

# ЯКОСТНИ И ДЕФОРМАЦИОННИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСКАЛНИЯ МАСИВ [RU]

## I. Методи за определяне на статичния модул на деформации на скалната основа при водонаситено състояние

### 1. Емпирични формули

#### 1.1. О. К. Воронков, Г. И. Ноздрин [5]

##### 1.1.1. Статичен модул на еластичност $E_c$

Отнася се за различни скални породи при Максимални натоварвания 9 – 11 МПа.

• Граници на изменение на  $E_d = 1 \times 10^4 \text{ МПа} \div 4 \times 10^4 \text{ МПа}$ :

Сухо състояние:  $E_c = 0,35 \cdot E_d^{1,141} (\text{МПа})$ ; Водонаситено състояние:  $E_c = 0,35 \cdot E_d (\text{МПа})$

##### 1.1.2. Статичен модул на деформации $E_o$

Отнася се за: Вулканични и метаморфни скали

• Гранично изменение на  $E_d = (1 \times 10^4 - 4 \times 10^4) \text{ МПа}$ :

Сухо състояние:  $\lg E_o = -1,5 + 1,26 \lg E_d (\text{МПа})$ ;

Водонаситено състояние:  $\lg E_o = -1,72 + 1,28 \lg E_d (\text{МПа})$ .

#### 1.2. Определяне Модул на деформация $E_o$ при известни стойности на статичен модул на еластичност $E_c$ [5]

За сухи и водонаситени скали:  $E_o = [0,936 E_c - 1\,400] \text{ МПа}$  при  $5\,000 \leq E \leq 70\,000 \text{ МПа}$ .

#### 1.3. В. Н. Никитин [4] е предложил зависимостта:

$E_c = 0,35 \cdot E_d^{1,141}$  където:  $E_c$  – статичен модул на Юнг (еластичност).

#### 1.4. Институт „Гидропроект” – Москва [7]

- Метод за косвена корелация

Статически модул на идеална еластичност  $E_{ie}$ :  $E_{ie} = 0,1333 \cdot E_d^{1,141} (\text{МПа})$

От  $E_{ie}$  се определя статичен модул на деформации:

- От експер. данни са определени зависимостите между статичен и динамичен модул:

$$\lg E = a \cdot \lg E_d \text{ или } E = 10^b \cdot E_d^a$$

Коефициентите:

$$a = 1,141 + A \cdot e^{-\alpha \cdot \sigma_{\max}}$$

$$b = 0,875 + B \cdot e^{-\beta \cdot \sigma_{\max}}$$

$\sigma_{\max}$  – статически опитни напрежения

За вулканични скални породи коефициентите  $A$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $B$  са: дадени в таблицата:

| Вид скали  | Статически модули $D$ ; $E$ | $A$   | $\alpha$ | $B$   | $\beta$ |
|------------|-----------------------------|-------|----------|-------|---------|
| Вулканични | $D_{\Sigma}$                | 0,944 | 0,0188   | 5,730 | 0,0148  |
|            | $D_I$                       | 0,862 | 0,0200   | 5,190 | 0,0156  |
|            | $D_{II}$                    | 0,661 | 0,0220   | 3,930 | 0,0170  |
|            | $E_c$                       | 0,462 | 0,0260   | 2,775 | 0,0200  |

Връзка между деформ. модул  $D$  и еластичен модул  $E_e$  е:  
Където  $C_D$  и  $\gamma_D$  са коефициенти.

$$D(E) = C_D \cdot V \gamma_D^D$$

2. Графики за определяне на статичен модул на деформации  $E_0$ , при даден динамичен модул на еластичност  $E_d$  [5] – рис. 13, рис. 14, рис. 15 и рис. 17

