
© В.Н. Зуй, А.Ю. Панфилов,
С.А. Пуневский, И.В. Пелагеин,
2010

УДК 622.271:622.693.25

В.Н. Зуй, А.Ю. Панфилов, С.А. Пуневский, И.В. Пелагеин
**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩА
(ОАО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»)
ПРИ ЕГО НАРАЩИВАНИИ**

Установлена возможность наращивания гидротехнических сооружений хвостохранилища ОАО «Лебединский ГОК» выше отметки 232 м, предусмотренной существующим проектом. Оценена устойчивость головной дамбы.
Ключевые слова: головная дамба, грансостав, гидроотвал, хвостохранилище, гидровскрыша.

Семинар № 1

Целью работы являлось установление возможности наращивания гидротехнических сооружений хвостохранилища ОАО «Лебединский ГОК» выше отметки 232 м, предусмотренной существующим проектом, и оценка устойчивости головной дамбы.

Для получения бесперебойной информации об устойчивости наиболее ответственного откосного сооружения хвостохранилища – головной дамбы, был внедрен автоматизированный удаленный контроль. Скважинный автоматический периодомер САП-1М/GSM измеряет в автоматическом режиме показания струнных датчиков давления воды типа ПДС, накапливает результаты измерения в энергонезависимой памяти и передает данные по сотовой GSM сети в компьютер. Расчеты устойчивости дамбы производятся с использованием программного обеспечения, позволяющего оценивать устойчивость откосных сооружений методом алгебраического суммирования и многоугольника сил. Следует отметить возможности многоцелевого исполь-

зования предложенной системы дистанционного контроля.

В течение года выполнялся анализ состояния и расчет устойчивости откосных сооружений намывных объектов ОАО «Лебединский ГОК». Коэффициенты запаса устойчивости обследованных откосных сооружений законсервированного гидроотвала №1, действующего гидроотвала «Балка Безымянная», головной дамбы хвостохранилища по состоянию на конец 2008 г. превышают нормативные значения.

Были выполнены лабораторные исследования грансостава хвостов рудообогащения, пробы которых отбирались в отсеке № 2 по 2-м стварам из 10-ти шурfov в каждом створе. Определены грансостав, водно-физические, прочностные и деформационные свойства хвостов. Четкая закономерность фракционирования в пляжной зоне не выявлена.

Установлена принципиальная пригодность хвостов пляжной зоны для отсыпки ограждающих и разделительных ГТС при наращивании хвостохранилища выше отметки 232 м.

Также были отобраны пробы и проведены исследования физико-механических свойств намывных мелов из прудковой зоны гидроотвала (отсек №7 хвостохранилища).

Выполнены предварительные расчеты устойчивости откосных сооружений головной дамбы, северо-западной и западной дамб, дамбы действующего гидроотвала при их наращивании до отметки 242 м. При обеспечении нормативного коэффициента запаса устойчивости установлена возможность размещения значительных объемов хвостов и гидровскрыши в существующих контурах хвостохранилища.

Разноречивость данных о физико-механических свойствах намывных хвостов (материалы Укргидропроекта, ЦГР, ВИОГЕМ, НИИКМА) не позволяет надежно оценить устойчивость откосных сооружений. Требуется выполнить представительный комплекс инженерно-геологических исследований намывных отложений и грунтов оснований дамб. К сожалению, при проектировании хвостохранилища не были рассмотрены варианты использования в качестве материала дамб скальной вскрыши и не учтен опыт возведения гидроотвалов и хвостохранилищ в Кузбассе и Кривбассе.

Дистанционный контроль порового давления для оперативной оценки устойчивости головной дамбы хвостохранилища

В 2008г. была внедрена система удаленного автоматизированного контроля порового давления по измерительному профилю в пределах 2-го отсека хвостохранилища и оперативного определения коэффициента запаса устойчивости головной дамбы на любой заданный момент времени. Измерения производились струнными

датчиками давления воды конструкции Гидропроекта, заложенными в тело головной дамбы. Расчеты устойчивости производились с использованием программного обеспечения, позволяющего оценивать устойчивость откосных сооружений методами алгебраического суммирования сил и многоугольника сил (рис. 1.)

