

УДК 622.224:622.271.7:624.138.3

**В.В. Коростовенко, Н.В. Морозова, Е.Л. Егорова,
В.А. Миронкин, В.Н. Морозов, Ж.В. Миронова**

**ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ДВИЖЕНИЯ
АКТИВИРОВАННОГО РАСТВОРА РЕАГЕНТА
В КУСОЧНООДНОРОДНОМ ПЛАСТЕ ТОРФОВ
ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ**

Описаны теория и практика подготовки искусственных сушенцов при разработке россыпных месторождений на основе фильтрационно-дренажного способа оттаивания. При этом установлено, что при равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке. На этой основе построена функция движения активированного раствора реагента в кусочнооднородном пласте торфов постоянной мощности.

Ключевые слова: сушенцовые зоны, россыпные месторождения, активированный раствор реагента, кусочнооднородный пласт торфов, горизонтальные дрены, проницаемость.

Увеличение роста объемов переработки горной массы при разработке россыпных месторождений на базе тяжелой землеройной техники ставит подготовку мерзлых пород к выемке в число важнейших задач, стоящих перед горнодобывающей промышленностью Сибири и Северо-Востока РФ. Особенно большое значение в последние годы приобретают методы водно-тепловой подготовки многолетнемерзлых россыпей в осенне-зимний период, так как возможности существенного расширения масштабов буровзрывного способа рыхления торфов, сдерживает его высокая себестоимость. Учитывая особенности развития горного производства Сибири и Северо – Востока, а также геологическое строение россыпных месторождений, следует ожидать, что ведущим способом водно-тепловой мелиорации многолетнемерзлых торфов станет фильтраци-

онно-дренажное оттаивание в комплексе с подготовкой искусственных сушенцов [1].

Технология подготовки искусственных сушенцов при разработке россыпных месторождений состоит из двух основных операций: оттаивания мерзлых торфов обычно фильтрационно-дренажным способом и уменьшения влажности торфов до критического значения, используя дренирование оттаянного массива.

Фильтрационно-дренажными способами оттаивания мерзлых торфов называют способы, при которых подача воды происходит без напора и приращение талика производится сверху вниз. Для обеспечения участков россыпи фильтрационно-дренажным оттаиванием, источником водоснабжения, могут служить реки, ручьи и озера. Расход воды для оттаивания 1 м³ мерзлых песков составляют от 5 до 15 м³. При фильтраци-

онно-дренажном оттаивании многолетнемерзлых торфов применяют дренажную систему из линейных вытянутых открытых канав. Поперечный профиль дренажных канав трапециевидный с уклоном 1:1 при глубине до 2,5 м и 1:1,25 при глубине свыше 2,5 м. Питание фильтрационно-дренажной оттайки может осуществляться через специальные инфильтрационные канавы. Длина путей горизонтальной фильтрации с площади полигона до выхода воды в дренирующую горную выработку может составлять 20–80 м [2]. Это расстояние назначается в зависимости от возможной конечной глубины оттаивания торфов, их фильтрационных свойств и допустимой продолжительности работ. Меньшее расстояние обеспечивает более интенсивное оттаивание. Ширина канавы и расстояние от оросителя устанавливаются только по опыту практики, что связано с большими затратами на проходческие работы. В этой связи особенно актуальным является построение функции кинетики проницаемости торфов в границах рассматриваемого блока (условно кусочнооднородный пласт торфов) с целью установления параметров технологии фильтрационно-дренажного способа оттаивания. На россыпных месторождениях этот способ позволяет оттаивать слои мерзлых галечников или щебня, гравия, песка, неразделенные слабопроницаемыми прослойками (глины, суглинки или супеси), если содержание глинистых минералов не превышает 5 % [2, 3].

Методика исследования

Для обоснования параметров горизонтальных дрен с целью расширения области применения технологии подготовки искусственных сушенцовых зон были проведены лабораторные, а позднее промышленные исследования кинетики проницаемости по-

род с содержанием глинистых минералов до 15 %. В качестве основной предпосылки для проведения исследований была принята гипотеза, согласно которой температурная активация раствора реагента позволит увеличить скорость фильтрации даже в слабопроницаемых породах. В качестве фильтрующей жидкости использовались реагенты типа алюминат натрия, хлорное железо, сепаран 2610 совместно с электролитами, гипохлорит, силикат натрия и высокомолекулярные полимеры типа КОДТ (продукт конденсации кубовых остатков гексаметилейдиамида, таллового масла и дихлорэтана) и др.

