

Научно-производственное объединение «ФундаментСтройАркос» – специализированное предприятие, выполняющее полный комплекс работ по замораживанию и температурной стабилизации вечномерзлых грунтов оснований самых различных объектов промышленного, гражданского и жилищного назначения: проектирование; заводское производство термостабилизирующих систем; строительно-монтажные работы; мониторинг. Производственные мощности «ФундаментСтройАркоса» не имеют мировых аналогов, как по технологичности изготовления, так и по объемам выпускаемой продукции, что делает компанию безусловным лидером в области замораживания и термостабилизации вечномерзлых грунтов. За плечами специалистов НПО «ФундаментСтройАркос» более 300 объектов, среди которых газовые и нефтяные месторождения, золотодобывающие и алмазодобывающие предприятия, железные дороги, плотины на пространстве от Нарьян-Мара до Чукотки.

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ МЕРЗЛЫХ ПЛОТИН С НАЛИЧИЕМ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Долгих Г. М.,
к. т. н., генеральный директор
НПО «ФундаментСтройАркос», Тюмень

Окунев С. Н.,
к. т. н., главный инженер НПО «ФундаментСтройАркос»

Марамыгина М. С.,
инженер НПО «ФундаментСтройАркос»

Долгих С. Н.,
зав. отд. ГТС института «Якутнипроалмаз»
АК «Алроса», Мирный

В настоящее время на многолетнемерзлых грунтах эксплуатируются и продолжают строиться гидротехнические сооружения. Грунтовые условия плотин на этапе строительства характеризуются наличием талых фильтрующих грунтов. В свою очередь при эксплуатации мерзлотных плотин под тепловым воздействием воды происходит растепление грунтов и фильтрация воды через тело плотины.

Целью расчетно-теоретического исследования является определение предельного коэффициента фильтрации грунтов (КФ.ПРЕД), при котором происходит замораживание фильтрационного потока в зависимости от способа замораживания, уровня воды и времени замораживания.

При проведении расчетов приняты **три типа охлаждающих устройств:**

- сезонно действующие охлаждающие устройства (СОУ) с естественным обдувом, отношение поверхности надземной части СОУ к поверхности подземной части СОУ принималось 4;
- сезонно действующие коллекторные устройства с аппаратами воздушного охлаждения (СОУ+АВО) с принудительной вентиляцией. Коэффициент теплоотдачи при принудительном обдуве принимался равным 107 Вт/м² К;
- каскадные холодильные машины (ХМ) с температурой хладагента в замораживающих колонках –55 °С.

Глубинные СОУ (сезоннодействующие охлаждающие устройства)

Глубинные СОУ предназначены для замораживания и температурной стабилизации грунтов плотин, устьев скважин глубиной до 100 м с целью обеспечения их эксплуатаци-

онной надежности. Это сезоннодействующее охлаждающее устройство представляет собой герметичную неразъемную сварную конструкцию, заправленную хладагентом. Глубина подземной части более 13 м.

В настоящее время разработаны и применяются следующие изделия, а именно:

Групповые СОУ. Групповые СОУ состоят из нескольких индивидуальных термостабилизаторов, каждый из которых замораживает свои горизонты. Опробованы две разновидности групповых СОУ: полной заводской готовности с полиэтиленовой вставкой и общей глубиной замораживания до 50-и метров и цельнометаллические с полевым монтажом и общей глубиной замораживания до 20 метров, теплоноситель аммиак.

Одиночные СОУ. Такие СОУ имеют диаметр 57 и 89 мм, заполненные парожидкостным теплоносителем — двуокисью углерода на всю глубину промораживания, монтируются и заправляются на объекте. Эти СОУ автономны, т.е. размещаются отдельно в вертикальных скважинах.

Применены на Иреляхской плотине с глубиной погружения 40, 50 и 80 м.

Коллекторные СОУ. Данные СОУ с помощью коллектора соединены с аппаратом воздушного охлаждения, в котором обдув оребренных труб производится при помощи вентиляторов.

