© А.М. Бураков, С.А. Ермаков, М.В. Каймонов, А.С. Курилко, Ю.А. Хохолов, 2006

УДК 627.8

А.М. Бураков, С.А. Ермаков, М.В. Каймонов, А.С. Курилко, Ю.А. Хохолов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ДРАЖНЫХ ПОЛИГОНОВ В УСЛОВИЯХ РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ

Семинар № 16

Лед и замороженный грунт уже многие годы используется на Севере при строительстве гидротехнических сооружений (дамбы, плотины), которые могут эксплуатироваться длительное время [1, 2]. Ледяные и льдопородные сооружения являются самыми дешевыми, прочными и устойчивыми благодаря большому количеству аккумулированного в зимнее время атмосферного холода, запасов которого вполне достаточно для поддержания тела плотин (дамб) в замороженном, и, следовательно, устойчивом состоянии в теплый период года.

Отработка основных запасов россыпного алмазоносного месторождения «Горное» (Мирнинский район Республики Саха (Якутия), прииск "Ирелях" АК «АЛРОСА») предусмотрена дражным способом.

Месторождение «Горное» представляет собой типичную надпойменную террасовую россыпь отличительной особенностью которой является ее значительная протяженность и ширина с расположением значительной части запасов на разных гипсометрических уровнях, что требует четкой организации горно-подготовительных, вскрышных, добычных и рекультивационных работ.

Для обеспечения доступа драги к промзапасам на месторождении «Горное» технологией работ предусмотрено строительство 15 плотин-котло-ванов с общей протяженностью дамб более 32 км. Дамбы сооружаются из пород вскрыши, укладываемых по подошве на плотик промзапасов. Технологией производства работ предусмотрено опережающее по времени вскрытие промблоков от торфов и выемка песков по всей протяженности контурных осей котлованов. Исходя из того, что дамбы будут использоваться для передвижения автосамосвалов БелАЗ-7548, ширина гребня дамб принята 10 м.

Настоящая работа содержит результаты моделирования теплового режима дамб-плотин дражных котлованов, сооружаемых методом послойного намораживания.

В зависимости от начального значения отрицательной температуры кусков мерзлой породы и количества заливаемой воды слой влажных горных пород может быть заморожен за счет холода, аккумулированного в мерзлых кусках за различный период. Оптимизация фор-

мирования льдопородного массива состоит в минимизации времени замораживания и является нестационарной, нелинейной и многопараметрической задачей. На время замораживания влияют много факторов, которые необходимо учитывать в их взаимодействии. Это - объем и начальная температура замораживаемой воды, температура атмосферного воздуха и скорость его движения, температура горных пород, их объем и грансостав, конечная температура льдопородного массива. Только при оптимальном соотношении всех этих параметров можно образовать монолитный искусственный замороженный массив с необходимыми прочностными и фильтрационными свойствами за заданный период времени. Замерзшая смесь имеет высокую прочность на сжатие – от 2,0 до 6,0 МПа при температуре –5 °С.

Строительство дамб дражных котлованов предусматривается в зимний период (ноябрь-март) из мерзлых вскрышных пород (суглинков). По условиям фильтрационной прочности дамбы устраиваются с врезкой зуба в коренные породы и оформлением ядра путем послойной укладки, укатки, дополнительного увлажнения до 25-30 % влажности и последующей проморозки каждого слоя в течение периода, определенного расчетом. Поверхность гребня дамбы и боковые откосы отсыпаются крупнофракционным материалом (щебнем) из плотиковых пород месторождения.

При постоянном или цикличном заполнении котлованов водой и дальнейшей эксплуатации дамб в условиях воздействия годового хода температур, возможно оттаивание поверхно-стного слоя на определенную глубину, с возникновением фильтрующего слоя. Для предотвращения возможного оплывания пород постоянные песчаные и песчано-глинистые откосы необходимо пригружать гравийной призмой треугольного сечения, параметры которого зависят от коэффициента фильтрации водоносного слоя $K_ф$, удельного расхода q и от заложения откоса в пределах промежутка высачивания m.

Применение каменной наброски поверх тела плотины позволит увеличить угол откоса плотины и, соответственно, уменьшить основание плотины, что, в свою очередь, приведет к значительному уменьшению объемов работ нулевого цикла при подготовке основания плотины и к существенному уменьшению объемов грунтов, отсыпаемых в тело плотины. Кроме того, что каменная наброска выполняет предохранительную роль от оплывания откосов плотины при их длительном стоянии под слоем воды, она исключает возможность образования морозобойных трещин (зарождение морозобойных трещин в земляных плотинах возможно в интервале глубин 0,0÷1,5 м от поверхности). Эта же мера автоматически защищает плотину от сезонного пучения. Величина пригрузки (ширина основания гравийной призмы), определенная расчетами для дамб высотой до 12 м составляет 2,7 м; для дамб высотой до 10 м – 1,8 м; для дамб высотой до 8 м – 1,5 м.