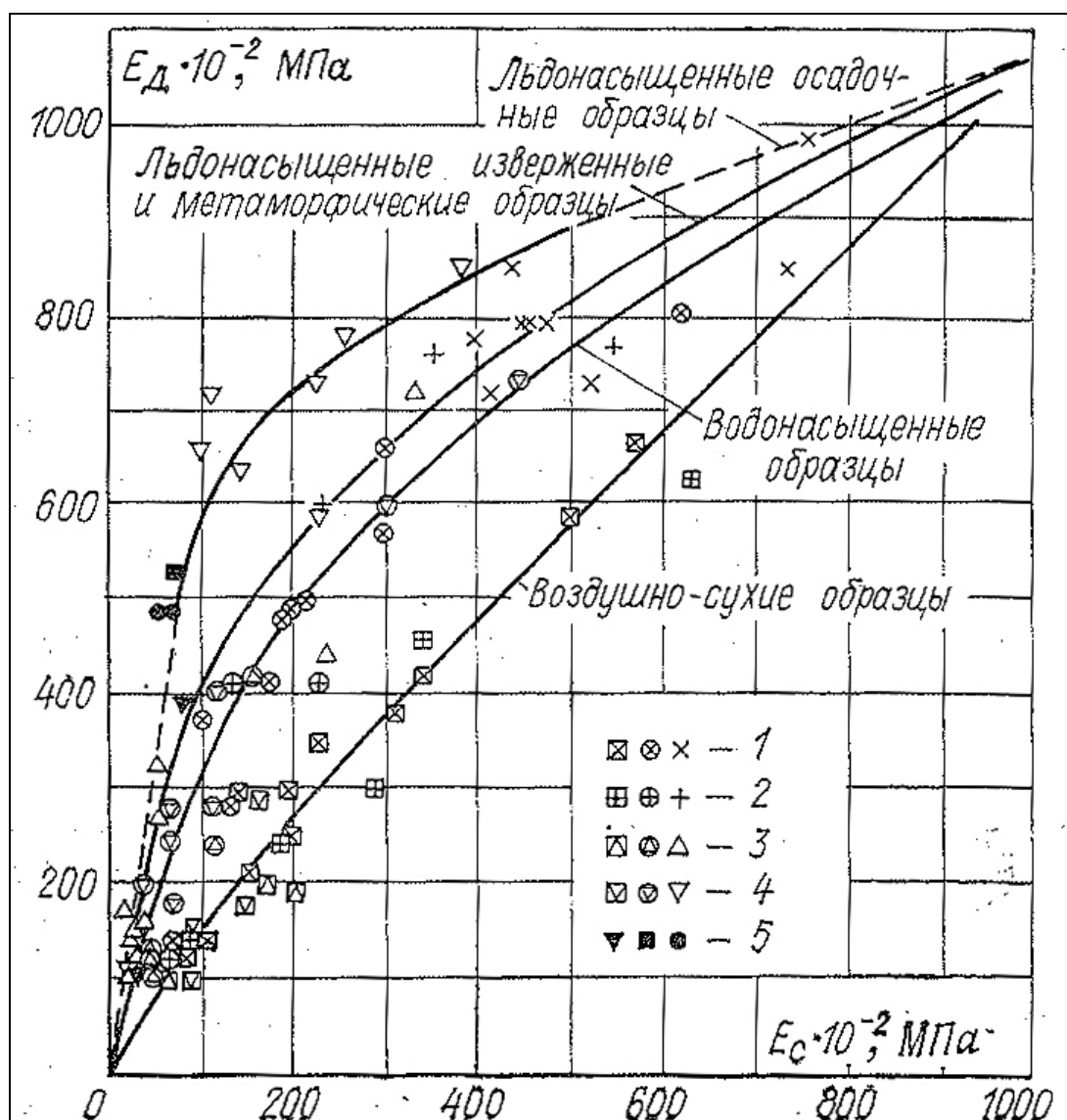


Рис. 13. Связь динамического  $E_d$  и статического  $E_s$  модулей упругости для воздушно-сухих, водонасыщенных и льдонасыщенных образцов горных пород при нагрузке 9–11 МПа

1 — соответственно воздушно-сухие, водонасыщенные и льдонасыщенные граниты, гранито-гнейсы, гнейсы; 2 — в тех же состояниях базальты, андезиты; 3 — в тех же состояниях шлаки, шлаковые лавы; 4 — в тех же состояниях песчаники, известняки; 5 — модели трещиноватых сред с заполнителем трещин льдом, мерзлым песком, мерзлыми глиной и суглинком соответственно.

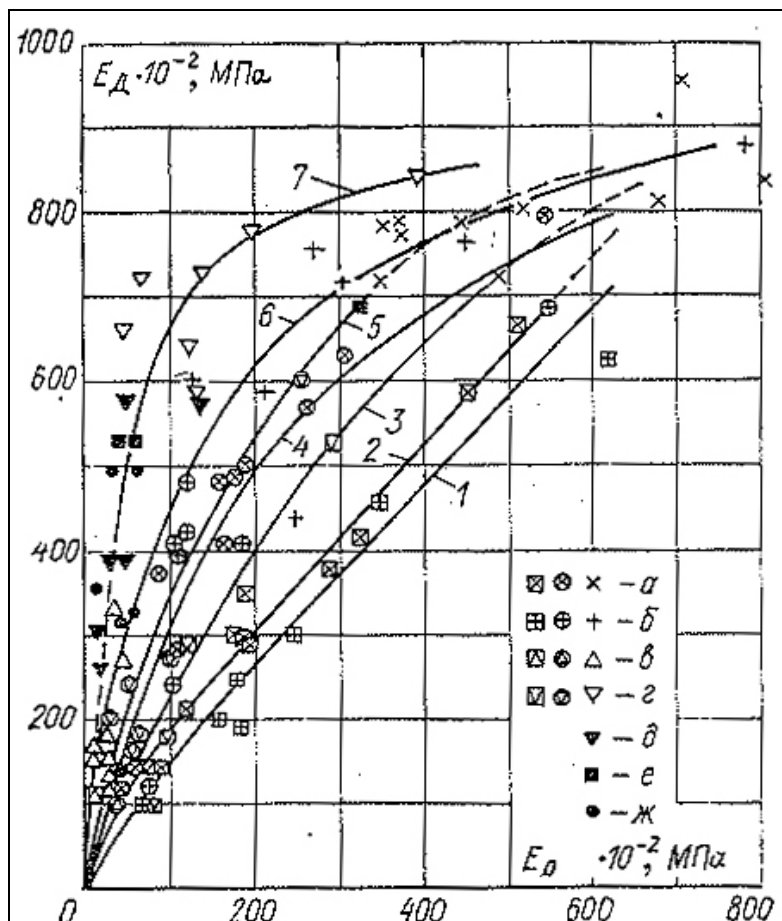


Рис. 14. Связь динамического модуля упругости  $E_d$  и модуля деформации  $E_0$  по первому циклу нагружения при нагрузке 9—11 МПа для воздушно-сухих, водонасыщенных и льдонасыщенных образцов скальных пород

