
А. Н. Каретин

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ
ВЗАИМОСВЯЗИ КОЭФФИЦИЕНТА
РАЗРЫХЛЕНИЯ СЫПУЧИХ СРЕД
И ИХ ЭФФЕКТИВНОГО
МОДУЛЯ УПРУГОСТИ.**

Издание 2-ое.
February 5, 2006

Typeset by L^AT_EX



УДК 622.831.244.2:519.25

А. Н. Каретин

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КОЭФФИЦИЕНТА
РАЗРЫХЛЕНИЯ СЫПУЧИХ СРЕД И ИХ ЭФФЕКТИВНОГО МОДУ-
ЛЯ УПРУГОСТИ.**

Издание 2-ое.

«Территория без имени».

Москва.

2006г.

Аннотация

Данная работа является обзорной технической публикацией, устанавливающей взаимосвязь таких разрозненных (на текущий момент!!!) характеристик сыпучих сред, как их коэффициент разрыхления и эффективный модуль упругости.

Работа основана на трудах К. В. Руппинейта и является разъясняющим материалом по выкладкам этого великого учёного.

Электронное издание.
«Территория без имени», М., 2006г.
Формат 60x84/16.

Работа выполнена при поддержке Московского Государственного Геологоразведочного Университета



Оглавление

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	3
II. НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ	6
III. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ.	8
Приложение А.Приведение закономерностей к рабочим формам.	10

ВВЕДЕНИЕ.

Данная работа является обзорной технической публикацией, устанавливающей взаимосвязь таких разрозненных (на текущий момент!!!) характеристик сыпучих сред, как их коэффициент разрыхления и эффективный модуль упругости.

Сыпучая среда — двухфазная (в отдельных случаях трёхфазная) смесь с преобладанием твёрдой фазы, образованная измельчением твёрдого монолита под действием природного или техногенного воздействий.

Коэффициент разрыхления — величина, характеризующая увеличение объёма сыпучей среды по отношению к объёму монолита, связанному с добавлением газообразной (жидкой) фазы.

Эффективный модуль упругости — величина, характеризующая сопротивление упругой среды изменению своей формы под действием приложенной к ней нагрузки.

Для исследования и анализа использовались труды К. В. Руппинейта [1], а также результаты натурных наблюдений, предоставленные док. тех. наук проф. А. Б. Макаровым [2].

Исследования проводились на уровне общих закономерностей, накладываемых на результаты натурных наблюдений. Исследование не использует дифференциальные методы механики неоднородных сред.

А.Н.Каретин.
01.06.2005.

Глава I.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.

В разделе приводятся разъяснение по закономерностям, полученным К. В. Руппинейтом в ходе исследования поведения массива горных пород с различными системами трещин. В данном разделе показано, как с помощью данных закономерностей связать исследуемые величины.

Как уже упоминалось ранее, данная работа основана на трудах К. В. Руппинейта [1], который и получил исследуемую зависимость. К. В. Руппинейт предупреждал о значительных погрешностях и ненадёжности соотношения исследуемых величин (что было подтверждено в ходе исследования), но результаты его прогнозов (как и результаты этой работы) подтвердили наличие именно такой взаимосвязи, несмотря на большие погрешности.

Согласно К. В. Руппинейта эффективный модуль упругости раздробленной породы определяется так:

$$E_{\text{э}} = E_o \frac{1}{1 + \frac{5}{8} \cdot \frac{K_p - 1}{\xi}} \quad (1)$$

где:

$E_{\text{э}}$ — эффективный модуль упругости сыпучей среды;

E_o — модуль упругости образца монолитной породы;

K_p — коэффициент разрыхления сыпучей среды ($K_p = V_c/V_o$);

ξ — отношение площади скальных контактов к площади поверхности монолитных кусков.

Согласно К. В. Руппинейта:

$$\xi = F_k / F_o = (1 \div 3) \cdot 10^{-4}$$

В приведённой зависимости легко просматривается, что при $K_p = 1$ (монолит) эффективный модуль упругости будет равен модулю упругости ненарушенной породы ($E_s = E_o$). При увеличении K_p происходит резкое снижение эффективного модуля упругости (нарушения сплошности сильно понижают сопротивляемость материала давлению, а малая относительная площадь скальных контактов ξ не способна обеспечить достаточной жёсткости).