Укладка льдопородной смеси производится в зимнее время и состоит из следующих технологических операций: раздробленные торфа доставляется на место строительства плотины (дамбы) и укладывается слоями снизу-вверх с проливом водой, распыляемой форсунками водовозки. После промораживания слоя атмосферным холодом сверху укладывается другой слой и так далее до необходимой высоты.

Для определения динамики формирования температурного поля льдопородного массива и основания плоти-

Таблица 1

Характеристики горных пород плотины

Наименование	Обознач.	Ядро	Тело	Основание
Влажность, доли ед.	W	0,15÷0,35	0,16	0,04
Плотность, г/см^3	ρ	2,06	2,06	2,45
Коэфф. теплопроводности в талом и мерзлом состоянии, ккал/(м·ч·К)	$\lambda_т$	1,20	1,20	2,35
	$\lambda_м$	1,35	1,35	2,50
Объемная теплоемкость в талом и мерзлом состоянии, ккал/(м^3·К)	$C_т$	628	628	640
	$C_м$	540	540	540
Температура начала замерзания, °С	$T_ф$	–0,3	–0,3	–0,3

ны разработана математическая модель теплообмена атмосферного воздуха с возводимой льдопородной плотиной на основе параболических уравнений математической физики [3]. Разработанная математическая модель процесса возведения плотины методом послойного намораживания учитывает все основные факторы: влажность (льдистость) отсыпаемых горных пород, толщину слоя, годовой ход наружной температуры воздуха и т.д. Расчеты температурного режима выполнялись методом конечных разностей [4]. На первом этапе исследований решено не учитывать исходную отрицательную температуру мерзлой породы, а повышение интенсивности замораживания льдопородного массива за счет этого фактора принять в запас надежности результатов расчета. Принято, что слой водонасыщенных вскрышных горных пород имеет исходную температуру равную или выше 0 °С.

При моделировании тепловых процессов в массиве дамб котлованов были использованы данные геологических отчетов по месторождению и результаты инженерно-геологических изысканий института «Якутнипроалмаз».

На основе разработанных программ для ПЭВМ были проведены численные эксперименты по расчету послойного намораживания льдопородной плотины при следующих исходных данных:

– высота плотины 6÷18 м.

– проморозка слоя до температуры минус 5°С.

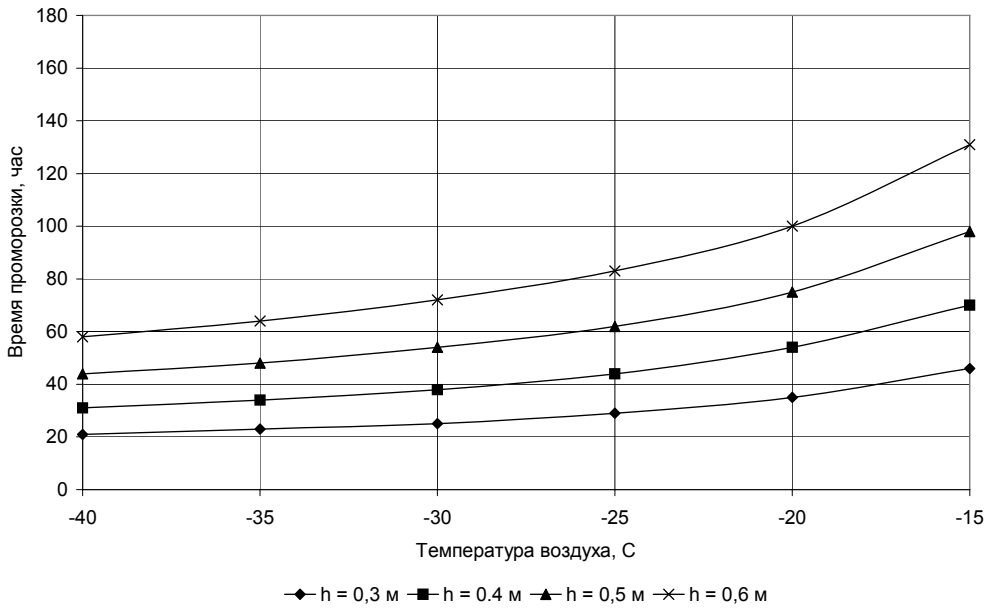
– свойства горных пород (торфов) тела, ядра и основания плотины (табл. 1).

– температура грунта на глубине нулевых годовых амплитуд T_e = =–1,5 °С.

Исследовались способы возведения льдопородной плотины при различном расходе воды: 150 л/м^3, 200 л/м^3, 250 л/м^3, 300 л/м^3 и 350 л/м^3; толщине слоя: от 0,3 до 0,6 м; начальной температуре слоя +3 °С, +1 °С и 0 °С.

Основным управляющим параметром при формирования льдопородного массива является время замораживания одного слоя при его заданной толщине. Время счета останавливается после укладки последнего слоя и при достижении температуры льдопородного массива заданного значения (–5 °С).