$a$  — соответственно воздушно-сухие, водонасыщенные и льдонасыщенные граниты, гранито-гнейсы, гнейсы;  $b$  — то же базальты, андезиты;  $c$  — то же пемзы, шлаки, шлаковые лавы базальтов;  $d$  — то же песчаники, известняки;  $e$  — модели трещиноватых сред с заполнителем — льдом;  $ж$  — то же с льдонасыщенным песком;  $з$  — то же с глиной, суглинком; 1 — воздушно-сухие эффузивные породы; 2 — воздушно-сухие интрузивные и метаморфические породы; 3 — воздушно-сухие осадочные породы; 4 — водонасыщенные изверженные и метаморфические породы; 5 — водонасыщенные осадочные породы; 6 — льдонасыщенные изверженные и метаморфические породы; 7 — льдонасыщенные осадочные породы.

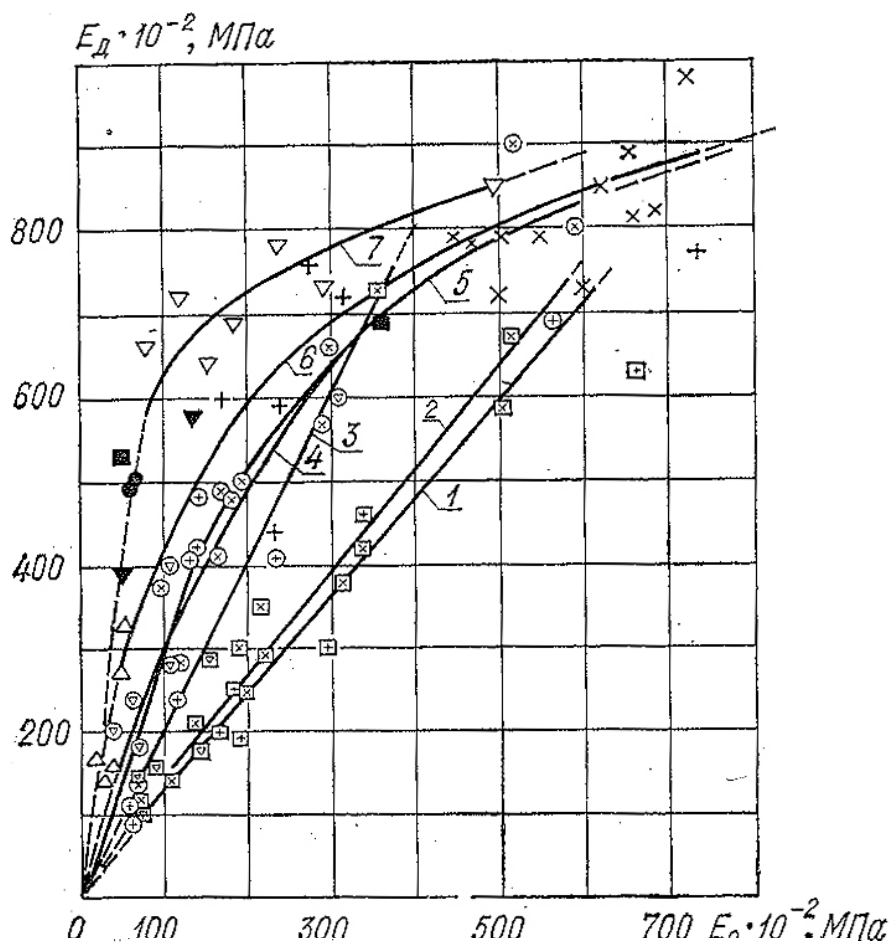
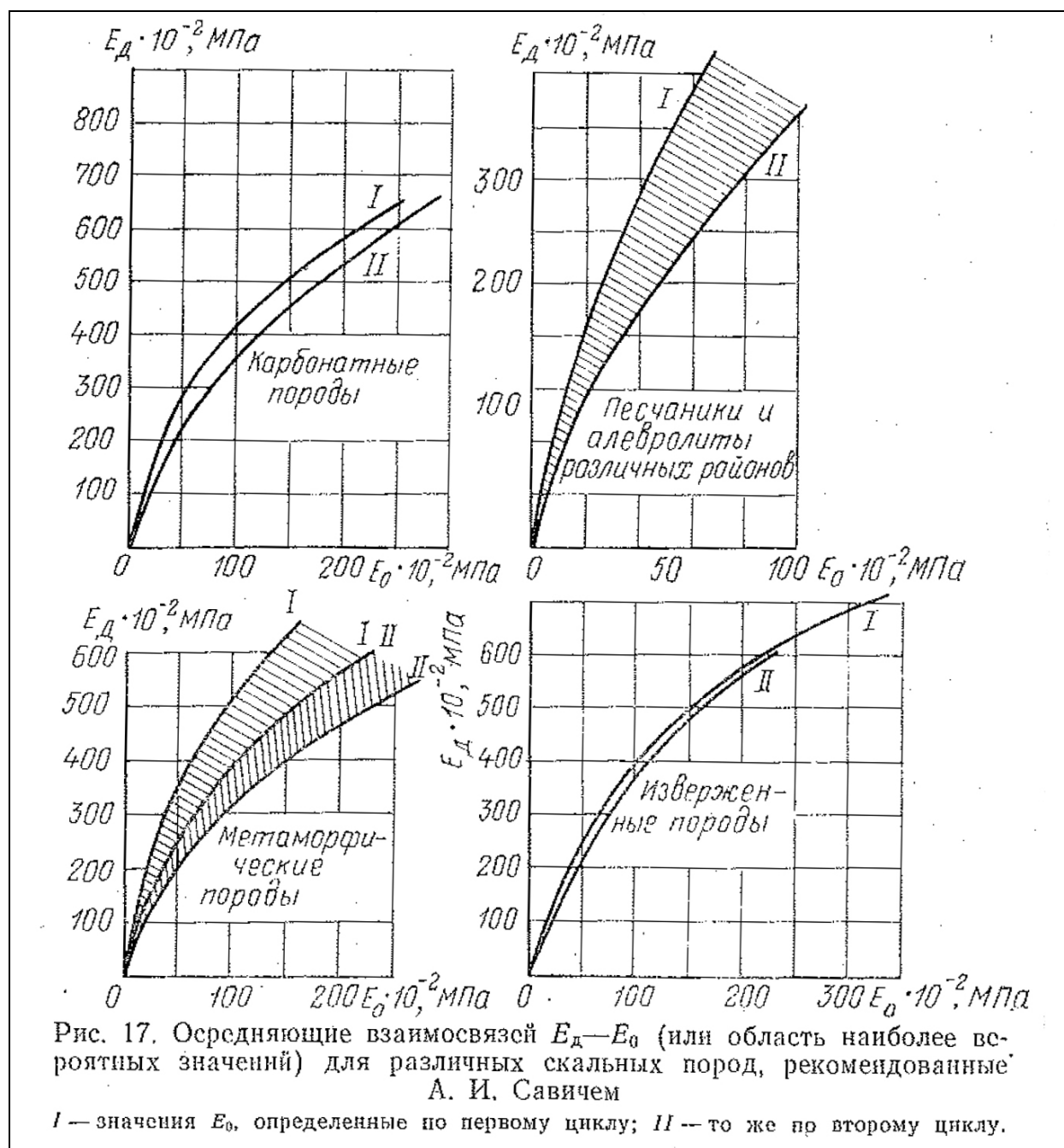


