

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ КОТЛООБРАЗОВАНИИ

Досліджено термічними і рентгеноструктурними методами залізисті кварцити під дією плазмових потоків. Визначено основні закономірності трансформації кристалічних решіток домішних систем. Установлено факт збільшення енергії руйнування міцних порід у процесі опромінювання плазмовими потоками.

KINETIC PARAMETERS OF PHYSICAL PROCESSES THERMAL TRANSFORMATIONS IN ROCKS UNDER THE PLASMA FORMATION BOILER

Thermal and X-ray structural methods ferruginous quartzite under plasma flows. The basic laws of transformation of crystalline lattices admixture systems. The fact of increasing the fracture energy hard rock during the irradiation of plasma flows.

В результате термического воздействия на примесные системы (к которым можно отнести большинство горных пород) ряд кристаллов в определенном температурном диапазоне претерпевают фазовые переходы первого и второго родов.

Кристаллические решетки примесных систем, проявляющие свойства твердых растворов замещения и внедрения, под действием высоких температур плазменных потоков подвержены различного рода трансформациям, связанными с температурными изменениями длин трансляционных векторов соответствующих сингоний.

В свою очередь динамика трансформаций кристаллических решеток определяет интенсивность формирования дислокаций, а также протекания в горных породах топохимических реакций. Отличительной чертой топотаксических превращений нестехиометрических примесных систем в результате протекания топохимических реакций является то, что важнейшие структурные элементы кристаллических решеток (например, направление изменения трансляционных векторов) исходной фазы оказывают ориентационное влияние на параметры кристаллов конечной фазы. При этом, формирование кристаллической решетки конечной фазы, связанное с изменением длин трансляционных векторов, а, следовательно, с изменением энергии разрыва связей, в конечном итоге влияет на величины тепловой энергии разрушения горных пород.

В данной работе методами рентгеноструктурного и термогравиметрического анализов исследовались кристаллические решетки железистых кварцитов и хлорито-аспидных сланцев, подвергнутых облучению воздушной плазмой в диапазоне температур 2000-4000 К в технологических процессах плазменного способа расширения скважин [1 – 3].

Исследование физико-химических процессов при термическом расширении скважин в магнетитовых кварцитах Кривбасса методом дифференциально-

термического анализа (в атмосфере воздуха и инертной атмосфере азота), изучение химического, минерального составов кварцитов, а также состава выделяющихся газов позволили определить [4, 5], что при нагреве кварцитов в диапазоне температур 513-773 К одновременно с окислительными процессами происходят эндотермические процессы разложения минералов – дегидратация гетита и диссоциация сидерита. В результате чего разрушаются их кристаллические решетки, что происходит за счет ослабления и разрыва наиболее слабых химических связей между частицами и на что затрачивается энергия, минимальная величина которой характеризуется величиной активации.

Кинетические параметры реакций дегидратации и диссоциации минералов, относящихся к реакциям типа $A_{ТВ} \rightarrow B_{ТВ} + C_{газ}$ и не сопровождающиеся образованием промежуточных продуктов, можно определять неизотермическим методом, по кривым потери массы образцов (термогравиметрическим кривым ТГ), полученными в условиях линейного повышения температуры. Эндотермический эффект разложения гетита и сидерита в магнетитовых кварцитах сопровождается потерей массы кварцитов (от 0,5 до 1,16 %), нагреваемых в атмосфере воздуха, а также инертной атмосфере азота, что позволяет рассчитать кинетические параметры процессов термического разложения минералов по известным методикам [6 – 9].

Определение величин энергии активации и предэкспоненциального множителя сводится к расчету кинетического уравнения в логарифмической форме [7]

$$\ln \left[\frac{1}{(1-\alpha)^n} \frac{d\alpha}{dT} \right] = \ln \frac{A}{q} - \frac{E}{RT},$$

где α – изменение массы образцов при нагревании; q – скорость подъема температуры в образце; n – порядок реакции.