Принудительный обдув воздуха оребренных труб позволяет в самые морозные безветренные периоды значительно увеличить теплообмен и получить температуру замораживающих труб практически равную температуре наружного воздуха. Такая система предназначена для интенсивного первоначального промораживания и дальнейшего экономического поддержания полученной мерзлой зоны грунта.



АК Алроса. Нюрбинский ГОК. Плотина на р. Лиендокит. Глубинное коллекторное СОУ

Идеальным теплоносителем для глубинных СОУ является углекислота, она заполняет всю промораживаемую высоту СОУ, а интенсивная циркуляция теплоносителя обеспечивается применением специальных внутренних устройств.

- Исходные данные для расчетов принимались следующие:
- глубина водохранилища в расчетах принималась 10, 15 и 20 метров;
 - время замораживания в расчетах составляло 1 и 2 года;
 - шаг СОУ принимался 1 и 2 метра;
 - СОУ установлены вдоль плотины в один ряд;
 - климатические условия принимались для г. Мирного.

Расчет прогнозных значений произведен по программе, разработанной в Сибирском отделении Академии наук. Расчетная область профиля плотины приведена на **рис. 1**. В программе рассматривается двухмерная (профильная) напорная фильтрация подземных вод под телом плотины. В верхнем бьефе (по линии АВ) задается постоянный уровень воды

в водохранилище, в нижнем бьефе (по линии НК) толщина слоя воды пренебрежимо мала. Сложение грунтов под основанием плотины горизонтально слоистое. В средней части тела плотины находится водонепроницаемое ядро, в ее основании — слабопроницаемые прослойки суглинка, остальная часть плотины сложена хорошо проницаемыми каменно-гравийными грунтами. Нижнее основание соответствует подошве — слою водоупорных пород. Линии течения подземных вод проходят по зоне протавания под телом плотины.

Тепловой режим грунтов определяется переменной температурой воздуха и воды в водохранилище, наличием снежного покрова на теле плотины и промораживающим воздействием охлаждающих устройств.

При схематизации области моделирования ее граница аппроксимируется отрезками, на отдельных участках задаются граничные условия первого рода (температура или напор) и второго рода (симметрия, непротекание). В части области, соответствующей фильтрующим грунтам в основании плоти-

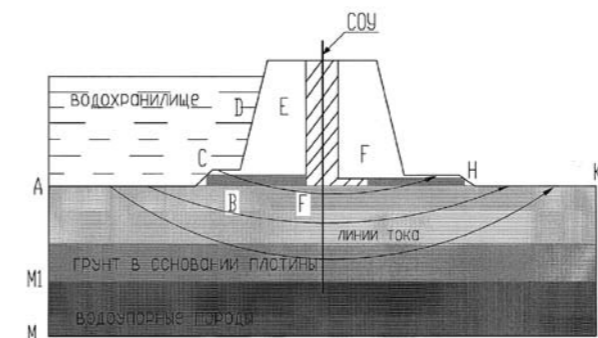


Рис. 1. Расчетная область профиля плотины



Плотина на р. Ирелях район г. Мирный. Одиночные СОУ глубиной до 40, 50, 80 м

Таблица 1. Величина предельного коэффициента фильтрации (м/сут.) при расстановке вертикальных охлаждающих элементов с шагом 1 м

Способ замораживания	Глубина водохранилища, м		
	10	20	30
Первый год			
СОУ	5	3	2
АВО+СОУ	20	15	11
ХМ	43	33	25
Второй год			
СОУ	5	3,3	2,5
АВО+СОУ	22,5	16	12,5
ХМ	50	36	27

Таблица 2. Величина предельного коэффициента фильтрации (м/сут.) при расстановке вертикальных охлаждающих элементов с шагом 2 м

Способ замораживания	Глубина водохранилища, м		
	10	20	30
Первый год			
СОУ	1	0,7	0,5
АВО+СОУ	15	10	4
ХМ	22	15	10
Второй год			
СОУ	2,5	1,5	1,3
АВО+СОУ	20	14	9
ХМ	38	20	12