Результаты оценки устойчивости откосных сооружений по состоянию на конец 2008 г.

Наряду с внедрением автоматизированного контроля продолжались замеры порового давления по стационарному измерительному профилю ГК-1 на гидроотвале «Балка Безымянная» и по пьезометрическим профилям с помощью переносных датчиков. Для существующих контуров дамб получены по состоянию на октябрь 2008 г. коэффициенты запаса устойчивости, превышающие нормативные ($\eta > 1,35$).

Расчеты устойчивости откосных сооружений хвостохранилища при его возведении выше отметки 232 м

Предварительная оценка устойчивости ограждающих дамб при наращивании хвостохранилища выше отметки 232 м предусматривала:

- 1) наращивание головной дамбы до отметки 242 м без усиления низового откоса;
- 2) наращивание ограждающей дамбы на северо-западном и северном участках дамбы с использованием скальной вскрыши и окисленных железистых кварцитов;
- 3) наращивание дамбы гидроотвала б. Безымянная (отсек 7) с частичным использованием скальной вскрыши.

Усиление низового откоса головной дамбы путем отсыпки скальной

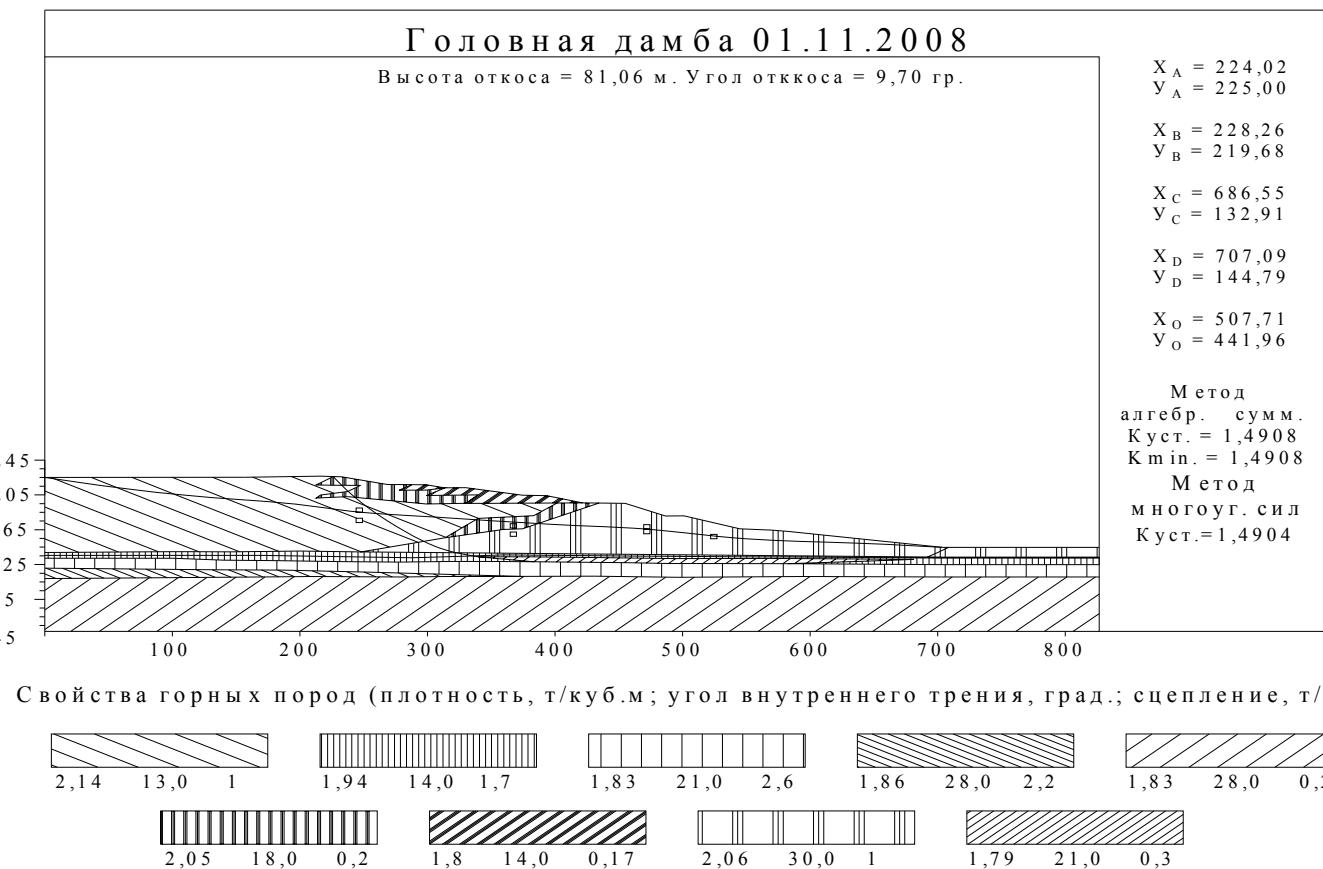


Рис. 1. Результаты оценки устойчивости головной дамбы хвостохранилища с использованием данных автоматизированного удаленного контроля

вскрыши связано с серьезными затруднениями из-за наличия концентратопровода, перекрытие которого недопустимо.

Вопросы формирования ограждающей дамбы на северо-западном и северном участках с использованием скальной вскрыши и окисленных кварцитов рассмотрены в работах НИИКМА (2003 г.) и МГГУ (2007 г.).

Выполнены многовариантные расчеты устойчивости дамб с применением рекомендуемых методов алгебраического суммирования и многоугольника сил, которые успешно использованы для объектов Лебединского и многих других ГОКов.

Рассматривались следующие основные варианты контуров дамб и кривых депрессии:

- $H_d = 60 \text{ м}; 50; 35 \text{ м}$;
- генеральный угол наклона низового откоса дамбы $\beta_r = 18^\circ; 16^\circ; 14^\circ$;
