

УДК 622.271

В.А. Стетюха

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В УСЛОВИЯХ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД**

Семинар № 4

Высокая температура многолетнемерзлых пород ($-0,1 \dots -2$ °С) и близкие к нулю среднегодовые температуры воздуха определяют неустойчивое к воздействиям горного производства состояние массивов пород. Значительные годовые и суточные колебания температуры воздуха с переходом через ноль более 100 раз в год и высокий уровень солнечной радиации усугубляют неустойчивое состояние массивов. В этой связи даже при незначительных по величине внешних воздействиях деградация высокотемпературных многолетнемерзлых пород происходит значительно активнее, чем в других условиях. Масштабные техногенные воздействия горного производства легко нарушают неустойчивое равновесие среды.

Существующие методы не обеспечивают надежное прогнозирование тепломассопереноса в массивах пород, так как не учитывают ряд результативных факторов воздействия на массивы пород, накопление результатов воздействий, неблагоприятные сочетания природно-климатических и техногенных факторов, особенности пород с техногенной структурой, сложные закономерности развития результатов воздействий в рассматриваемых условиях.

Предлагается способ моделирования тепломассопереноса для неустойчивых геокриологических систем, учитывающий адаптацию модели к природно-климатическим условиям и техногенным воздействиям горного производства. В рамках предлагаемого способа моделирования разработаны:

- усовершенствованные *уравнения* тепломассопереноса;

- *методика* использования уравнений тепломассопереноса на основе предлагаемой комплексной модели.

Структура комплексной математической модели и направления ее динамического развития отражены на рис. 1. Необходимость совершенствования существующих математических моделей для неустойчивых геокриологических систем основана на количественной оценке влияния отдельных факторов. Оценка относительной роли факторов, входящих в разрешающие уравнения и в граничные условия на дневной поверхности, приводится в таблице. Приводимые в таблице результаты подтверждаются вычислениями по разработанным алгоритмам и сравнением с наблюдениями. В условиях распространения высокотемпературных многолетнемерзлых пород при воздействиях горного производства суммарное влияние на глубину оттаивания и промерзания факторов,



Рис. 1. Элементы комплексной модели и этапы ее формирования

приводимых в таблице и не учитываемых в большинстве традиционных моделей, достигает 75 %.

Для моделирования теплопереноса сформированы разрешающие **уравнения** и граничные условия, отражающие особенности воздействий горного производства в условиях региона [1]. В уравнения включены слагаемые, учитывающие термодиффузионные потоки влаги, распределенные источники и конвективный перенос тепла, гравитационную составляющую влагопереноса, перенос влаги при действии электрического тока. В отличие от известных, используются уравнения теплового и водного балансов, основанные на уточненных методах определения испарения и учета крутизны и экспозиции склонов, на учете воздейст-

вий горного производства. При формировании граничных условий выполняется приведение балансов тепла и влаги к приповерхностному слою.

Разработанная в рамках комплексной модели **методика** применения разрешающих уравнений, отражающая особенности воздействий горного производства на мерзлые породы в рассматриваемых условиях, играет определяющую роль для достоверного моделирования теплопереноса в массивах. Методика отличается учетом характера воздействий горного производства, учетом накапливания результатов воздействий, применением системного анализа, применением новых способов учета факторов времени.

Оценка влияния составляющих математических моделей

Элементы математической модели	Условие использования слагаемого в уравнениях	Степень уточнения температуры поверхности	Степень уточнения глубины оттаивания (промерзания)
Учет инфильтрации и гравитационная составляющая влаготереноса	Интенсивное увлажнение и затопление поверхности	1...1,5 °С для песка	20 % для песка
Экспозиция и крутизна склона	Поверхность, отличная от горизонтали	-	Разница 10% в год при оттаивании мерзлых пород на северном и южном склонах
Модель испарения	Увлажнение поверхности, нарушение приповерхностного слоя	2,5 °С для суглинков	-
Конвективный перенос тепла	Интенсивное увлажнение и затопление поверхности	-	3 % при градиенте температуры 1 К/м
Электроосмотический перенос влаги	Электрообогрев массивов	-	20 %
Термоградиентный перенос влаги	Электрообогрев массивов	-	Рост миграции влаги до 10...20 % при градиенте температуры 400...500 К/м
Солнечная радиация	Облучение поверхности	3,3...3,5 °С	0,7 м

Формирование комплексной модели (см. рис. 1) выполнено с использованием разработанной методологии моделирования единой системы «природная среда – техногенный объект» в условиях горного производства юга криолитозоны на основе системного анализа постановки проблемы, целей и задач исследования. Принципы и методика моделирования исследуемой системы разработаны с учетом ее многокомпонентности, особых условий региона, динамики развития воздействий и процессов горного производства во времени. При формировании модели исследуется структура техногенных массивов и воздействий, выполняется их систематизация. Используется предложенная методика первичного формирования, конструктивного и количественного уточнения комплексной мо-

дели на основе группировки и отбора наиболее значимых факторов, установления ограничений.