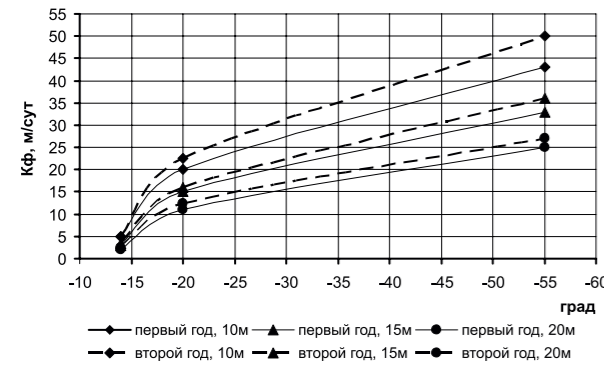


Рис. 2. График зависимости предельного коэффициента фильтрации от способа замораживания и уровня воды в водохранилище. Шаг расстановки вертикальных охлаждающих элементов 1 м

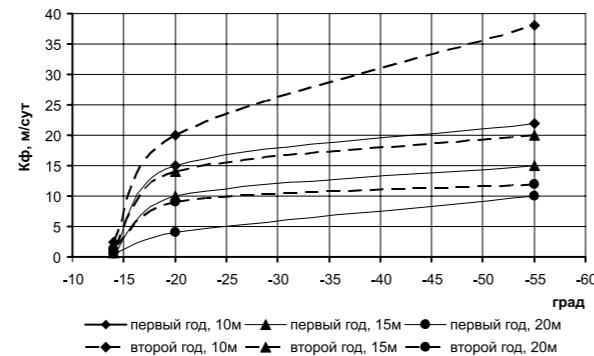


Рис. 3. График зависимости предельного коэффициента фильтрации от способа замораживания и уровня воды в водохранилище. Шаг расстановки вертикальных охлаждающих элементов 2 м

ны, решается задача фильтрации и теплообмена (по линии $ABGFHKL_1M_7$), в остальной части области моделирования, тело плотины (по линии $BCDEHFG$) и водоупорные породы (по линии MM_1L_1L), — только задача теплообмена с заданным распределением влажности грунтов. Коэффициент фильтрации уменьшается по степенному закону $k_f = k_0 (1 - w)^n$, $n = 1-3$ (w — льдистость), данная зависимость соответствует формуле Козени. Левая (по линии AM) и правая (по линии KL) границы отодвинуты на достаточно большое расстояние вне пределов участков просачивания в верхнем бьефе (по линии ABG) и высачивания в нижнем бьефе (по линии FHK).

Расчеты проводились методом последовательного приближения, т. е. задавался коэффициент фильтрации грунтов

и выполнялись расчеты. Если в результаты расчетов показывали, что произошло замораживание фильтрационного потока, то значение коэффициента фильтрации грунтов увеличивалось, если не происходило замораживание грунтов, то значение уменьшалось. Таким образом, определялось значение $K_{ф.ПРЕД}$.

Результаты расчетов приведены на рис. 2 и 3 и табл. 1 и 2.

Анализ полученных данных по замораживанию грунтов показывает, что $K_{ф.ПРЕД}$ при глубине водохранилища 10 метров и шаге замораживающих труб 2 метра составляет:

- ♦ для СОУ — 1 м/сут.;
- ♦ для коллекторной системы с включенными вентиляторами — 15 м/сут.;
- ♦ для коллекторной системы с каскадной холодильной машиной — 22 м/сут.

При уменьшении шага замораживающих труб до 1 метра $K_{ф.ПРЕД}$, при котором происходит замораживание фильтрационного потока, значительно увеличивается и составляет:

- ♦ для СОУ — 5 м/сут.;
- ♦ для коллекторной системы с включенными вентиляторами — 20 м/сут.;
- ♦ для коллекторной системы с каскадной холодильной машиной — 43 м/сут.

