© В.А. Стетюха, 2006

УДК 622.271

В.А. Стетюха

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НАЛЕДЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Образующиеся в холодный период года наледи причиняют значительный ущерб производственным объектам и технологическому оборудованию, нарушают условия их эксплуатации. Наледи препятствуют работе механизмов, транспорта, могут приводить к смерзанию полезного ископаемого. Основная причина образования техногенных наледей связана с перемерзанием водотоков при нарушении теплового режима горных пород в результате отсыпки отвалов и насыпей, создания котлованов и траншей, подрезки откосов, утепления или охлаждения приповерхностного слоя породы при возведении объектов. Наледные процессы являются типичными явлениями для Забайкалья. Особенно заметно они активизируются с наступлением зимы после интенсивного выпадения осадков в летний и осенний периоды. Проблема прогнозирования образования наледей остается актуальной для региона.

Несмотря на очевидность физической модели образования наледей, приходится констатировать отсутствие надежной математической модели процесса. Это объясняется его многофакторностью, взаимозависимостью ряда сложных процессов, протекающих одновременно. Предлагаемая математическая модель образования наледей включает три составные части:

1. Уточненную модель переноса тепла и влаги в горных породах, отражающую особенности их промерзания при техногенных воздействиях [1];
2. Модель криогенного растрескивания мерзлого приповерхностного слоя;
3. Модель напряженно-деформированного состояния массива пород, учитывающую собственный вес и гидростатическое давление.

На основе перечисленных моделей в ходе вычислений выполняется последовательное многократное решение отдельных составляющих задач с заданным шагом по времени, что позволяет определить время образования наледи. На каждом шаге выполняется анализ состояния системы в соответствии со схемой, приводимой на рис. 1. Образование наледей тесно связано с процессами образования криогенных трещин. По методике Б.Н. Достовалова [2] раскрытие трещин определяется понижением температуры горной породы относительно среднегодовой на некоторую величину Δt. Условием возникновения морозобойной трещины считается достижение напряжением в массиве величины разрывающего напряжения σ_p. При этом расстояние между образующимися трещинами l, ширина зияющей трещины у поверхности c и глубина трещины h определяются по формулам

