

# ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ПРИ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Лолаев Алан Батразович*

Доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета), г. Владикавказ;

Главный научный сотрудник Владикавказского научного центра  
Российской академии наук

*Бадоев Александр Сергеевич*

Инженер-исследователь Научно-образовательного центра  
«Геоинжиниринг» ФГБОУ ВО Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета), г. Владикавказ; Научный сотрудник

Владикавказского научного центра Российской академии наук

*Оганесян Эмил Хачатурович*

ФГБОУ ВО Северо-Кавказского горно-металлургического института  
(Государственного технологического университета), г. Владикавказ

*Кацанов Азамат Заурбекович*

Магистрант ФГБОУ ВО Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета), г. Владикавказ

**Аннотация:** Разработаны и обоснованы методы, обеспечивающие устойчивость ограждающей дамбы при строительстве гидротехнических сооружений (хвостохранилищ), установлены границы технологических параметров устойчивости.

**Ключевые слова:** хвостохранилище, устойчивость, хвосты, технологические параметры.

**Abstract:** The methods that ensure the stability of the dam during the construction of hydraulic structures (tailings) are developed and substantiated, the limits of the technological parameters of stability are established.

**Keywords:** tailing, stability, tails, technological parameters.

Для обеспечения процесса расчетного сопровождения прогноза безопасности и устойчивости хвостохранилищ в эксплуатационном режиме необходимо моделирование различных ситуаций, которые могут возникнуть на хвостохранилище в процессе его эксплуатации: изменение заложения низового откоса и параметров пляжа, изменение физико-механических свойств хвостов, увеличение высоты сооружения и т.д.

За последние годы накоплен значительный опыт эксплуатации сооружений хранилищ и возведения плотин и дамб, намываемых из отходов производства и отсыпаемых из вскрышных пород, и соответственно разработано большое количество правил, инструкций, рекомендаций и т.п. [1]

Наращивание высоты первоначальной насыпной дамбы производится путем намыва хвостов, при котором наиболее крупные частицы осаждаются из пульпы в начале пляжа, а затем более мелкие и в последнюю очередь самые тонкие.

В связи с этим проблема формирования и безопасной эксплуатации хвостохранилищ является весьма актуальной и требует разработки и реализации мероприятий по повышению их устойчивости.

В пределах изучаемого объекта можно выделить области, для исследования которых целесообразно применить разные способы моделирования [2]. Такие сочетания принято называть «гибридным моделированием».

Теория принятия решений различает три возможные ситуации выбора решения и для решения в условиях риска и в условиях неопределенности

положений был применен комплекс экспериментальных исследований, обоснована нечеткая природа инженерно-геологических условий и разработан алгоритм построения прогностических моделей.

Для построения базовой расчетной схемы было выбрано сечение на ПК-28 ограждающей дамбы хвостохранилища «Лебяжье» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», являющееся наиболее характерным и представляющее наиболее уязвимую зону для аварии. Для прогнозирования устойчивости ограждающей дамбы были выбраны шесть факторов в виде входных лингвистических переменных, наиболее информативных об изучаемом процессе:

$X_1$  – функция угла откоса дамбы, градус;

$X_2$  – функция высоты дамбы, м;

$X_3$  – функция гранулометрического состава грунтов, мм;

$X_4$  – функция температурного состояния тела дамбы,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$X_5$  – функция давления подземных грунтовых вод, МПа;

$X_6$  – функция ширины пляжа, м.

В качестве зависимой переменной  $Y$  выбрано значение коэффициента устойчивости.

Далее была сформирована матрица опроса в виде полного факторного эксперимента типа  $2^{n+1}$  где  $n$  – количество входных лингвистических переменных [3, 4], представленная в форме крайних значений входных лингвистических переменных. Обработка результатов опроса проводилась в кодированном виде.