Однако при увеличении глубины водохранилища до 20 метров происходит снижение $K_{ф.ПРЕД}$, что обусловлено увеличением напора воды. Поэтому значения $K_{ф.ПРЕД}$ при шаге замораживающих труб 1 метр и глубине водохранилища 20 метров составляют:

- ♦ для СОУ — 2 м/сут.;
- ♦ для коллекторной системы с включенными вентиляторами — 11 м/сут.;



Буферное водохранилище Нюрбинского ГОКа. Мерзлотная завеса, двухтрубные СОУ



АК Алроса Нюрбинский ГОК. Плотина на реке Лиендокиит, глубинное коллекторное СОУ

♦ для коллекторной системы с каскадной холодильной машиной — 25 м/сут.

Таким образом, при увеличении глубины водохранилища в 2 раза значение $K_{ф.ПРЕД}$ уменьшается в 1,7–2,5 раза.

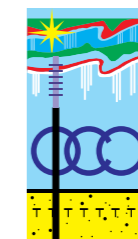
Влияние времени замораживания оценивалось по определению $K_{ф.ПРЕД}$ на второй год работы систем замораживания. Как показали расчеты, при шаге установки замораживающих скважин 2 метра значения $K_{ф.ПРЕД}$ на второй год увеличиваются почти в 1,2–2 раза. Причем наибольшие увеличения значения $K_{ф.ПРЕД}$ получены для СОУ, а наименьшие — для каскадной холодильной машины, особенно при увеличении глубины водохранилища до 15–20 метров. При шаге установки замораживающих скважин 1 метр значения $K_{ф.ПРЕД}$ на второй год, наоборот, практически не увеличиваются для СОУ во всех интервалах глубин водохранилища. Для систем с каскадной холодильной машиной, наоборот, значения $K_{ф.ПРЕД}$ увеличиваются при глубине водохранилища 10 метров с 43 м/сут. до 50 м/сут., однако при увеличении глубины водохранилища до 20 метров увеличение $K_{ф.ПРЕД}$ незначительно и составляет от 25 до 27 м/сут.

По результатам расчетно-теоретического исследования замораживания грунтов плотин с наличием фильтрационных потоков выявлено, что при однорядном расположении замораживающих скважин на расчетный $K_{ф.ПРЕД}$, при котором происходит замораживание фильтрационного потока оказывают влияние следующие факторы:

- ♦ для СОУ — шаг установки, время замораживания и глубина водохранилища, при этом наибольшее значение $K_{ф.ПРЕД}$ при применении СОУ составляет не более 5 м/сут. Практически нецелесообразно использовать СОУ при замораживании фильтрационных потоков при глубине водохранилища более 10 метров;

- ♦ для систем с АВО — основное влияние оказывают время замораживания и глубина водохранилища, а шаг установки оказывает меньшее влияние. По-видимому, наиболее оптимально применять системы АВО до глубины водохранилища 15 метров, с шагом охлаждающих скважин 1,5 метра, с замораживанием грунтов за два сезона и значением $K_{ф.ПРЕД}$ равным 15–20 м/сут.;
- ♦ для систем с каскадными холодильными машинами — определяющей является глубина замораживания, а шаг установки и время замораживания подбираются в зависимости от $K_{ф.ПРЕД}$. Холодильные машины необходимо применять при глубине водохранилища 15 метров и более и значением $K_{ф.ПРЕД}$ равным 25–50 м/сут.

С целью оптимизации конструкции устройств замораживания грунтов плотин и их параметров в зависимости от коэффициента фильтрации грунтов необходимо также выполнить дополнительные расчеты с двухрядным расположением замораживающих скважин и сравнение приведенных затрат на выполнение работ по всем вариантам.



625014, Тюмень, Новаторов, 12
Тел. (3452) 22-53-25, 26-13-67
Факс: (3452) 52-02-40
E-mail: fsa@npo-fsa.ru
www.npo-fsa.ru