- ширина пляжа $L_p = 200 \text{ м}; 100 \text{ м}; 20 \text{ м}$.

Однако наращивание ограждающих дамб выше отметки 242 м на всей территории хвостохранилища не представляется возможным с учетом ограничений, накладываемых условиями устойчивости головной дамбы.

Оценка возможностей повышения вместимости хвостохранилища произведена НИИКМА, исходя из условия отсыпки ограждающей дамбы из окисленных железистых кварцитов (северный участок, примыкающий к контуру намыва хвостов) и пород скальной вскрыши (северо-западный участок, примыкающий к контуру намыва хвостов и вскрышных пород гидроотвала). Рекомендуемые НИИКМА и уточненные параметры опережающей отсыпки дамб по расчетным профилям обоих участков приведены в таблице.

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что допустимые результирующие углы низовых откосов ограждающих дамб из пород скальной вскрыши значительно выше фактических и предусмотренных проектом реконструкции хвостохранилища при формировании откосов из хвостов надводного намыва, что положительно сказывается на увеличении общей емкости хвостохранилища формируемого выше отметки 210 м только в контурах ограждающих дамб.

Полученная НИИКМА зависимость изменения общего объема ограждающих дамб и также по северному и северо-западному участкам от отметок заполнения (отсыпки) представлена на рис. 2. При этом общий объем первого этапа отсыпки (до отметки 232 м) равен 12,12 млн m^3 , а второго этапа (с отметки 232 до отметки 262 м) – 11,58 млн m^3 . Общая площадь ограждающей дамбы по ее основанию составляет 80 га.

С учетом выполненных расчетов устойчивости дамб и данных табл. 1 общий объем дамб увеличивается на 1,2 млн m^3 , а площадь ограждающей дамбы по ее основанию увеличится на 3 га.

Полученные высокие значения фильтрационных свойств пород окисленных кварцитов и скальной вскрыши позволяют сделать однозначный вывод о том, что строительство трубчатого дренажа в низовых откосах ограждающих дамб в процессе намыва хвостохранилища не потребуется.