Рис. 15. Связь динамического модуля упругости  $E_d$  и модуля деформации  $E_0$  по II циклу нагружения при нагрузке 9—11 МПа для воздушно-сухих, водонасыщенных и льдонасыщенных образцов скальных пород

Условные обозначения см. рис. 14.



## II. Модул на деформация на скалната основа на бетонови стени (за около 60 % от тях $E_0=10000$ МПа.(Лит. 3))

| №  | Язовирна стена   | Страна и тип на стената | Височина (м) | Скална порода        | Модул на деформация $E_0$ x $10^3$ МПа |              |              | Заб.         |
|----|------------------|-------------------------|--------------|----------------------|----------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|    |                  |                         |              |                      | Мин.                                   | Ср.          | Макс.        |              |
| 1  | 2                | 3                       | 4            | 5                    | 6                                      | 7            | 8            | 9            |
| 1. | Братска          | Русия гравитачна        | 126          | диабаз               | 13,0<br>30,0                           | 32,0<br>50,0 | 50,0<br>30,0 | на 1 м дълб. |
| 2. | Красноярска      | Русия гравитачна        | 120          | гранит               | 5,0                                    | 11,0         | 14,0         |              |
| 3. | Могилев-Подолска | Русия гравитачна        | 62           | гранити, алевролит   | 4,0                                    | 17,0         | 30,0         |              |
| 4. | Константиновска  | Русия гравитачна        | 60           | гранити              | -                                      | 15,0         | -            |              |
| 5. | Нагу             | Авганистан гравитачна   | 104          | гнайси               | 2,0                                    | 8,0          | 14,0         |              |
| 6. | Антон Ивановци   | България гравитачна     | 144          | гнайси               | 3,0                                    | 8,0          | 10,0         |              |
| 7. | Кърджали         | България гравитачна     | 104          | крис. шисти и гнайси | 2,0                                    | 5,0          | 8,0          |              |