Хорошие результаты были получены при использовании хлорного железа и силиката натрия. Модифицированные разности монтмориллонита были получены путем соответствующей обработки монтмориллонитов растворами хлорного железа. При конечном удельном давлении примерно в 2,2 МПа образцы были выдержаны в течение нескольких суток. В ходе испытаний на установке по определению проницаемости глинистых пород давление гидрообжима образцов монтмориллонита соответствовало конечному удельному давлению в условном кусочнооднородном пласте торфов. Природные образцы подвергались обжигу, соответствующему давлению, испытываемому этими образцами в естественных условиях залегания россыпей при постоянной мощности торфов. На каждой ступени испытаний образцы выдерживались в течение нескольких суток до полной стабилизации фильтрационных расходов, после чего определялась проницаемость пород.

Исследования влияния температурой активации раствора реагента (далее АРР) различной концентрации на проницаемость глин проводились на

естественных каолиновых, монтмориллонитовых глинах и их разностях с использованием дистиллированной воды. Экспериментальные работы на каолиновых глинах осуществлялись в трех диапазонах температур 20-25 °С (комнатная), 50-60 °С и 80-90 °С, на монтмориллонитовых глинах было увеличено число промежуточных точек в области температур 40-70 °С. Перед повышением температур образцы выдерживались в установке при заданном давлении гидрообжима в течение 10 сут. Для исключения влияния температурного гистерезиса образцы вначале подвергались многократным нагревам и охлаждениям. За исходные значения проницаемости (при комнатной температуре) принимались их постоянные значения, не изменяющиеся после очередного цикла: нагрев – охлаждение. При последующем нагреве на каждой температурной точке образец выдерживался в течение одних суток. Температурный режим регулировался электротермическим методом (взамен термостатирования), позволяющим значительно сократить время стабилизации температуры на каждой ступени до 100 ч и увеличить верхний диапазон изменения температур от 90 до 160 °С.

Расход фильтруемой жидкости (хлорного железа) определялся по показаниям счетчика оборотов пресса. Фильтрацию исследуемого АРР через образец производили в условиях, исключающих наличие свободного воздуха в породе или воде, т.е. гарантирующих однофазность потока в продолжении всего эксперимента.

Концентрацию АРР выдерживали в интервале 40 – 50 % при его расходе 80 – 100 г/т глинистого грунта.

Исследования показали, что температурная активация раствора реагента вызывает изменение структуры раствора хлорного железа, что при-

водит к временному изменению его физико-химических свойств. Такой раствор обладает в течение определенного времени своеобразной «памятью» о его температурной активации и после его охлаждения (время релаксации не установлено).

Скорость фильтрации такого раствора реагента повышается в 2—4 раза, что позволяет включать участки россыпи для подготовки искусственных сушенцов с содержанием глинистых минералов до 15 % [4].

Результаты исследования

Промышленные эксперименты проводились на одном из россыпных месторождений Саха (Якутия). После температурной активации раствор реагента помешали в горизонтальные дренажи. Причем расстояние между выработками увеличивается в соответствии с увеличением скорости фильтрации активированного реагента, что позволяет снизить затраты на проходческие работы. Коэффициент фильтрации активированного раствора реагента, установленный в ходе лабораторных испытаний, определялся по формуле (рис. 1)

$$K_{\phi} = \exp[\ln 63,4 - (0,119 \cdot C_{гп})], \quad (1)$$

где $C_{гп}$ — содержание глинистых минералов, %.

В ходе промышленных экспериментов было установлено, что кроме расстояния между дренажами, продолжительностью обработки торфов АРР на скорость и себестоимость фильтрационно-дренажной оттайки оказывает влияние и глубина дренажных канав.