Обычно порядок реакции, рассматриваемый при разложении твердых тел, рассчитывается по точке C_s , в которой скорость реакции термического разложения (кривая ДТГ) максимальна, или по формулам, позволяющим определить его средние значения для всего температурного интервала разложения минералов в породе [8].

Для графического определения энергии активации, предэкспоненциального множителя на термограмме кривую ТГ делят параллельными линиями через 10° и для каждой температуры определяют потери массы W (мг), а также величины мгновенной скорости $\frac{dW}{dT}$ (методом численного дифференцирования). С учетом величины потери массы в конце реакции W_k рассчитывают и строят зависимость от обратной температуры нагрева ($10/T$)

$$\ln \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{W}{W_k}\right)^n} \frac{dW}{dT} \frac{1}{W_k} \right] = f\left(\frac{1}{T}\right),$$

Полученная линейная зависимость дает возможность определить величину активации по наклону прямой ($E = R \cdot tg\varphi$) и величину предэкспоненциального множителя по величине отрезка, отсекаемого прямой на оси ординат.

Методы математической обработки дериватограмм и сравнение полученных кинематических параметров приведены в работах [7, 8, 11]. Для оценки величины порядка реакции применялась формула Чако [8].

Данные о рассчитанных, в соответствии с указанными методиками расчета кинетических параметрах разложения минералов в магнетитовых кварцитах, незначительно различающихся по химическому и минеральному составам и нагреваемых со скоростью 10-15 град/мин в воздушной и инертной средах приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Кинетические параметры разложения минералов в магнетитовых кварцитах Кривбасса

Номер образца	Атмосфера печи	Скорость нагрева q , град/мин	Температурный интервал эффекта T , К	Температура соответствующая максимальной скорости разложения, К	Потеря массы в конце реакции W_k , %	Порядок реакции		Энергия активации E , кДж/моль
						n_{cp}	n_{Cs}	
1	O_2	15	543-773	633	0,93	-	1,86	106,9
	N_2	10	543-773	643	1,61	2,10	2,00	108,5
2	O_2	15	543-793	653	0,51	1,75	2,15	106,3
	N_2	10	573-813	628	1,84	1,75	2,33	105,3
3	O_2	10	513-773	623	0,54	-	2,59	99,1

Как видно из табл. 1, температурные интервалы, в которых наиболее интенсивно происходят реакции разложения гетита и сидерита в исследуемых образцах магнетитовых кварцитов и которые определяются из кривых ДТГ и ТГ, различаются незначительно и находятся в пределах от 513-573 до 773-813 К. Температуры, соответствующие максимальной скорости реакции разложения, т.е. пикам на кривой ДТГ, определяющим точки перегиба C_s , составляют 623-653 К.

Потери массы у образцов магнетитовых кварцитов в конце реакции разложения составляют от 0,51 до 0,93 % при нагреве в воздушной атмосфере и от 1,61 до 1,84 % в атмосфере азота. Значительная разница в потерях массы образцов пород при их нагреве в различных атмосферах печи объясняется окислительными процессами, проходящими в магнетите в атмосфере воздуха и сопровождавшимися увеличением массы.

Величины порядка реакции, рассчитанные по точке перегиба кривой ДТГ n_{Cs} , и средние для всего температурного интервала несколько различаются. Так, величина n_{Cs} составляет 1,75-2,10, а величина n_{cp} – 1,86-2,59. Величины энергии активации, необходимые для начала процесса разложения минералов при температурах 513-773 К, имеют близкие значения – 99,1-108,5 кДж/моль.

Кинетические параметры реакции разложения минералов, как видно из табл.

1, практически не изменяются при прохождении реакции в различных газовых средах – воздухе, азоте.

При расчете кинетических параметров на основе обзорной термограммы возможны ошибки, связанные с неточностью определения потерь массы из-за большой крутизны кривой ТГ, поэтому дополнительно была записана растянутая термограмма при небольшой скорости нагрева 2,5 град/мин. Результаты уточненного расчета по растянутой термограмме, приведенные в табл. 2 показали, что величина порядка реакции уменьшается, приближаясь к единице. Однако энергия активации практически не изменяется, а величина ее составляет 100,5- 112,6 кДж/моль.