|               |                 |                           |     |                          |      |       |      |  |
|---------------|-----------------|---------------------------|-----|--------------------------|------|-------|------|--|
| 8.            | Кричим          | България<br>гравитачна    | 100 | гнайси                   | 5,0  | 21,0  | 53,0 |  |
| 9.            | Ардино          | България<br>проект дъгова | 115 | гнайси                   | 18,0 | 22,0  | 34,0 |  |
| 10.           | Видрару         | Румъния<br>дъгова         | 165 | гранито-<br>гнайси       | 10,0 | 13,0  | 18,0 |  |
| 11.           | Шварценбах      | Германия<br>гравитачна    | 67  | гранити                  | -    | 26,0  | -    |  |
| 12.           | Верзаска        | Швейцария<br>дъгова       | 230 | гнайси                   | 11,0 | 17,0  | 23,0 |  |
| 13.           | Контра          | Швейцария<br>дъгова       | 220 | гнайси                   | 7,0  | 13,0  | 17,0 |  |
| 14.           | Емосон          | Швейцария<br>дъгова       | 180 | гранито-<br>гнайси       | -    | 30,0  | -    |  |
| 15.           | Гримзел         | Швейцария<br>дъгова       | 114 | гранити                  | -    | 14,0  | -    |  |
| 16.           | Шлейгес         | Австрия<br>дъгова         | 131 | гнайси                   | -    | 16,0  | -    |  |
| 17.           | Чечита          | Италия<br>контрафорсна    | 55  | гранити                  | -    | 3,0   | -    |  |
| 18.           | Тин             | Франция<br>дъгова         | 180 | гнайси                   | -    | 10,0  | -    |  |
| 19.           | Калакуция       | Франция<br>Контрафорсна   | 72  | гранити                  | -    | 10,   | -    |  |
| 20.           | Ка Селва        | Италия<br>дъгова          | -   | гнайси                   | 4,0  | 6,0   | 8,0  |  |
| 21.           | Гаж             | Франция<br>дъгова         | 47  | гранити                  | -    | 6,0   | -    |  |
| 22.           | Сан Жан дьо Гар | Франция<br>дъгова         | -   | гнайси                   | 3,0  | 6,0   | 9,0  |  |
| 23.           | Сускеда         | Испания<br>дъгова         | 125 | гранити                  | 7,0  | 9,0   | 11,0 |  |
| 24.           | Кабрил          | Португалия<br>дъгова      | 135 | гранити                  | 7,0  | 11,0  | 15,0 |  |
| 25.           | Венда Нава      | Португалия<br>дъгова      | 110 | гранити                  | 5,0  | 10,0  | 19,0 |  |
| 26.           | Салиманди       | Португалия<br>дъгова      | 78  | гранити                  | 2,0  | 8,0   | 20,0 |  |
| 27.           | Канисанда       | Португалия<br>дъгова      | 76  | гранити                  | 5,0  | 15,0  | 20,0 |  |
| 28.           | Бассан          | Португалия<br>дъгова      | 65  | гранити и<br>крем. шисти | 6,0  | 8,0   | 10,  |  |
| 29.           | Ла Сольтейра    | Бразилия<br>гравитачна    | 60  | базалти                  | 5,0  | 10,0  | 15,0 |  |
| 30.           | Куробе          | Япония<br>дъгова          | 186 | гранити                  | 1,0  | 4,0   | 7,0  |  |
| Средно        |                 |                           |     |                          |      | 12,80 |      |  |
| Средно гранит |                 |                           |     |                          |      | 12,33 |      |  |

### III. Модул на деформация на бетона при бетонови стени (Лит. 3)

| Язовирна стена | Страна  | Тип на стената | Височина (m) | Модул на еластичност на бетона МПа | Модул на деформация на бетона МПа |
|----------------|---------|----------------|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Красноярска    | Русия   | гравитачна     | 120          | 34,0                               | 14,4                              |
| Братска        | Русия   | гравитачна     | 126          | -                                  | 16,0                              |
| Мораско        | Италия  | гравитачна     | 126          | -                                  | 14,0                              |
| Малпасе        | Франция | дъгова         | 67           | 25,0                               | 10,0                              |

За бетонови стени с отчитане на пукнатини и фуги в тялото, средния модул на деформация е **13 000 – 15 000 МПа.**

#### IV. Сравнение на опитни (полеви) и изчислителни параметри на съпротивление на срязване на бетонови щампи и скални масиви(Лит.3)

В таблица IV.1 са дадени сравнение на опитни и изчислителни параметри на съпротивления на срязване на бетоновите щампи, а също и скалните масиви.

Изчислителните характеристики са дадени в два вида:

- Получени, чрез въвеждане на нормативни по нормите коефициенти към  $\text{tg}\varphi$  и  $c$ , при изчисление на устойчивост на язовирни стени (колони 9, 10 и 11);
- И фактически заложили (приети) в изчисления устойчивостта на стените (колони 12, 13 и 14).

От данните в таблица IV.1 и графиките дадени в [5] показват следното:

-Параметрите на срязването  $\varphi$  и  $C$  по контакта бетон-скала са по-големи от параметрите  $\varphi$  и  $C$ , получени при срязване на скален масив.

-Получените полеви опитни параметри на срязване  $\text{tg}\varphi$  и  $C$ , както по контакта бетон-скала, така и по скалния масив в целом са значително по-големи от изчислителните. Това показва високата носеща способност на скалната основа, не всякога отчитана при проектиране на бетонови стени. Това се потвърждава от съпоставяне на срязващите и деформационни свойства на скалните масиви.

