_i + 36,52C_i + 0,80 \quad (1)$$

Проверка значимости полученного уравнения (F-критерий) показала достаточность использования переменных первых степеней (эмпирическое значение  $F_{\Phi} = 5231$  при критическом  $F_{kp} = 2,80$ ). По результатам оценки

тесноты связи, характеризуемая величиной коэффициента множественной корреляции  $R$ , установили наличие тесной связи коэффициента запаса от физико-механических свойств ( $R = 0,99$ ). Малое значение средней погрешности аппроксимации ( $\bar{\varepsilon} = 1,7\%$ ) указывает на близость прогнозных значений коэффициента запаса расчетным и ею можно пренебречь.

Обобщая результаты, сделали вывод: при прочих равных условиях изменение угла внутреннего трения на 1 градус приведет к изменению коэффициента запаса на 0,80; плотности на 0,05 т/м<sup>3</sup> – на 0,02; сцепления на 0,001 МПа – 0,04.

Как отмечалось выше, коэффициент запаса зависит от физико-механических свойств грунтов и параметров сооружения, гидростатического давления. На практике часто необходимо установить геометрические параметры, обеспечивающие устойчивое положение. Последовательность действий в упрощенном виде сводится к следующему: "выбор расчетных физико-механических свойств грунтов → выбор расчетного контура сооружения → расчет коэффициента запаса устойчивости → вывод об обеспечении устойчивости контура → если контур не обеспечивает устойчивое положение, то изменяется расчетный контур и действия повторяются".

Так как существует связь коэффициента запаса от физико-механических свойств грунтов, а геометрические параметры напрямую зависят от коэффициента запаса, то предположительно имеется четкая связь между геометрическими параметрами и свойствами грунта.

Высота  $h$  сооружения в основном известна или можно установить исходя из условий применения сооружения, следовательно, она – постоянная величина. Угол откоса  $\beta$  подбирается до выполнения условия обеспечения устойчивости сооружения, для чего проводятся многочисленные, порой трудоемкие, расчеты.

Подготовка исходных данных проводилась на модели грунтового сооружения с параметрами: высота  $h$  и ширина  $b$  гребня – 10 м; плотность  $\rho$  – 1,95 т/м<sup>3</sup>. Определение коэффициента запаса производили с помощью программы

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием  
**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**  
**ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**  
**ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

«Устойчивая насыпь». Применяя метод множественной корреляции для полученных экспериментальных данных, получили уравнение множественной регрессии угла откоса сооружения от физико-механических свойств грунта:

$$\beta_i = 15,88C_i + 1,27\varphi_i - 3,52. \quad (2)$$

Проверка адекватности регрессионной модели угла откоса показала: близость прогнозных значений эмпирическим подтверждается малым значением средней ошибки аппроксимации ( $\bar{\varepsilon} = 2,7\%$ ); достаточность включенных переменных, так как наблюдается превышение эмпирического значения критерия Фишера ( $F_\Phi = 596$ ) критического ( $F_{kp} = 19,4$ ).

Связь оценивается как тесная (коэффициент множественной корреляции  $R$  равен  $0,98 \pm 0,01$ ).

Анализ уравнения (2) показал: при прочих равных условиях изменение угла внутреннего трения на 1 градус приведет к изменению угла откоса на 1,3 градуса, сцепления на 0,01 МПа – на 0,16 градуса.

Уравнение угла откоса сооружения от механических свойств представили в виде номограммных кривых (рисунок 1).

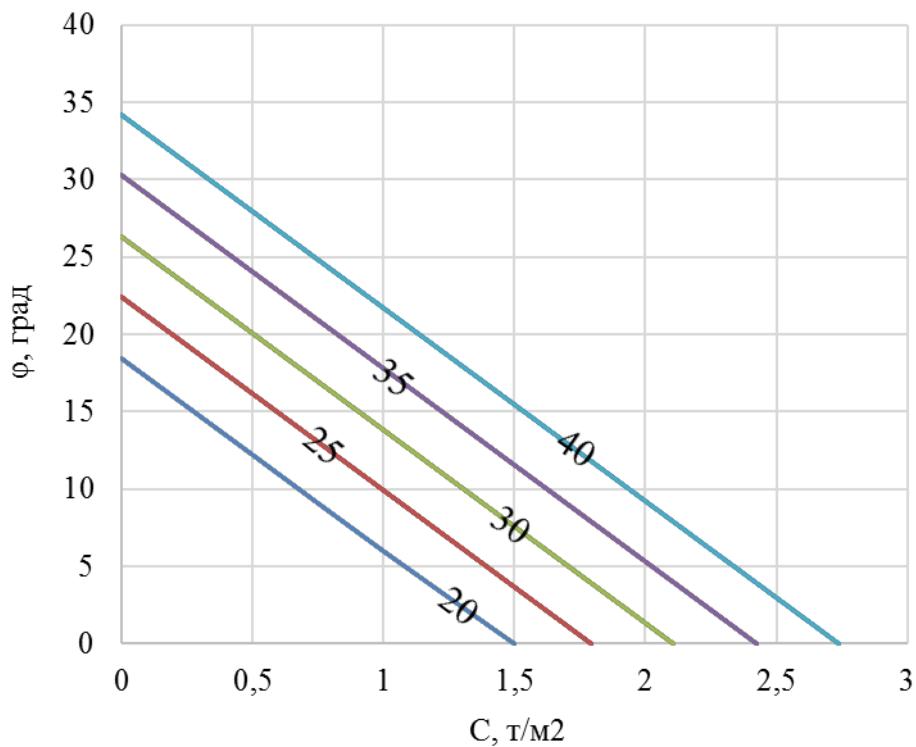


Рис. 1. Зависимость угла откоса от механических свойств (при высоте – 10 м; плотности грунта – 1,95 т/м<sup>2</sup>)

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Список литературы:**

1. Закон РФ от 21.07.97 № 117-ФЗ "О безопасности гидротехнических сооружений".
2. Михайлова, Т.В. Обоснование точности маркшейдерского мониторинга грунтовых дамб накопителей жидких отходов горнодобывающих предприятий [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (25.00.16) / Михайлова Татьяна Викторовна; - Екатеринбург, 2013.