Таблица 2 – Уточненные кинематические параметры реакции разложения минералов в железистых кварцитах

Номер образца	Скорость нагрева q , град/мин	Порядок реакции $n_{ср}$	Предэкспоненциальный множитель A , $с^{-1}$	Энергия активации E , кДж/моль
1	2,5	1,39	$1,75 \cdot 10^5$	101,3
2		0,88	$1,75 \cdot 10^5$	100,5
3		1,37	$3,03 \cdot 10^5$	100,8

Величина энергии активации, определяющая энергетическую возможность начала реакции разложения, характеризует величину теплоты разложения, разность между которыми уменьшается с уменьшением порядка реакции. В связи с этим можно предположить, что в магнетитовых кварцитах для разложения минералов (диссоциации сидерита и дегидратации гетита), разрушения их кристаллических решеток при 513-773 К требуется затраты тепла по величине приблизительно равные величинам энергии активации.

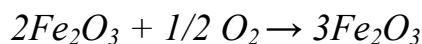
Определение кинетических параметров, входящих в уравнение Аррениуса позволяет рассчитать величину константы скорости химической реакции разложения минералов. Зависимость k от температуры нагрева в диапазоне 573-753 К для магнетитовых кварцитов носит экспоненциальный характер. Константа скорости реакции возрастает (для образца №2) от $1,2 \cdot 10^{-4} с^{-1}$ при 573 К до $1,9 \cdot 10^{-4} с^{-1}$ при 753 К, но если увеличить температуру на 30°, например от 693 до 723 К или от 723 до 753 К, величина k удваивается. Константа скорости при величинах порядка реакции близких к 1 равна скорости реакции V ($V = k\pi^2$ [9]), которая определяет скорость уменьшения концентраций исходных реагентов во времени, т.е. скорость разложения минералов существенно зависит от температуры нагрева.

На термограммах, полученных в температурных интервалах 473-633, 633-723, 773-833, 873-1513, 1523-1643, 1643-1693, 1723-1733 К зарегистрированы аномальные участки (характерные изломы, горбы) - эндотермические и экзотермические эффекты, указывающие на прохождение в породах фазовых превращений и химических реакций.

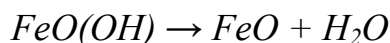
В температурном интервале 293-873 К зафиксированы несколько экзотер-

мических эффектов, растянутость и асимметрия, которых указывают на относительно медленное протекание термических процессов. Для выяснения физико-химической сущности этих эффектов были проведены дополнительные исследования в атмосфере инертного газа (N_2), а также при охлаждении нагретой до 893 К в воздушной атмосфере породы. Сравнение термограмм показывает, что характер процессов в породах, проходящих при нагреве в атмосфере воздуха и азота, совершенно различен. В воздушной среде на термограммах регистрируются все термические эффекты, протекающие в породе при нагреве, а в инертном газе не фиксируются эффекты, обусловленные окислительными процессами.

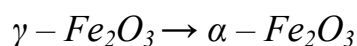
Расшифровка термограмм показывает, что в температурном интервале 473-773 К наиболее интенсивно проходят процессы окисления минералов. Действительно, магнетит, содержание которого в исследуемой породе составляет 42,6 %, при температуре 523-648 К окисляется:



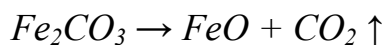
А у гетита, например, при температуре 573-693 К наблюдается процесс дегидратации, в результате которого образуется водяной пар и новая твердая фаза:



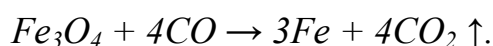
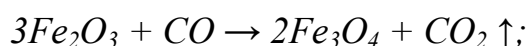
У гематита при температуре более 573 К наблюдается обратимое полиморфное превращение:



В этом температурном диапазоне в результате отбора пробы газа обнаружены газы CO (концентрация 0,02 %) и CO_2 , что свидетельствует о процессе диссоциации сидерита, в результате которого происходит разложение минерала и выделение газообразной фазы :



Одновременно выделяющаяся углекислота вступает во взаимодействие с FeO и образует Fe_3O_4 и CO_2 ; CO , в свою очередь, может вступать в реакцию с Fe_2O_3 и Fe_3O_3 :



При температуре 853 К зафиксирован эндотермический эффект без изменения массы породы, который наблюдается и при охлаждении породы (экзотер-

мический эффект), что указывает на обратимое полиморфное превращение кварца – переход α - кварца в β - кварц без изменения химического состава. Величина этого эффекта указывает на значительное содержание в породе кварца. Действительно, в составе породы 41,0 % кварца. Переход α - кварца в β - кварц диапазоне температур 843-853 К сопровождается скачкообразным термическим расширением кварца – изменением длины от 0,84 до 1,03 % (параллельно оси C) и от 1,46 до 1,76 % (перпендикулярно оси C), а также изменение объема от 3,76 до 4,55 %.

В диапазоне температур 423-873 К в магнетитовом кварците одновременно происходят очень сложные превращения: дегидратация и диссоциация, приводящие к разрушению кристаллической решетки минералов; окисление, обуславливающее образование новых фаз; обратимые полиморфные превращения; сложный механизм химических реакций, а также термическое расширение минералов.

Необходимо учитывать тот факт, что при проведении термического анализа с использованием образцов пород небольших размеров, вода и газообразные продукты реакции достаточно быстро удаляются из образцов, а в блоках породы диффузия продуктов реакции затруднена, что еще более усложняет процессы, проходящие в породах при нагреве.

В температурном интервале 473-873 К в результате процессов, проходящих в породе при нагревании, выделяется тепло.

При температуре более 1273 К у магнетитовых кварцитов наблюдается ряд эндотермических процессов. Очень слабые процессы 1453 и 1723 К, проходящие без изменения массы вещества, свидетельствуют о полиморфных превращениях в породах. Один из наиболее интенсивных эндотермических эффектов наблюдается при 1550-1653 К, при этом скорость процесса превращения при 1563 К резко падает за счет расходования поступающего в образец тепла и достигает минимума, который совпадает с максимумом потерь массы. Потеря массы при этом составляет 2 %, что объясняется выходом газообразных продуктов реакции CO и CO_2 , зафиксированных при проведении исследований по определению состава отходящих газов. В этом температурном диапазоне проходят интенсивные процессы разложения гематита, магнетита, сидерита.

Интенсивный эндотермический эффект у кварцитов наблюдается в температурном режиме 1653-1693 К. Характерная остановка на кривой T – горизонтальная площадка, свидетельствующая о том, что все поступающее в образец тепло расходуется на эндотермическое превращение, указывает на прохождении процессов плавления минералов кварцита, сопровождающихся разрушением кристаллической решетки.

Выполненные исследования проводились при скорости нагрева 10-15 град/мин. В реальных процессах нагрев породы происходит при значительно больших скоростях. Известно [9], что увеличение скорости нагрева приводит к увеличению амплитуды термического эффекта, смещению эффектов в область больших температур, уменьшению продолжительности фазовых превращений, однако площадь термического эффекта, обуславливающая величину теплоты фазовых превращений не изменяется.

Таким образом, изучение процессов, протекающих в горных породах при нагревании, в том числе термических эффектов, изменений массы вещества, скорости протекания реакций, величины теплоты реакций, позволяет более глубоко изучить механизм разрушения горных пород.