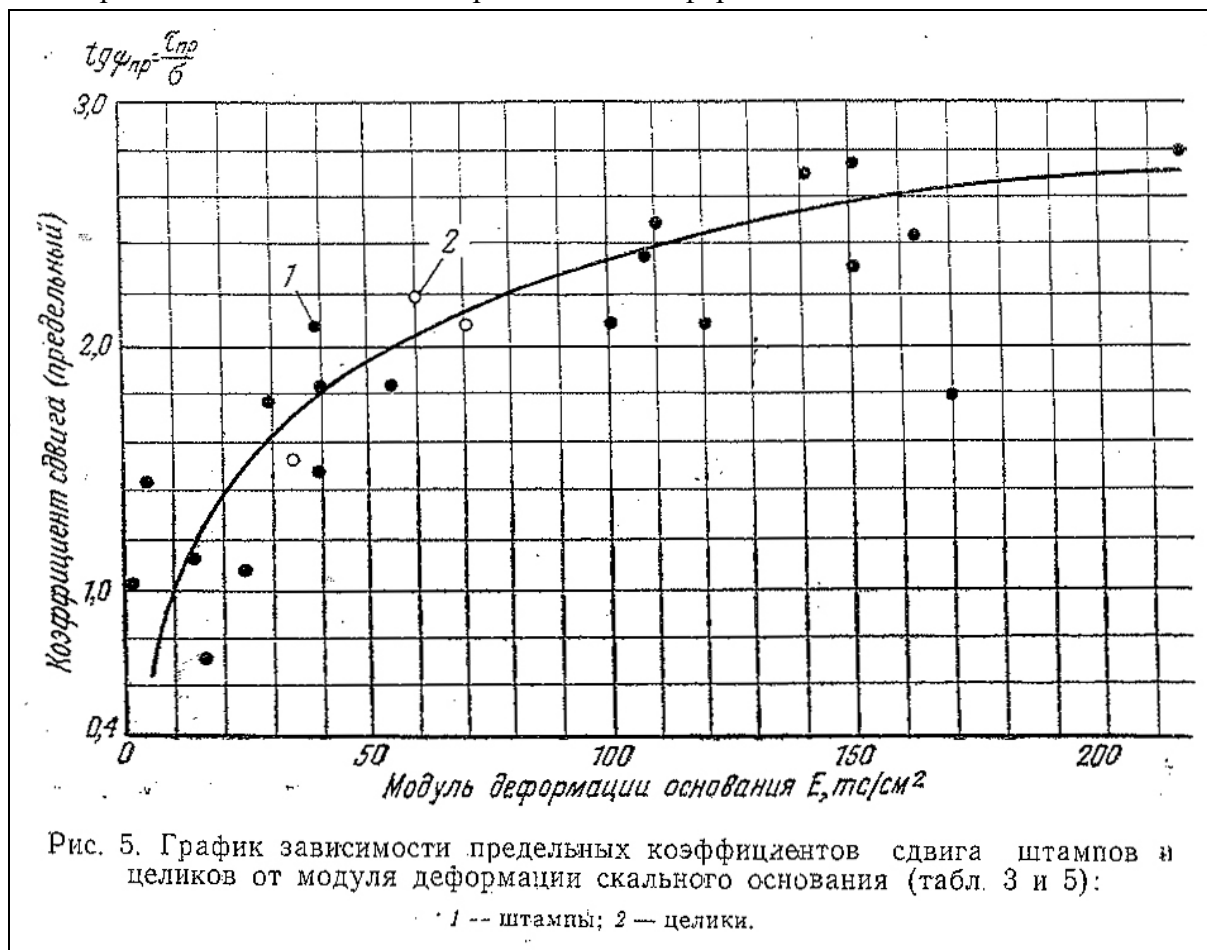


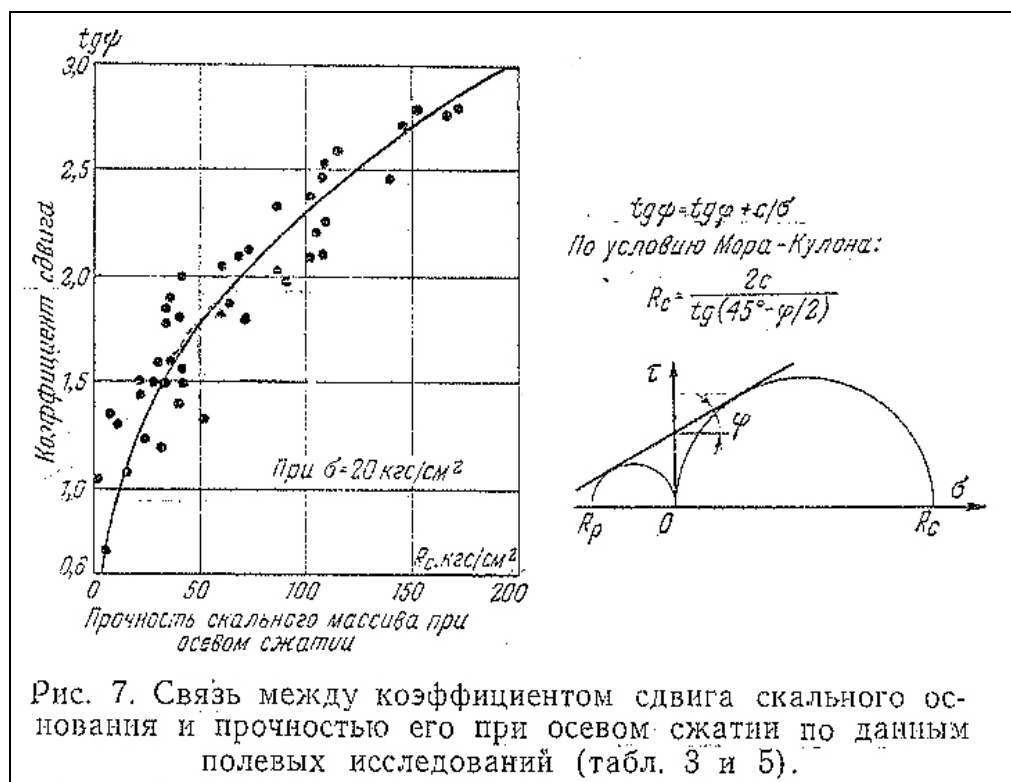