На основании расчетов получены зависимости времени промораживания одного слоя от температуры атмосферного воздуха, начальной тем-пературы, влажности и толщины слоя. На рис. 1 приведены зависимости для одного из вариантов расчета.



Зависимости времени промораживания слоя от температуры атмосферного воздуха и толщины слоя. Начальная температура слоя 0 °С, расход воды 250 л/м^3.

Как показывают расчеты, наиболее существенное значение для промерзания слоя до заданной температуры, при прочих равных условиях, имеет его толщина. Так, например, слой толщиной 0,3 м промерзает до температуры –5 °С в три раза быстрее чем слой толщиной 0,6 м.

Существенное значение имеет также температура атмосферного воздуха. Так, на проморозку слоя толщиной 0,5 м при температуре воздуха –15 °С требуется более чем в два раза больше времени чем при температуре воздуха –40 °С.

Увеличение влажности слоя на 10% требует увеличения времени проморозки примерно на треть. Т.е. излишнее переувлажнение слоя отсыпаемых горных пород потребует большего времени на его проморозку. В тоже время, недоувлажнение отсыпаемого слоя приведет к тому, что он будет иметь в замороженном состоянии значительно более низкие термомеханические характеристики чем при полном влагонасыщении, а образовавшиеся межкомьевые пустоты, не заполненные льдом, будут способствовать неблагоприятной фильтрационной устойчивости сооружения.

Более высокая начальная температура вновь отсыпаемого слоя значительно увеличивает время его промораживания. Например, при начальной температуре отсыпаемого слоя +3 °С, расходе воды 250 л/м^3, толщине 0,5 м и температуре воздуха –20 °С на полное промораживание слоя потребуется пять с половиной суток. При начальной температуре слоя +1 °С и прочих равных условиях – пять суток. Таким образом, чем ближе температура вновь отсыпаемого слоя к 0 °С, тем быстрее происходит его полное промораживание до заданной температуры.

Наиболее благоприятные месяцы дли возведения плотины методом послойного намораживания – декабрь, январь и

Таблица 2

Календарный график работ по строительству грунтовой плотины методом послойного намораживания

Виды работ	Время проведения работ, месяцы года					
	октябрь	**ноябрь**	**декабрь**	**январь**	**феврадь**	**март**
Подготовка основания плотины	■	■				
Промораживание основания плотины		■				
Послойное намораживание ядра плотины			■	■	■	
Укладка тела плотины			■	■	■	■
Наружная присыпка плотины			■	■	■	■

февраль, так как в эти месяцы средняя температура воздуха в данном районе ниже –20 °С и, соответственно, можно добиться наиболее высокой скорости проморозки каждого слоя. В ноябре среднемесячная температура составляет –23,9 °С, но, с теплофизической точки зрения, в этом месяце лучше подготовить и проморозить основание будущей плотины. Это позволит сформировать благоприятный температурный режим в основании плотины, что будет способствовать статической и фильтрационной устойчивости всего сооружения.

В табл. 2 представлен примерный календарный график работ по строительству грунтовой плотины методом послойного намораживания для условий месторождения Горное.

Наиболее реальным, с технологической точки зрения, вариантом с позиции получения монолитного льдопородного ядра с нулевым коэффициентом фильтрации является вариант с расходом воды 300 л/м^3 и более. Более низкие значения расхода воды для промачивания слоя пород требуют более высокого их уплотнения.

Реальный расход воды и степень уплотнения слоя пород определяется опытным путем на месте строительства.

Для ускорения строительства плотины методом послойного намораживания и уменьшения времени простоя тяжелой техники рекомендуется стро-ительство плотины разделить на несколько участков по типу технологических операций: отсыпка мерзлого грунта; выравнивание слоя необходимой толщины; уплотнение слоя; проливка слоя водой; промораживание слоя до необходимой температуры.

Таким образом, оптимизация технологических параметров послойного намораживания при строительстве мерзлой грунтовой плотины позволит формировать льдопородный массив с необходимыми прочностными свойствами, что будет способствовать повышению безопасности сооружения и ускорению сроков его возведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чжан Р.В.* Температурный режим и устойчивость низконапорных гидроузлов и грунтовых каналов в криолитозоне. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. – 208 с.
2. СНиП 2.06.05-84*. Плотины из грунтовых материалов. – М., 1991. – 49 с.
3. *Тихонов А.М., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1977. - 736 с.
4. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. - М.: Наука, 1983. - 616 с.

Коротко об авторах

Курилко А.С. – кандидат технических наук, заведующий лабораторией горной теплофизики,
Ермаков С.А. – кандидат технических наук, зав.лаб. открытых горных работ,
Бураков А.М. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Хохолов Ю.А. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Каймонов М.В. – младший научный сотрудник,

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, г. Якутск.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УХАЛОВ Константин Александрович	Исследование и моделирование показателей надежности глубинно-насосного оборудования в наклонно-направленных скважинах (на примере Кальчинского месторождения)	05.13.01	к.т.н.