Для работы с приведённой зависимостью на уровне исследуемых величин, в данной работе она преобразована к двум формам: $K_p = f(\sigma)$ и $\sigma = f(K_p)$. Причём вторая форма зависимости обобщающая и может служить лишь для теоретических исследований в качестве промежуточной, но не для обработки результатов измерений (погрешности слишком велики).

Зависимость вида $K_p = f(\sigma)$ принимает следующую форму:

$$K_p(\sigma) = 1 + \frac{8}{5} \xi E_o \frac{[K_p]_o - 1}{\sigma - \frac{8}{5} \xi E_o} \quad (2)$$

Или, что то же самое:

$$K_p(\sigma) = 1 + \frac{[K_p]_o - 1}{\frac{\sigma}{\sigma_\xi} - 1}$$

$$\sigma_\xi = \frac{8}{5} \xi E_o$$

где:

$K_p(\sigma)$ — текущий коэффициент разрыхления сыпучей среды в зависимости от давления σ ;

σ — величина давления на сыпучую среду;

E_o — модуль упругости образца монолитной породы;

ξ — отношение площади скальных контактов к площади поверхности монолитных кусков;

$[K_p]_o$ — коэффициент разрыхления при измельчении (взрыве, засыпке) сыпучей среды;

σ_ξ — давление, при котором происходит переход из сыпучего состояния в упругое.

Зависимость вида $\sigma = f(K_p)$ принимает следующую форму:

$$\sigma(K_p) = \frac{8}{5}\xi E_o \frac{[K_p]_o - K_p}{K_p - 1} \quad (3)$$

Или, что то же самое:

$$\sigma(K_p) = \sigma_\xi \frac{[K_p]_o - K_p}{K_p - 1}$$

$$\sigma_\xi = \frac{8}{5}\xi E_o$$

где:

$\sigma(K_p)$ — расчётное давление на сыпучую среду;

K_p — текущий коэффициент разрыхления сыпучей среды;

E_o — модуль упругости образца монолитной породы;

ξ — отношение площади скальных контактов к площади поверхности монолитных кусков;

$[K_p]_o$ — коэффициент разрыхления при измельчении (взрыве, засыпке) сыпучей среды;

σ_ξ — давление, при котором происходит переход из сыпучего состояния в упругое.

Глава II.

НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

В разделе приводятся результаты натурных наблюдений за поведением сыпучего закладочного материала, проведённые на Жезказганском полиметаллическом месторождении.

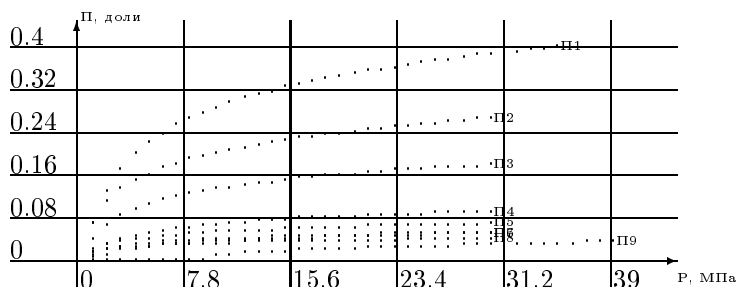


Рис.1 Усадка закладочного материала по данным натурных наблюдений.