Установлено, что при увеличении расстояния между дренажными канавами в несколько раз превышающего глубину оттаивания, скорость оттаивания становится недостаточной, что требует увеличения глубины заложения горизонтальных дренажей до 3 м (при

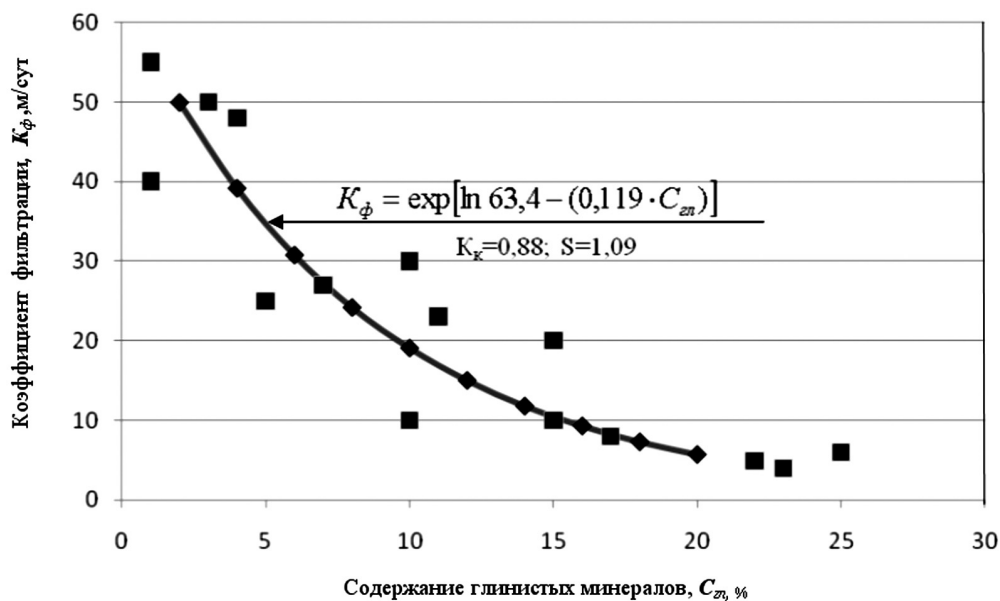


Рис. 1. Зависимость коэффициента фильтрации (K_f) торфов от содержания в них глинистых частиц ($C_{гл}$)

мощности подготавливаемого пласта сушенцов до 6 м).

При этом построение функции движения АРР в пласте торфов постоянной мощности имеет два варианта расчета. Первый предусматривает, что массив торфов кусочнооднородный с равномерным содержанием глинистого цемента. Второй предусматривает неоднородное содержание глины в торфах (слоистые породы). Рассмотрим построение функции движения активированного раствора реагента для первого варианта.

При фильтрационно-дренажном оттаивании в кусочнооднородном массиве торфов (первый вариант расчета) имеет место равномерная установившаяся фильтрация, при которой линии тока фильтрующегося активированного раствора реагента (АРР) являются параллельными прямыми. При такой фильтрации форма и размеры живого сечения потока не изменяются по его длине. Так как границы подготавливаемого полигона не создают допол-

нительных сил сопротивления, то движение АРР во всей области фильтрации будет одинаковым.

Равномерная неустановившаяся фильтрация АРР может иметь место в горизонтальном полосообразном пласте кусочнооднородного пласта торфов, когда напоры на границах пласта изменяются во времени. Скорость фильтрации будет одинаковой в пределах всего пласта, но переменной во времени.

На рис. 2 представлено поперечное сечение пласта, причем $H_1(t)$ и $H_2(t)$ обозначены переменные во времени напоры на границах пласта и через $H(t) = H_1(t) - H_2(t)$ – переменной во времени действующий напор в подготавливаемом пласте.

Пусть $v(t)$ – переменная во времени скорость фильтрации в пласте и $h(x,t)$ – переменный по координате и времени напор в сечениях пласта, перпендикулярных к линиям тока. Тогда уравнение установившейся фильтрации АРР будет иметь вид [6]