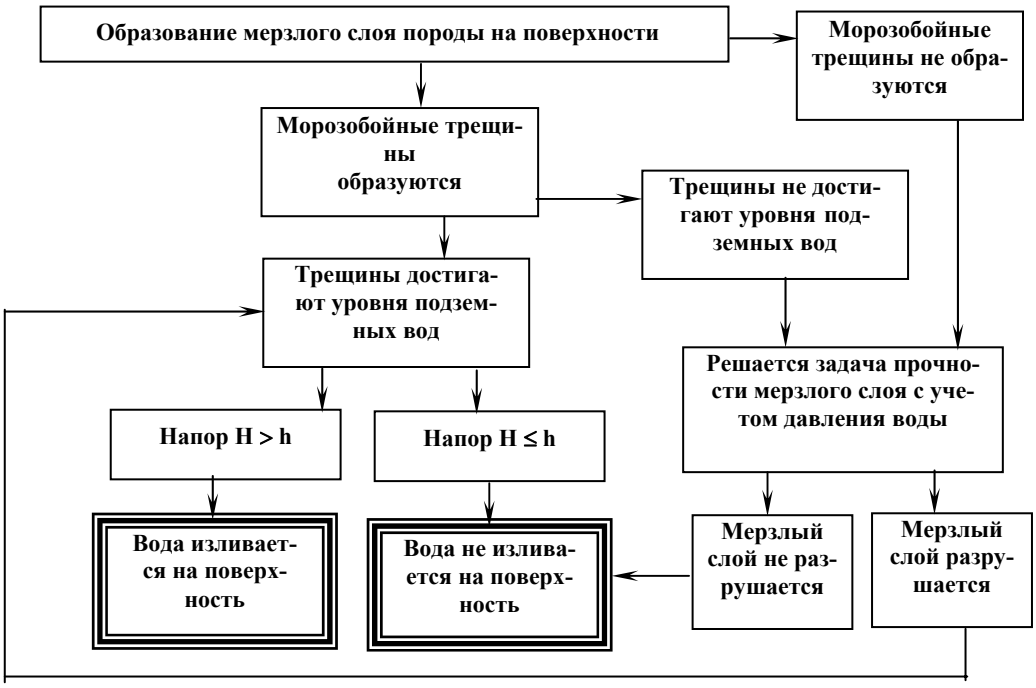

Рис. 1. Модель образования наледи

$$l = 2\sigma_p / \left[\alpha G(\Delta t / \Delta z)\right];$$
$$c = l\alpha\Delta t; \qquad (1)$$
$$h = Ec / \left[4(1+\nu)\sigma_p\right],$$

где α – коэффициент линейного расширения, $К^{-1}$; G -модуль сдвига, МПа; l – расстояние между трещинами, м; $\Delta t/\Delta z$ - градиент температуры, К/м; E – модуль деформации, МПа; ν – коэффициент Пуассона; h – глубина трещины, м; Δt – перепад температуры, К.

Достоверность выполняемого по приведенным формулам прогноза повышается, при учете зависимости физико-механических характеристик от температуры, влажности, особенности термореологических процессов в горных породах, что отражено в работах [2, 3]. По методике С.Е. Гречищева [3] условие образования криогенных трещин южного типа, при котором они распространяются в пределах деятельного слоя, имеет вид:

$$\frac{(1-\nu)\sigma_\infty(t_m)}{E_i \cdot \alpha_\infty(t_c) \cdot t_c} \le 1; \qquad (2)$$

$$E_i = E_\infty(t_c) \times$$
$$\times \left[1 + \frac{t_{yi}\sqrt{x^2 + \omega_i^2 \cdot \tau_p^2}}{t_c\sqrt{(1+\omega_i^2 \cdot \tau_0^2)(1+\omega_i^2 \cdot \tau_p^2)}}\right], \qquad (3)$$

где $\sigma_\infty(t_m)$ – длительная прочность на растяжение, МПа; $\alpha_\infty(t_c)$ – коэффициент линейного расширения, $К^{-1}$; ω_i – частота колебаний температуры i-ой гармоники, 1/с; t_c, t_m – среднее и максимальное понижение температуры на глубине y, К; $E_\infty(t_c)$ – модуль длительной деформации, МПа; t_{yi} – амплитуда колебания температуры i-ой гармоники на глубине y, К;

Параметры трещинообразования

Параметры	Значения параметров в различные сроки образования трещин по датам				
	30 октября	5 ноября	10 ноября	15 ноября	30 ноября
E_i по формуле (3), МПа	184	221	258	297	350
Левая часть критерия (2)	1,2	1,0	0,92	0,85	0,59
Расстояние между трещинами, *l*, м	-	6,2	6,2	6,5	7,3
Ширина раскрытия трещины, *c*, м	-	0,009	0,014	0,013	0,02

τ_p – время релаксации, с; τ_o – время температурного последействия, с.

$$x = E_\infty(t_c)/E_o(t_c), \qquad (4)$$

где $E_o(t_c)$ – модуль мгновенной деформации, МПа.

Если алгоритм процесса развивается по схеме, когда трещины не достигают уровня подземных вод, возникает необходимость исследования напряженно-деформированного состоя-ния массива пород. Напряжения и деформации в массиве определяются методом конечных элементов. Когда напряжения превышают допускаемые и образуется трещина, расчетная схема переформируется удалением соответствующих связей. Происходит разгрузка массива, и процесс продолжает развиваться до перемещения трещины вглубь на следующем шаге.