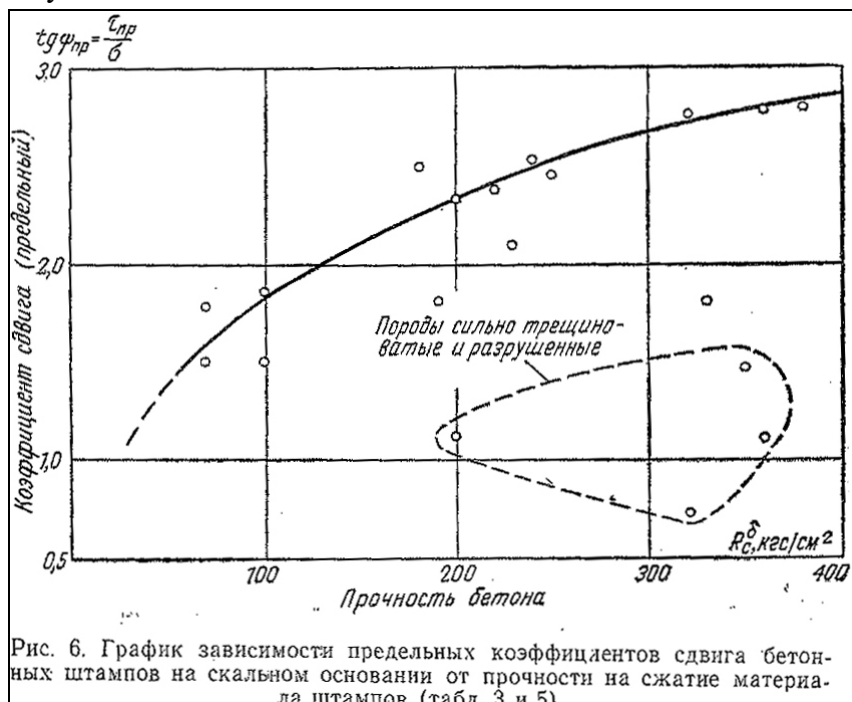
Таблица IV.1(Лит. 3)