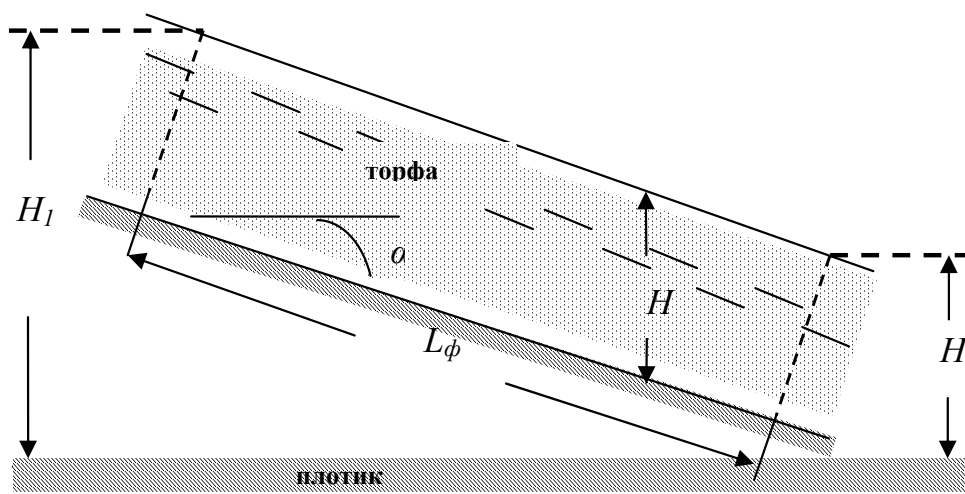


Рис.2. Одномерная установившаяся фильтрация АРР:

H_1 — напор фильтрующей жидкости при $x = 0$, м; H_2 — напор фильтрующей жидкости при $x = L_\phi$, м; α — угол наклона плотика, град.; L_ϕ — расстояние между горизонтальными дренами, м; H — глубина потока, м

$$\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{K_\phi} = -\frac{dh}{dx}, \quad (2)$$

где k и g соответственно — коэффициент фильтрации торфов и ускорение силы тяжести.

Так как скорость фильтрации от x не зависит, то пьезометрический уклон ($= dh/dx$) будет постоянен по координате x и равен среднему пьезометрическому уклону в кусочнооднородном пласте торфов, т.е.

$$-\frac{dh}{dx} = \frac{H}{L_\phi}, \quad (3)$$

Принимая во внимание то, что переменный по координате и времени напор активированного раствора реагента в сечении пласта $h_{x=0}=H_1$ и проинтегрировав уравнение (3) получим:

$$h = H_1 - H \frac{x}{L_\phi}. \quad (4)$$

Формула (4) дает выражение напора в пласте в любой момент вре-

мени. На первый взгляд, результаты проведенных исследований достаточно неожиданны. В соответствии с общепринятым представлением о характере протекания физических процессов, жидкость, в том числе и АРР, принимается несжимаемой. На самом деле из этой зависимости можно сформулировать следующий вывод: при равномерной неустановившейся фильтрации АРР всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке.

Подставляя в уравнение (2) вместо пьезометрического уклона ($= dh/dx$) его выражение (3) после интегрирования получим уравнение перераспределения напора во всем потоке АРР:

$$v = e^{\frac{g}{K_\phi} \left(v_0 + \frac{ge^{\frac{g}{K_\phi}} H}{L_\phi} \right)}, \quad (5)$$

где v_0 — скорость фильтрации в пласте в начальный момент времени ($t=0$)

после заполнения распределительной канавы и оросителей активированным раствором реагента.

Зависимость (5) дает выражение скорости фильтрации в пласте в любой момент времени. Указанная зависимость получена нами при учете сил инерции. Отсюда длина фильтрационного потока или расстояние между двумя горизонтальными дренами составит

$$L_{\phi} = \frac{gH(e^{\frac{g}{K_{\phi}}})^2}{v}, \quad (6)$$

Однако, оценка влияния ускорения силы тяжести на скорость при равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента практического значения не имеет.

Поэтому значение расстояния между двумя горизонтальными дренажными выработками в кусочнооднородном пласте торффов постоянной мощности без учета сил инерции в силу уравнения (6) и с учетом зависимости (1) будет иметь вид:

$$L_{\phi} = \frac{H \exp[\ln 63,4 - (0,119C_{rn})]}{v}. \quad (7)$$

Отсюда вытекает еще один вывод: учет сил инерции при расчете равномерной неустановившейся фильтрации АРР может иметь практическое значение только для весьма малого начального промежутка времени, и при весьма значительной проницаемости торффов. В остальных же случаях учет сил инерции при подготовке сушенцовых зон практического значения не имеет. Последнее обстоятельство дает возможность рассматривать процесс равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента как совокупность мгновенных установившихся процессов.