Результирующее уравнение в кодированном виде имеет вид:

$$\begin{aligned} Y = & 1,38 - 0,11 X_1 - 0,05 X_2 + 0,04 X_3 + 0,08 X_4 - 0,06 X_5 + 0,03 X_6 - \\ & - 0,03 X_1 X_2 + 0,02 X_1 X_4 - 0,02 X_2 X_6 + 0,02 X_3 X_5 + 0,02 X_4 X_5 - \\ & - 0,02 X_4 X_6 + 0,03 X_5 X_6 + 0,02 X_2 X_3 X_4 - 0,02 X_2 X_3 X_5 + 0,02 X_3 X_4 X_5 \end{aligned}$$

(1)

где  $Y$  – значение коэффициента устойчивости

Для построения базовой расчетной схемы было выбрано сечение на ограждающей дамбы, являющееся наиболее характерным и представляющее наиболее уязвимую зону для аварии.

Коэффициент запаса устойчивости составил:

$$k_{уст} = 1,48 \quad (2)$$

Это свидетельствует об устойчивости сооружения в соответствии с нормами, предъявляемыми к сооружениям такого класса (Таблица 1).

Здесь необходимо отметить, что сооружения типа хвостохранилища относятся ко второму классу опасности и минимальный коэффициент устойчивости составляет [5]:

$$k_{уст} = 1,2 \quad (3)$$

Таблица 1

Вид легенды к карте устойчивости хвостохранилища

| Сочетания нагрузок и воздействий | Класс капитальности |          |          |          |
|----------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|
|                                  | I                   | II       | III      | IV       |
| <b>Основные</b>                  |                     |          |          |          |
| Выше допустимого                 | >1,3                | >1,2     | >1,15    | >1,1     |
| Допустимый                       | 1,3-1,25            | 1,2-1,15 | 1,15-1,1 | 1,1-1,05 |
| Недопустимый                     | <1,25               | <1,15    | <1,1     | <1,05    |
| <b>Особые</b>                    |                     |          |          |          |
| Выше допустимого                 | >1,1                | >1,1     | >1,05    | >1,05    |
| Допустимый                       | 1,1-1,05            | 1,1-1,05 | 1,05     | 1,05     |
| Недопустимый                     | <1,05               | <1,05    | <1,05    | <1,05    |

Для оценки корректности определения коэффициента устойчивости ограждающей дамбы по предложенной модели, была проведена также оценка устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища с применением теории математического планирования эксперимента, для которой независимыми входными переменными  $X_i$ , выбраны те же 6 основных факторов.

В итоге получена математическая модель вида:

$$k_{уст} = 1,55 - 0,217X_1 - 2,129 \cdot 10^{-3}X_2 + 0,042X_3 - 6,172 \cdot 10^{-3}X_4 - 0,046X_5 + 8,169 \cdot 10^{-4}X_6 \quad (4)$$

По уравнению (4) был проведен расчет коэффициента устойчивости для того же створа дабы (ПК - 28) и он составил:

$$k_{уст} = 1,54 \quad (5)$$

После намыва хвостов высотой слоя на 0,5 м, что обусловлено сроками технологического отдыха, на участках где по результатам расчетов были получены неудовлетворительные коэффициенты устойчивости для разных участков: 1,05; 1,00; 1,02; 1,14, было произведено вторичное обвалование хвостов пляжной зоны на расстоянии до 5 м с применением экскаваторов [6].

Дополнительная дамба обвалования в свою очередь приводит к:

- изменению геометрических параметров дамбы с увеличением размеров дамбы по верху, а исследования показали существенное влияние конструктивных параметров на безопасность сооружения и на риск аварии;
- ускорению процессов консолидации намывных хвостов и естественному улучшению основания для применения последующей технологии уплотнения тела дамбы и пляжной зоны.

Принципиальная схема создания дамбы вторичного обвалования с помощью экскаватора показана на рисунке 3.