Кристаллические решетки хлоритов (в том числе аспидных сланцев) представляют собой псевдогексагональные сетки структурных составляющих, с трансляционными векторами $\bar{a} \sim 5,3\text{\AA}$, $\bar{b} \sim 9,2\text{\AA}$, $\bar{c} \sim 5,3\text{\AA}$ с углом раскрытия $\beta \sim 97,6^\circ$ и высотой элементарной ячейки ($c \cdot \sin\beta$) соответственно равной одного хлоритового слоя. Количество слоев в гексагональной ячейке хлоритов в зависимости от вещественного состава равно либо 3 (при триклинной и моноклинной сингониях), либо 6 (при триклинной сингонии) [10, 11].

В моноклинной сингонии хлоритов тетраэдрические положения занимают ионы Si и Al , а в октаэдрическом положении заселяются ионы Fe , Mg , Al , S . Базальное межплоскостное расстояние преимущественно зависит от степени замещения Si и Al . В работе [12] были представлены регрессионные уравнения длин трансляционных векторов:

$$\bar{a} = 5,320 + 0,008(Fe^{+3} + Fe^{+2}) + 0,0165 Mn;$$

$$\bar{b} = 9,202 + 0,014(Fe^{+3} + Fe^{+2}) + 0,0235 Mn;$$

$$\bar{d}_{001} = 13,925(Si^{-4}) - 0,025(Fe^{+3}) + 0,025 Mn.$$

Эти уравнения показывают, что величины (при гипотетическом составе хлоритов $Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4 + Mg_6(OH)_{12}$) возрастают с увеличением степени замещения магния железом или марганцем, а \bar{d}_{001} не зависит от содержания Fe^{+2} и незначительно уменьшается по мере увеличения количества Fe^{+3} . Кроме того, из данных уравнений видно, что в случае диффузии при высоких температурах ионов железа и марганца длины трансляционных векторов \bar{a} и \bar{b} уменьшаются, а \bar{d}_{001} незначительно увеличивается. При этом порядок связи ионов гексагональной решетки изменится в сторону увеличения энергии разрыва, а, следовательно, увеличится энергия активации реакций дегидратации, разложения и диссоциации исходной фазы.

Анализ результатов термогравиметрических исследований показал, что кинетические константы эндотермических процессов, протекающих в кристаллических решетках хлорито-аспидных сланцев, подвергнутых облучению воздушной плазмы, и в решетках исходной фазы значительно различаются. В табл. 3 приведены результаты расчета энергии активации, порядка реакции и предэкспоненциального множителя в уравнении Аррениуса для сланцев, подвергнутых и не подвергнутых облучению плазмой.

Таблица 3 – Результаты расчета энергии активации, порядка реакции и предэкспоненциального множителя в уравнении Аррениуса для сланцев, подвергнутых и не подвергнутых облучению плазмой

Вещество	Энергия активации, кДж/моль	Порядок реакции	Предэкспоненциальный множитель, A, c^{-1}	Метод
Хрорито-аспидные сланцы в исходном состоянии	82,5	0,47	$6,3 \cdot 10^8$	Ньюкирк и Фриман
	85,9		$1,0 \cdot 10^8$	Керолл
	86,0		$3,4 \cdot 10^8$	Горовиц и Метцгер
Хрорито-аспидные сланцы подверженные облучению воздушной плазмой	145,0	0,37	$6,3 \cdot 10^8$	Ньюкирк и Фриман
	124,3		$1,0 \cdot 10^8$	Керолл
	133,4		$3,4 \cdot 10^8$	Горовиц и Метцгер

Расчет кинетических параметров топотаксических превращений производился методами предложенными Ньюкирком, Фрименом и Кэрролом, Горовицом и Метцгером, а также использовался модифицированный метод расчета, предложенный в работе [13].

Анализ термогравиметрических кривых (ТГ, ДТА, ДТГ), а также результатов исследований рентгеноструктурного анализа параметров кристаллических решеток хлоритов показал, что первая стадия дегидратации заключается в потере хлоритами приблизительно половины структурной воды и сопровождается миграцией ионов Mg в направлении гидроксильных слоев бруситовой сетки. На второй стадии дегидратации образуется оливин, причем ориентировка вновь образованных кристаллов оливина непосредственно связана со структурой исходного хлорита. В процессе этого термического превращения из структуры удаляются кремнезем и вода. При температурах $\sim 913\text{K}$ первое термическое превращение соответствует дегидратации бруситового слоя, а при температуре 1073 K – талькового слоя структуры хлоритов.