Выводы

1. При равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке.

2. В результате проведенных лабораторных и промышленных экспериментов установлено, что обработка торффов активированным раствором реагента позволяет увеличить скорость фильтрации в 2—4 раза [1,2]. Достигнутый эффект сделал возможным подготовку искусственных сушенцовых зон на торффах с содержанием глины до 15 %.

3. При подготовке искусственных сушенцов на россыпных месторождениях основным видом дренажных выработок являются горизонтальные дренаи. При глубине оттаивания значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних должно быть не менее 3-х метров при глубине торффов до 6 метров.

4. Основными факторами, определяющими расстояние между горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцов, являются содержание глины в россыпи, проницаемость торффов, уклон плотика, мощность торффов. Достигнутые в ходе промышленных исследований значения критической влажности 3,5 %, позволили разрабатывать мерзлые торфа даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках россыпи, где льдистость торффов не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

5. Учет ускорения силы тяжести при расчете равномерной неустановившейся фильтрации АРР может иметь практическое значение только для весьма малого начального про-

межутка времени, и при весьма значительной проницаемости торфов. В остальных же случаях учет сил инерции при подготовке сушенцовых зон практического значения не имеет. Последнее обстоятельство

дает возможность рассматривать процесс равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента как совокупность мгновенных установившихся процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов В.Н., Морозова Е.Л. Подготовка искусственных сушенцов на основе воздействия на недеформируемую пористую среду активированным раствором реагента. // В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. № 3 — М.: МГТУ, с. 66-68.
2. Потемкин С.М. Методики решения проектных задач — М.:МГРИ, 1986 — 38 с.
3. Гидравлическое оттаивание мерзлых пород/ В.Г.Гольдтман, В.В.Знаменский, С.Д. Чистопольский. Труды ВНИИ-1, 1970., т. XXX. — 440 с.
4. А.с. 934011 СССР. Способ подготовки глинистых грунтов к промывке/ В.Н.Морозов, М.В.Верхотуров. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 01.05.1992 г.
5. Кульчицкий А.И., Усъяров О.Г. Физико-механические основы формирования свойств глинистых пород. — М.: Стройиздат, 1975. — 35 с.
6. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочеввер, И.В. Гармонов, А.В. Лебедев, В.М. Шестаков. — М.: Недра. 1969. — 369 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Коростовенко В.В. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, e-mail: korostovenko@mail.ru;
Морозова Н.В. — ведущий инженер кафедры СФУ (Сибирский Федеральный Университет),
Егорова Е.Л. — кандидат технических наук, доцент, e-mail: elena6119@yandex.ru;
Миронкин В.А. — кандидат технических наук, доцент, e-mail: 95vstatkus@mail.ru;
Морозов В.Н. — кандидат технических наук, доцент, e-mail: GGDS21209909@yandex.ru
Миронова Ж.В. — кандидат технических наук, доцент, e-mail: mirgenni@yandex.ru
СФУ (Сибирский Федеральный Университет)



ГОРНЯЦКОЕ АРГО

- КИЛЬДЫМ — мехцех.
- КЛЕВАК — молот с деревянной ручкой, заостренный с одного конца.
- КЛЮШКА — ножка арочной крепи.
- КОБЫЛА — нарушение у кровли пласта, при отработке которого лавой или другой выработкой, имеет тенденцию к обрушению, длина «кобыл» как по простиранию, так и по падению достигает нескольких метров, толщина не более 1 м.
- КОЗА — площадка с четырьмя откидными рогами для перевозки крупногабаритных грузов. Реже — людская вагонетка.
- КОЗЁЛ — популярная среди шахтеров карточная игра. Самая интеллектуальная игра после перетягивания каната.
- КОЛОВАЯ — табель учета рабочего времени.
- КОНВЕЙЕРА — может показаться, что это просто ошибочное образование множественного числа от «конвейер», тем не менее это жаргонизм — вспомним: «...мы говорим не штормы, а шторма!» Такое произношение «конвейера», но не «конвейеры» характерно для шахтеров.



Ольга Ключина
ожидания