В случае отсутствия усиления низовых откосов формирования ограждающих дамб до отметки гребня 242 м с использованием профиля с генеральным углом низового откоса $\beta_r \approx 10^\circ$.

Таблица 1
**Рекомендуемые параметры опережающей отсыпки
ограждающих дамб из пород скальной вскрыши**

Участки отсыпки дамб	Типы отсы- паемых пород	№№ расчет- ных профи- лей	Отметки за- полнения, м	Высота ограж- дающих дамб, м	Допусти- мая вы- сота от- сыпае- мых яру- сов, м	Результирующие углы откосов, град.*	
						низо- вого	верхо- вого
Северо- западный	Смесь кри- сталлических и выветрен- ных пород скользкой вскрыши	1'-1'	212÷262	50	20	<u>20</u> <u>16</u>	22
		2'-2'	230÷262	32	20	<u>24</u> <u>20</u>	26
Север- ный	Окисленные железистые кварциты	3'-3'	227÷262	35	25	<u>20</u> <u>18</u>	25
		4'-4'	204÷262	58	25	<u>18</u> <u>16</u>	21

* В числителе – рекомендуемые НИИКМА значения угла,
в знаменателе – уточненные на основе расчетов устойчивости

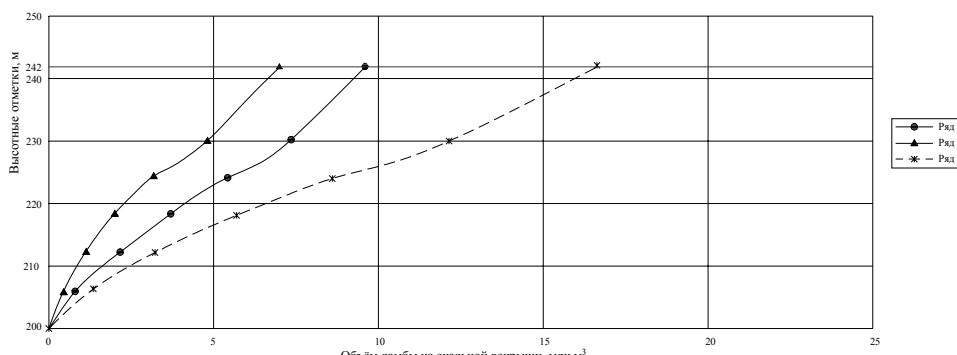


Рис. 2. График зависимости объемов ограждающих дамб из скальной вскрыши от отметок заполнения: ряд 1 – объем северо-западного участка дамбы (породные смеси скользкой вскрыши); ряд 2 – объем северного участка дамбы (окисленные железистые кварциты); ряд 3 – общий объем северо-западной дамбы из скользкой вскрыши

Профиль дамбы гидроотвала (отсек №7) в окрестности створа стационарного контроля МГГУ дан на рис. 3. При отметке гребня дамбы 242 м и рассматриваемом контуре дамбы устойчивость сооружения обеспечивается ($\eta = 1,3503$).

С учетом результатов выполненных расчетов устойчивости ограждающих дамб выполнена оценка ожидаемого прироста объема 7-ми

отсеков до отметки гребня дамбы 242 м (при отметке поверхности намыва 240 м).

Объемы хвостов, которые может принять реконструированное хвостохранилище, подсчитывались следующим образом: для каждого отсека строилась цифровая модель существующей поверхности, состоящей из ограждающих дамб и поверхности намыва хвостов.

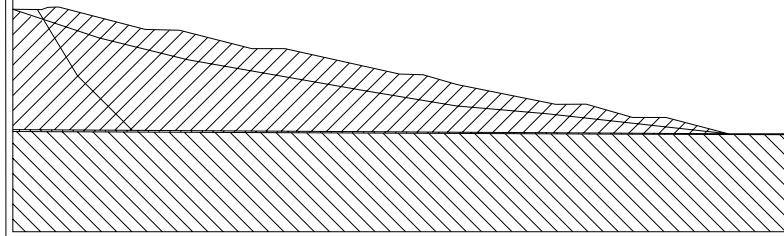
Плотина на балке Сура отметка 242

Н откоса=67.00м; Угол откоса=10.64гр.