Давление Мпа	Относительная усадка закладки с пористостью По								
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9
П= К _р - 1	0,46-0,49	0,37	0,3	0,26-0,28	0,19	0,18	0,16	0,14	0,13
1	0,070	0,070	0,040	0,013	0,020	0,003	0,012	0,016	0,000
2	0,130	0,110	0,066	0,030	0,028	0,012	0,020	0,020	0,000
3	0,170	0,132	0,083	0,038	0,034	0,018	0,024	0,023	0,000
4	0,200	0,148	0,095	0,045	0,038	0,022	0,028	0,025	0,000
5	0,220	0,160	0,104	0,050	0,042	0,025	0,031	0,027	0,000
6	0,235	0,171	0,112	0,054	0,044	0,028	0,033	0,028	0,000
7	0,250	0,180	0,118	0,057	0,046	0,030	0,035	0,029	0,000
8	0,260	0,187	0,123	0,061	0,048	0,032	0,036	0,030	0,000
9	0,270	0,194	0,128	0,063	0,050	0,033	0,038	0,031	0,000
10	0,280	0,200	0,133	0,066	0,052	0,035	0,039	0,032	0,010
11	0,290	0,205	0,136	0,068	0,053	0,036	0,040	0,032	0,011
12	0,300	0,210	0,140	0,070	0,054	0,037	0,041	0,033	0,013
13	0,305	0,215	0,143	0,072	0,055	0,038	0,042	0,033	0,014
14	0,310	0,219	0,146	0,074	0,056	0,039	0,043	0,034	0,015
15	0,320	0,222	0,149	0,075	0,057	0,040	0,044	0,034	0,017
16	0,325	0,226	0,151	0,077	0,058	0,041	0,044	0,035	0,018
17	0,330	0,230	0,154	0,078	0,059	0,042	0,045	0,035	0,019
18	0,335	0,232	0,156	0,079	0,060	0,043	0,046	0,036	0,020
19	0,340	0,235	0,158	0,080	0,061	0,044	0,046	0,036	0,021
20	0,345	0,238	0,160	0,081	0,061	0,044	0,047	0,036	0,022
21	0,350	0,241	0,162	0,082	0,062	0,045	0,047	0,037	0,023
22	0,352	0,244	0,165	0,083	0,063	0,046	0,048	0,037	0,023
23	0,358	0,246	0,166	0,084	0,063	0,046	0,049	0,037	0,024
24	0,361	0,249	0,168	0,085	0,064	0,047	0,049	0,038	0,025
25	0,365	0,251	0,170	0,086	0,065	0,047	0,050	0,038	0,026
26	0,369	0,253	0,171	0,087	0,065	0,048	0,050	0,038	0,026
27	0,371	0,255	0,173	0,088	0,066	0,048	0,050	0,038	0,027
28	0,375	0,258	0,174	0,089	0,066	0,049	0,051	0,039	0,028
29	0,379	0,260	0,175	0,090	0,066	0,049	0,051	0,039	0,028
30	0,381	0,261	0,176	0,090	0,067	0,050	0,051	0,039	0,029
31	0,385								0,030
32	0,388								0,030
33	0,390								0,031
34	0,392								0,031
35	0,396								0,032
36									0,032
37									0,033
38									0,033
39									0,034

Как и ожидалось, на начальном этапе нагружения происходит интенсивная усадка закладочного материала за счёт снижения его разрыхления. На конечном этапе коэффициент разрыхления снижается до минимума (см. таблицу). На промежутке от 6 МПа до 31 МПа усадка практически линейна и к ней можно применять закон Гука без оговорок.

Глава III.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ.

В главе на основании изложенных выше зависимостей (2) произведена оценка усадки закладочного материала для типичных значений параметров.

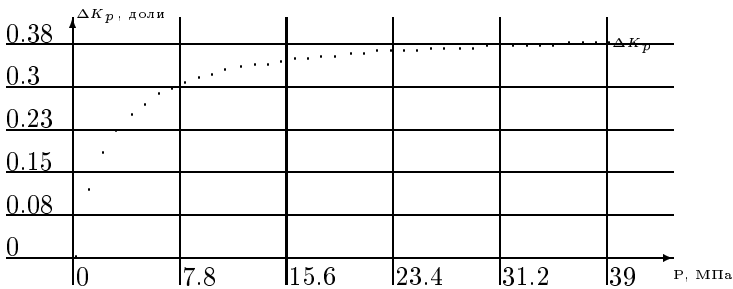


Рис.2 Теоретическое значение усадки закладочного материала под действием внешнего давления ($|K_p|_o = 1.4$, $\xi = 0.0003$, $E_o = 5000$ МПа).

Как видно, эта зависимость имеет тот же характер, что и наблюдаемая в натурных условиях, но интенсивность усадки на первом этапе выше в 1,3 раза. При этом точно определить давление по измеренной усадке на основании зависимости (3) нельзя, можно только определить порядок этой величины. Теперь, имея теоретическую зависимость, приближенную к реальной, на основании (1) можно получить зависимость эффективного модуля упругости от текущей усадки закладочного материала, которая определяется давлением на закладку.