Разработанная модель комплексной системы обеспечивает прогнозирование развития процессов тепло-массопереноса в условиях воздействия горного производства на неустойчивые природно-техногенные системы юга криолитозоны, содержащие многолетнемерзлые породы. Модель отличается от традиционных:

- учетом с использованием метода совмещения огибающих графиков воздействий экстремальных значений, неблагоприятных сочетаний, периодов и последовательности приложения факторов воздействий, увеличением количества факторов;
- установлением оптимального размещения воздействий во времени

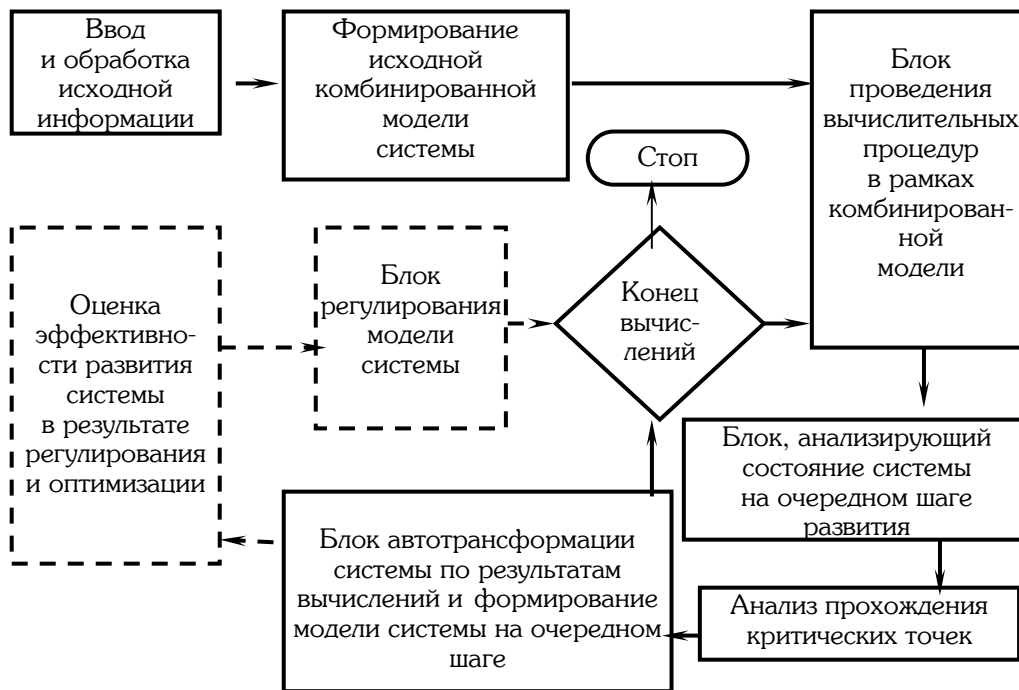


Рис. 2. Укрупненная схема вычислений при развитии природно-техногенной системы во времени

□ - общие модули системы, □ - модули, используемые при регулировании

и пространстве и определением их оптимальных количественных характеристик;

- переменностью геометрических размеров исследуемых объектов и физико-механических свойств массивов в связи с воздействиями процессов горного производства;

- применением имитационного моделирования для совершенствования предварительно сформированных математических моделей;

- трансформацией объектов и воздействий во времени, обусловленной наличием двух фронтов промерзания и миграции влаги, деградацией и неустойчивым состоянием многолетнемерзлых пород, приводящих к неустойчивому состоянию массивов пород, развитием криогенных процессов.

Разработанные способы учета динамики развития модели в целом и процессов в ее составе с изменением размеров, свойств, технологических и конструктивных параметров, воздействий отражены на схеме вычислений (рис. 2). В модель динамического развития включены блоки анализа состояния и автотрансформации на промежуточных этапах развития.

В целях рационального формирования группы факторов, характеризующих развитие системы, наряду с увеличением числа факторов производится их сортировка по критериям соотношения дисперсий. При оценке значимости факторов методами корреляционного анализа учитываются особенности развивающейся во времени модели техноприродной системы.

В ходе реализации разработанной методики выполнен анализ особенностей распределения природно-климатических факторов на различных отрезках времени. На основе анализа в составе комплексной модели разработана методика количественной оценки долговременных и кратковременных воздействий природно-климатических факторов, которая учитывает неблагоприятные сочетания и экстремальные значения факторов одновременно. Выполнена систематизация техногенных воздействий и разработана методика их количественных оценок на основе учета неблагоприятных сочетаний и экстремальных значений факторов воздействий горного производства. Выполнен анализ особенностей техногенных воздействий и развития процессов в горных породах при воздействиях горного производства в условиях юга криолитозоны. Разработана методика моделирования техногенных воздействий, основанная на группировке воздействий и

на учете закономерностей их изменения во времени.

С использованием предложенной методики в результате оценки влияния воздействий на среду и обобщения полученных закономерностей установлено влияние основных естественных природных и техногенных воздействий и их составляющих на свойства горных пород и глубину их промерзания - оттаивания [2]. При этом реализованы преимущества методов вычислений, связанные с увеличением их точности. Впервые получены количественные характеристики влияния техногенных факторов на поля температуры на южных границах криолитозоны, соответствующие результатам наблюдений.

Изложенная методика формирования развивающихся во времени процессов тепломассопереноса для неустойчивых природно-техногенных систем обеспечивает надежное прогнозирование исследуемых процессов на открытых горных работах.

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-аналитический бюллетень.- М.: МГУ, выпуск №10, 2004.- С. 71-74.

2. Стетюха В.А. Прогнозирование влияния процессов горного производства на состояние пород криолитозоны.- Чита: ЧитГТУ, 2003.- 192 с. **ИДБ**

Коротко об авторе

Стетюха В.А. – доктор технических наук, доцент Читинского государственного университета

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 4 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. С.А. Гончаров.