С использованием разработанной комплексной модели выполнено прогнозирование образования наледей для Центрального Забайкалья. В рассмотренных условиях на поверхности залегает слой суглинка с плотностью скелета ρ_d = 1400 кг/м^3, в водоносном горизонте – среднезернистый песок. Влажность рассматриваемой горной породы у поверхности в октябре и ноябре составляет W = 20 %. Градиенты температуры устанавливались на основании метеонаблюдений и по вычислениям полей температуры в указанные сроки. Возможность образования трещин рассматривалась по состоянию на 30 октября, 5, 10, 15 и 30 ноября. В результате вычисления E_i по формуле (3) и последующего

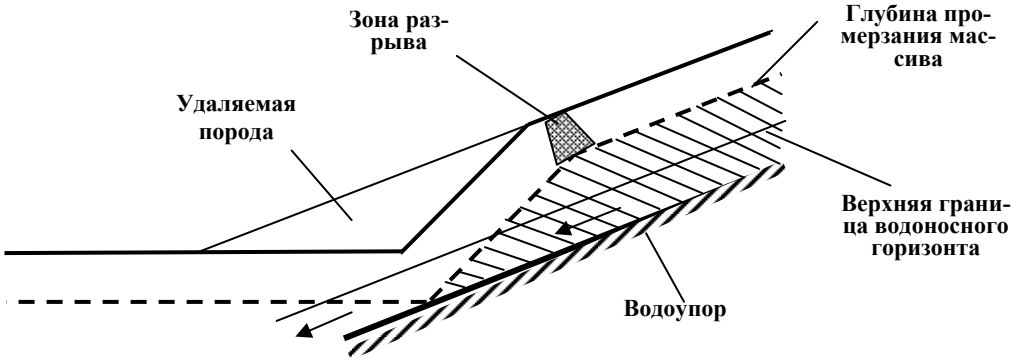

Рис. 2. Расчетная схема

формирования критерия образования трещин (2) получены результаты, приводимые в таблице. Значения параметров трещинообразования соответствуют результатам наблюдений и данным, приведенным в работах [3, 4]. При условии образования трещины 5 ноября далее происходит лишь ее расширение и углубление вплоть до появления очередной трещины посредине полигона.

Выполнено моделирование процесса образования **техногенной наледи** при подрезке откоса и питании наледи надмерзлотными водами. Рассматривается возможность образования наледи при наличии в массиве водного потока. В рассмотренном примере на поверхности залегает слой суглинка с ρ_d =1400 кг/м^3, в водоносном горизонте – среднезернистый песок, водоупор – глина или многолетнемерзлая порода. Напор воды на уровне перемерзания водотока составляет 5 м. Согласно расчету глубина промерзания в ноябре составила 0,9 м, в январе – 1,8 м, в марте – 2,7 м. Расчетная схема для оценки прочности мерзлой части откоса, на которую действует давление жидкости, приводится на рис. 2. Со стороны части массива, выделенной на рисунке штриховкой, действует гидростатическое давление. Приведенная расчетная схема в зоне подрезки откоса разбивается на треугольные конечные элементы.

Выполнен расчет системы на действие собственного веса массивов пород и гидростатическое давление жидкости. Определены напряжения и деформации в массиве, установлено начало образования пластических зон и зон разрыва. С учетом гидростатического давления на промежуточных стадиях замерзания горных пород установлено нарушение сплошности замерзшего слоя. С увеличением глубины промерзания зоны разрыва начинают развиваться у вновь образованной бровки откоса (см. рис. 2). В результате вычислений при глубине промерзания 1.8 м в этой зоне установлен факт развития трещины и выхода воды на поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стетюха В.А.* Совершенствование моделей переноса тепла и влаги при оценке воздействий горного производства на породы в условиях Южного Забайкалья.- Горный информационно-аналитичес-кий бюллетень.- М.: МГГУ, выпуск №10, 2004. - С. 71-74.

2. *Общее* мерзлотоведение / Под ред. В. А. Кудрявцева. - М.: Изд-во МГУ, 1978. - 464 с.

3. *Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л.* Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. - М.: Недра, 1980. - 383 с.

4. *Втюрина Е.А.* Геокриологические явления и создаваемые ими формы рельефа в Юго-восточном Забайкалье. Очерки региональной и исторической криологии. Тр. ин-та мерзлотоведения им. Обручева, 1962, т. 18. - С. 10-18.

Коротко об авторах

Стетюха Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, Читинский государственный университет.