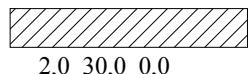
$x = -137,90$
 $y = 240,00$
 $x = -132,83$
 $y = 231,21$
 $x = 227,29$
 $y = 174,81$
 $x = 228,00$
 $y = 175,00$
 $x = 40,81$
 $y = 331,46$

Метод
 алгебр. сумм.
 $K_{min} = 1,3503$
 $K_{ust} = 1,3503$

Метод
 многоуг. сил
 $K_{ust} = 1,3490$



Свойства пород (плотность, т/куб. м; угол внутреннего трения, град.; сцепление, т/кв. м)



2,0 30,0 0,0



1,9 16,0 3,0



1,84 14,0 1,7

Рис. 3. Расчет устойчивости дамбы гидроотвала при отметке гребня 242 м

Исходными данными являлись координаты точек, лежащих на бровках ограждающих дамб, и их высотные отметки, а также точки на линиях внешнего контура намыва хвостов с высотной отметкой заполнения отсека.

Далее на массиве этих точек строилась триангуляционная сеть, с помощью которой можно вычислить высотные отметки любой точки в пределах контура отсека. Подобным образом строится цифровая модель поверхности на конец заполнения реконструированного отсека. Затем численным интегрированием определялся объем намывного материала на конец заполнения реконструирован-

ного хвостохранилища, включая объемы хвостов на создание ограждающих и разделительных дамб. Определены объемы хвостов и гидровскрыши при наращивании ГТС до отм. 242 метра, с учетом результатов предварительных расчетов устойчивости откосных сооружений: 273 млн m^3 хвостов и 92 млн m^3 гидровскрыши.

Заключение

Выполнено внедрение автоматизированного удаленного контроля устойчивости головной дамбы хвостохранилища, определены текущие значения коэффициента запаса устойчивости дамб по контрольным створам, а также установлены контуры устой-

чивых дамб при максимальной отметке гребня выше 232 метра. В октябре 2008 г. была изменена частота замеров порового давления до 2-х раз в сутки, а также произведена замена передающей антенны на более мощную и плановая замена элементов питания перед зимним периодом.

Предложенная система дистанционного контроля может быть использована для определения широкого комплекса параметров (давления, температуры, деформаций). Целесообразно внедрить систему удаленного автоматизированного контроля на существующем стационарном профиле дамбы гидроотвала «Балка Безымянная» с бурением дополнительной наблюдательной скважины на верхней площадке дамбы.

Комплекс лабораторных исследований включал определения воднофизических свойств хвостов и намывных мелов, компрессионные, срезные (на приборах плоскостного среза) и трехосные (на стабилометрах ВИОГЕМ) испытания. Полученные данные (с учетом их ограниченного

объема) являются недостаточными для рабочего проектирования. Следует также отметить разноречивость характеристик техногенных отложений.

Определены объемы хвостов и гидровскрыши при наращивании ГТС до отм. 242 метра, с учетом результатов предварительных расчетов устойчивости откосных сооружений: 273 млн м³ хвостов и 92 млн м³ гидровскрыши. Установлена принципиальная пригодность хвостов пляжной зоны для отсыпки ограждающих и разделительных ГТС при наращивании хвостохранилища выше отметки 232 м.

Отмечается целесообразность использования территории примыкающего к действующему гидроотвалу за консервированного гидроотвала «Балка Чуфичева».

Составлена программа комплекса инженерно-геологических работ для обеспечения рабочего проектирования наращивания хвостохранилища выше отм. 232 метра, предусматривающая участие ряда специализированных организаций. ГИАВ

Коротко об авторах

*Зуй В.Н. – старший научный сотрудник,
Панфилов А.Ю. – кандидат технических наук,
Пуневский С.А. – кандидат технических наук,
Пелагеин И.В. – аспирант,
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@mstsu.ru*