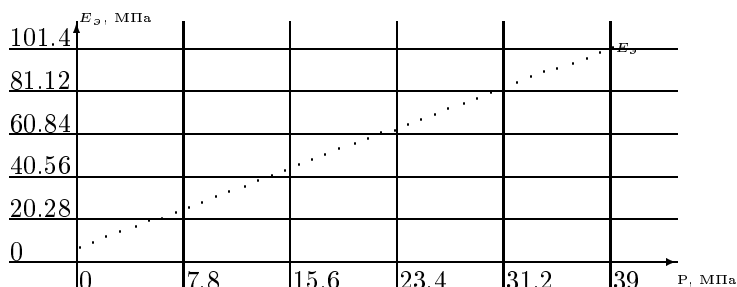


Рис.3 Теоретическая зависимость эффективного модуля упругости закладочного материала от внешнего давления ($|K_p|_o = 1.4$, $\xi = 0.0003$, $E_o = 5000$ МПа).

Теоретическая зависимость показывает линейное изменение эффективного модуля упругости. Подтвердить это на практике пока не удалось.

В данном исследовании затронуто лишь небольшое количество натурных измерений. Наличие значительных погрешностей не позволяет назвать данное исследование законченным. И всё же это можно назвать началом. Началом исследования самой нестабильной среды в горном деле.

Приложение А.

Приведение закономерностей к рабочим формам.

Согласно К. В. Руппинейта эффективный модуль упругости раздробленной породы определяется так:

$$E_o = E_o \frac{1}{1 + \frac{5}{8} \cdot \frac{K_p - 1}{\xi}}$$

где:

E_o — эффективный модуль упругости сыпучей среды;

E_o — модуль упругости образца монолитной породы;

K_p — коэффициент разрыхления сыпучей среды ($K_p = V_c/V_o$);

ξ — отношение площади скальных контактов к площади поверхности монолитных кусков.

Усадка закладки должна определяться этим модулем упругости.

$$\varepsilon_z = \sigma/E_o$$

При этом усадка складывается из уменьшения разрыхления сыпучей среды и деформации монолитных кусков:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma}{E_o} + \Delta K_p = \frac{\sigma}{E_o} + [K_p]_o - K_p$$

Выделим напряжения:

$$\frac{\sigma}{E_o} = \frac{\sigma}{E_o} + [K_p]_o - K_p$$

$$\sigma \left(\frac{1}{E_o} - \frac{1}{E_o} \right) = [K_p]_o - K_p$$

Из зависимости (1) имеем:

$$\frac{1}{E_o} = \frac{1}{E_o} \left(1 + \frac{5}{8} \frac{K_p - 1}{\xi} \right)$$

Следовательно:

$$\frac{\sigma}{E_o} \left(1 + \frac{5}{8} \frac{K_p - 1}{\xi} - 1 \right) = [K_p]_o - K_p$$

$$\frac{\sigma}{E_o} \cdot \frac{5}{8} \frac{K_p - 1}{\xi} = [K_p]_o - K_p$$

$$\sigma = E_o \cdot \frac{[K_p]_o - K_p}{\frac{5}{8} \frac{K_p - 1}{\xi}} = \frac{8}{5} \xi E_o \cdot \frac{[K_p]_o - K_p}{K_p - 1}$$

Теперь, когда получена зависимость $\sigma = f(K_p)$ легко находится обратная ей:

$$\sigma(K_p - 1) = \frac{8}{5} \xi E_o ([K_p]_o - K_p)$$

$$K_p(\sigma + \frac{8}{5} \xi E_o) = \sigma + \frac{8}{5} \xi E_o [K_p]_o$$

$$K_p = \frac{\sigma + \frac{8}{5} \xi E_o [K_p]_o}{\sigma + \frac{8}{5} \xi E_o} = 1 + \frac{8}{5} \xi E_o \frac{[K_p]_o - 1}{\sigma + \frac{8}{5} \xi E_o}$$

Литература

- [1] Руппинейт К. В.: *Деформируемость массивов трещиноватых горных пород*, Недра, М., 1975.
- [2] Макаров А. В.: *Наблюдения за усадкой закладки: Тех. отчёт.*, МГ-ГРУ, М., 2001.

Россия, г.Москва

e-mail: mykaralw@yandex.ru?subject=TerraNoNames (?)

url: <http://mykaralw.narod.ru/>

”Территория без имени”