Отношение площади кривой ДТГ, облученных плазмой к площади кривой необлученных хлоритов соответствует величине $\sim 1,7$, что приблизительно соответствует отношению энергий активаций.

Кроме того, из рентгеноструктурных исследований следует, что величины трансляционных векторов \bar{a} уменьшились от $5,3 \text{ \AA}$ до 4 \AA , а \bar{b} – от $9,8 \text{ \AA}$ до 8 \AA , что в свою очередь было связано с уменьшением длины связи, а, следовательно, увеличением энергии разрыва кристаллической решетки (после облуче-

ния ее воздушной плазмой). Проведенный в [14] анализ возможных типов дислокационных реакций в гексагональных решетках показал, что при взаимодействии пересекающихся дислокаций с различными векторами Бюргерса в общем случае возможно протекание 21 физически неэквивалентной дислокационной реакции. С точки зрения «критерия квадрата вектора Бюргерса» могут (при воздействии высоких температур на хлориты) реализоваться 7 вариантов дислокации кристаллических решеток, главными из которых являются направления колебаний трансляционных векторов \bar{a} , \bar{b} , \bar{c} , такие как:

$$1/3[2\ 1\ \bar{1}\ \bar{0}] + 1/3[1\ \bar{2}\ 1\ \bar{0}] = 1/3[1\ 1\ 2\ \bar{0}];$$

$$1/3[2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 3] + 1/3[0\ 0\ 0\ \bar{1}] = 1/3[2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0],$$

ведущие к увеличению энергий разрыва и разрушения кристаллических решеток горных пород.

Таким образом, установлено, что в процессе нагрева горных пород плазмой величины энергии активации (как минимальной энергии, которой должны обладать химически реагирующие молекулы для образования активированного комплекса) увеличивались, что приводило к смещению химического равновесия.

Как известно, частная производная логарифма концентрации по температуре, согласно закона Гиббса-Гельмгольца и закона действующих масс равна [15]

$$\frac{\partial \ln K}{\partial P} = -\frac{\partial V}{RT}.$$

Т.е. если реакция (слева направо) приводила к увеличению объема, то при увеличении давления равновесие сдвигалось влево, а при уменьшении объема – сдвигалось вправо. Что в полной мере соответствовало принципу Ле-Шателье.

С точки зрения технических предложений, этот факт необходимо учитывать путем выбора режимных параметров процесса плазменного разрушения горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осенний В.Я. Результаты исследования термического расширения скважин в плохо термобуримых породах / В.Я. Осенний // Плазмотехнология-97: Сб. науч. трудов. – Запорожье: ГКНТ Украины. – 1997. – С. 229-232.
2. О создании скважин с коловыми расширениями для размещения заряда ВВ в подземных условиях рудников / А.Ф. Булат, В.Я. Осенний, К.С. Ищенко, Н.В. Осенняя // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XVI Международной научной школы (18-24 сент. 2006). – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2006. – С. 49-53.
3. Булат А.Ф. Повышение эффективности буровзрывных работ в крепких рудах / А.Ф. Булат, В.А. Никифорова, В.Я. Осенний // Вісник Кременчуцького державного політехнічного ун-ту. – Кременчук: КДТУ, 2006. – Вип. 2. – С. 37.
4. Булат А.Ф. Термическое разрушение горных пород электродуговыми плазматронами при котлообразовании / А.Ф. Булат, Н.В. Осенняя, В.Я. Осенний // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XV Международной научной школы (19-25 сент. 2005). – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2005. – С. 38-41.
5. Булат А.Ф. О кинетических параметрах физико-химических процессов дезинтеграции железистых кварцитов в условиях термического котлообразования / А.Ф. Булат, В.Я. Осенний // Методи хімічного аналізу: третій Міжнародний симпозіум (27-30 травня 2008). – Севастополь: Інститут біології южних морей НАН України,

2008. – С. 96.