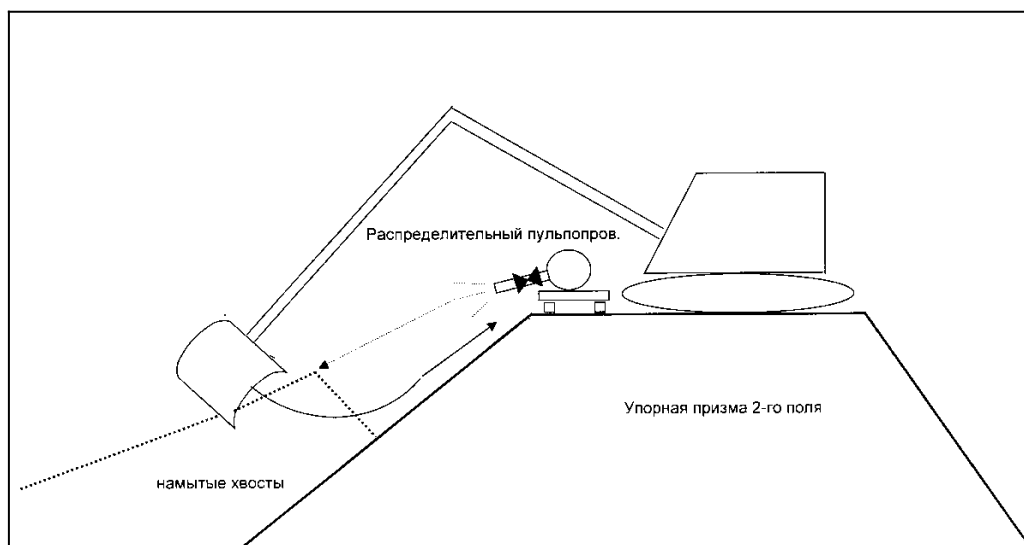


Рисунок 3 Принципиальная схема устройства дамбы вторичного обвалования из намытых хвостов

Оценка устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища с применением теории математического планирования эксперимента.

Независимыми входными переменными  $X$ , были выбраны те же 6 основных факторов определенных позволяющих определить регрессионные зависимости факторов, влияющих на объект.



Рисунок 2 Схема уплотнения хвостов пляжной зоны.

1 – след, перекрываемый катком; 2 – каток.

Результаты полученных данных сравнивались с результатами базового варианта расчета устойчивости и оценки риска сооружения. Они показывают динамику изменения свойств грунтов, что сказывается на показатель устойчивости и риска, доказывая правомерность применения

технологии управления риском сооружения при его возведении (Таблица 2).

Таблица 2

Сравнительные результаты расчета устойчивости участков ограждающей дамбы хвостохранилища.

| <b>Значение <math>k_{уст}</math>, до применения технологий</b> | <b>Значение <math>k_{уст}</math>, после применения технологий</b> |
|--|---|
| 1,05   | 1,25  |
| 1,00   | 1,26  |
| 1,02   | 1,31  |
| 1,14   | 1,41  |

Таким образом, технологии управления риском определенные лабораторными экспериментами нашли подтверждение на натуральных экспериментах и показали действенность исследований.

### Список литературы

1. Аксенов С.Г., Жабовский В.П. Проблемы безопасности накопителей промстоков (хвостохранилищ, шламохранилищ и гидроотвалов) промышленных предприятий и пути повышения их устойчивой работы. Четвертый международный симпозиум «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях» / ВНИИ ВИОГЕМ. – Белгород: 1997. – С.127 – 132.

2. Бутюгин В.В., Шкода В.С. Роль гибридного моделирования в разработке технологий строительства намывных гидротехнических сооружений. Сборник тезисов докладов научно-технической конференции / Норильский индустриальный ин-т. – Норильск, 2000. – С. 123 – 124.

3. Гвоздик А.А. Решение нечетких уравнений // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1984. - № 5. – С. 176 – 183.

4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее приложение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

5. СП 58.13330.2012: Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 (с Изменением N 1)

6. Lolaev A.B., Sumin M.N., Oganessian E.Kh., Akopov B.P. Geotechnical modeling and numerical analysis of the tailing dam stability in the permafrost region: Proceedings of the 2-nd International Conference "Geotechnics for Sustainable Development". - Hanoi, VIETNAM. - 2013