6. Берч Ф. Справочник для геологов по физическим константам / Ф. Берч, Д. Шерер, Г. Спейсер. – М.: Изд-во иностр. лит., 1949. – 303 с.

7. Пилоян Г.О. Введение в теорию термического анализа / Г.О. Пилоян. – М.: Наука, 1964. – 232 с.

8. Определение кинетических констант разложения твердых тел дериватографическим методом в неизотермическом режиме / Л.И. Толоконникова, Н.Д. Топор, Б.М. Каденацци, В.А. Мошкина // Физическая химия, деп. № 6386-73, 1973. – С. 20.

9. Topor N.D. Determination of the Kinetic constants of endothermic decomposition of the type $A_{soe} + B_{soe} + C_{gas}$. Kinetics of simultaneous reactions / N.D. Topor, L.I. Tolokonnikova, B.M. Kadenatsi // J. of Therm. Anal. – 1981. – Vol. 22. – № 5. – P. 221-230.

10. Эвери Г. Основы кинетики и механизмы химических реакций / Г. Эвери. – М.: Мир, 1978. – 214 с.

11. Дир У.А. Породообразующие минералы. Т.4. / У.А. Дир, Р.А. Хаун, Дж. Зусман. – М.: Мир, 1966. – 484 с.

12. Hey M.N. A new review of the chlorites / Hey M.N. // Mineral. – 1954. – 30. – P.123-135.

13. Уэндландт У. Термические методы анализа / У. Уэндландт. – М.: Мир, 1978. – 526 с.

14. Предводителев А.А. Дислокации и точечные дефекты в гексагональных металлах / А.А. Предводителев, О.А. Троцкий. – М.: Атомиздат, 1973. – 362 с.

15. Тер-Хаар. Элементарная термодинамика / Тер-Хаар, Г. Вергеланд. – М.: Мир, 1968. – 211 с.

16. Shumrikov V. Kinetic parameters of thermal processes taking in rocks under the action of plasma / V. Shumrikov, V. Osenniy // Progress in Plasma Processing of Materials. Eds. P. Fauchais, J. Amoroux. – N.Y.: Begell Housse, 2001. – P. 605-609.

УДК 519.65.001.57

Канд. техн. наук Г.І. Ларіонов
(ІГТМ НАН України)

ПРО ОДИН МЕТОД ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ В ЗАДАЧАХ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ

Работа посвящена применению метода последовательной аппроксимации для оценки степени влияния параметров в задачах геотехнической механики. Оценка степени влияния параметров состоит в сравнении показателей степеней в представлении функции в окрестности точки произведением степенных функций, каждая из которых зависит лишь от одной переменной. Апробация метода осуществлена на ряде прикладных задач геотехнической механики..

ON ONE PARAMETERS INFLUENCE EVALUATING METHOD FOR GEOTECHNICAL MECHANIC TASKS

The paper devoted to sequence approximation method using for geotechnical mechanic influence parameters evaluating tasks. An anchor influence parameters evaluating consist of univariable function powers comparisons in point vicinity representation as univariable power function product. Method applied to some geotechnical mechanic tasks.

Актуальність. Моделювання – один з найбільш розповсюджених засобів вивчення процесів і явищ будь-якої природи. Розрізняють фізичне і математичне моделювання. За фізичного моделювання модель повторює процес, що досліджується, і зберігає його фізичну природу [1]. Під математичним моделюванням розуміють спосіб дослідження різних за природою процесів шляхом вивчення явищ різної фізичної природи, але які описуються однаковими математичними співвідношеннями. У найпростіших випадках для цього використовуються відомі аналогії між механічними, електричними, тепловими та іншими явищами. Метод імітаційного моделювання дозволяє отримати розв'язок задачі виключної складності. Система, що досліджується, може одночасно вміщувати