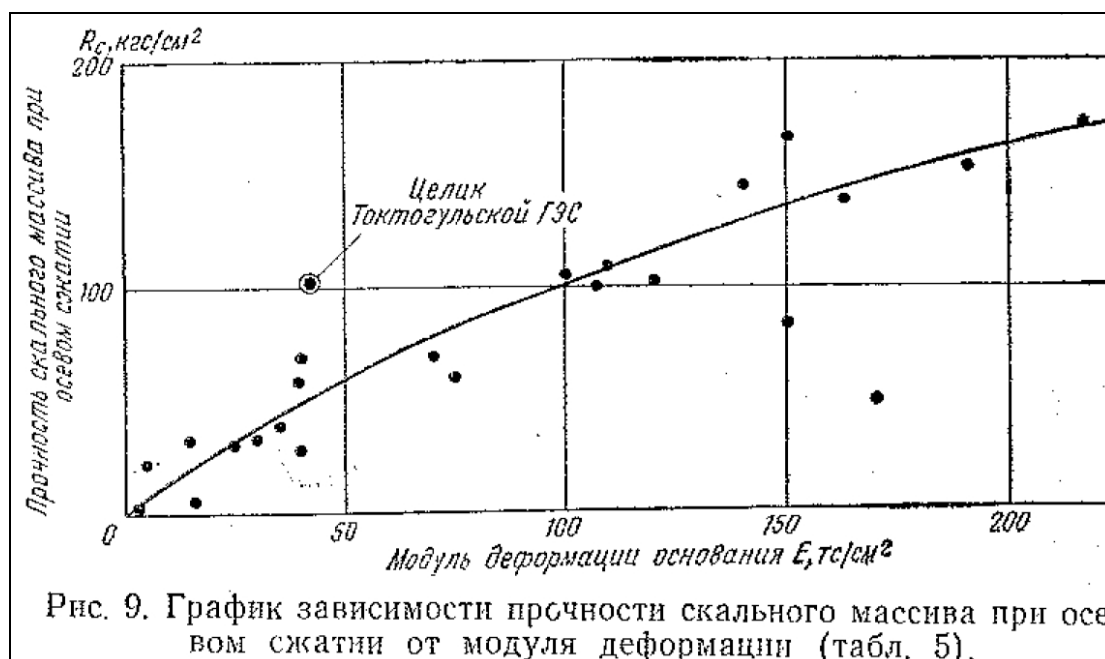
| №  | Яз. стена        | Височина | Тип на стената и страна           | Геология           | Опитни данни (гранични) |              |                | Изчислителни с намалени стойности 0,5хс и 0,8хtgφ |              |              | Изчислителни (фактически заложени в изчисленията) |              |              |
|----|------------------|----------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------|----------------|---------------------------------------------------|--------------|--------------|---------------------------------------------------|--------------|--------------|
|    |                  |          |                                   |                    | с                       | tgφ          | tgψ при σ=2МПа | с                                                 | tgφ          | tgψ          | с                                                 | tgφ          | tgψ          |
|    |                  |          |                                   |                    | МПа                     | °            | °              | МПа                                               | °            | °            | МПа                                               | °            | °            |
| 1  | 2                | 3        | 4                                 | 5                  | 6                       | 7            | 8              | 9                                                 | 10           | 11           | 12                                                | 13           | 14           |
|    |                  |          | <b>I Бетонови щампи</b>           |                    |                         |              |                | <b>По контакта бетон - скала</b>                  |              |              |                                                   |              |              |
| 1. | Красноярска      | 120      | гравитачна Русия                  | гранит             | 1,4                     | 1,8          | 2,5            | 0,7                                               | 1,44         | 1,79         | 0,3                                               | 0,7          | 0,85         |
| 2. | Могилев-Подолска | 62       | гравитачна Русия                  | гранит             | 0,8                     | 1,4          | 1,8            | 0,112                                             | 1,32         | -            | -                                                 | -            | -            |
| 3. | Братска          | 126      | гравитачна Русия                  | диабаз             | 1,4                     | 1,82         | 2,52           | 0,7                                               | 1,46         | 1,81         | 0,3                                               | 0,7          | 0,85         |
| 4. | Уст Илимск       | 105      | гравитачна Русия                  | диабаз             | 0,81                    | 1,0          | 1,4            | 0,4                                               | 0,8          | 1,0          | 0,3                                               | 0,7          | 0,85         |
| 5. | Константиновска  | 60       | гравитачна Русия                  | гранит             | 0,5<br>0,34             | 1,25<br>0,90 | 1,5<br>1,08    | 0,25<br>0,17                                      | 1,0<br>0,72  | 1,13<br>0,81 | 0,2                                               | 0,65         | 0,75         |
| 6. | Наглу            | 104      | гравитачна Авганистан             | гнайс              | 0,125<br>0,85           | 1,71<br>0,7  | 2,33<br>1,12   | 0,62<br>0,425                                     | 1,37<br>0,56 | 1,68<br>0,77 | 0,2<br>0,2                                        | 1,0<br>0,8   | 1,1<br>0,9   |
| 7. | Чаира            | -        | България                          | гранито-гнайс      | 0,9                     | 1,2          | 1,65           | 0,45                                              | 0,96         | 1,18         | 0,35                                              | 0,85         | 1,02         |
| 8. | Кабрал           | 135      | Португалия                        | гранит             | -                       | -            | -              | -                                                 | -            | -            | 0                                                 | 0,7          | 0,7          |
|    |                  |          |                                   |                    |                         |              |                | <b>Средно</b>                                     |              |              | <b>0,264</b>                                      | <b>0,762</b> | <b>0,878</b> |
|    |                  |          | <b>II Скални блокове (целици)</b> |                    |                         |              |                | <b>По скалният масив в целом</b>                  |              |              |                                                   |              |              |
| 1. | Ингури           | 270      | дъгова Грузия                     | варовици           | 0,7                     | 1,2          | 1,55           | 0,35                                              | 0,96         | 1,13         | 0,2<br>0,4                                        | 0,8<br>0,9   | 0,9<br>1,1   |
| 2. | Чиркейска        | 230      | дъгова                            | варовици           | 0,4                     | 1,1          | 1,80           | 0,70                                              | 0,88         | 1,23         | 0,2                                               | 0,7          | 0,8          |
| 3. | Токтогулска      | 205      | гравитачна Киркизия               | хлоритови шисти    | 1,75                    | 1,34         | 2,21           | 0,87                                              | 1,07         | 1,5          | 0,33<br>0,35                                      | 0,92<br>1,00 | 1,08<br>1,17 |
| 4. | Миатлинска       | 80       | Русия дъгова                      | пясъчници алеврити | 0,5                     | 1,05         | 1,3            | 0,25                                              | 0,84         | 0,97         | 0,1<br>0,05                                       | 0,55<br>0,40 | 0,60<br>0,40 |
| 5. | Намахвани        | 174      | Индия дъгова                      | туфи брекчий       | 0,95                    | 1,65         | 2,12           | 0,475                                             | 1,32         | 0,56         | -                                                 | -            | -            |
| 6. | Саяно-Шушенска   | 242      | дъгова Русия                      | кристални шисти    | 1,8                     | 1,3          | 2,2            | 0,90                                              | 1,04         | 1,49         | 0,5                                               | 1,0          | 1,25         |

На рис. 5 е дадена зависимост на коефициента на срязване на бетонови щампи и скални масиви (целици) от модула на деформация на скалната основа, което свидетелства не само за тясна връзка на тези параметри а че даже и много слаби скални и полускални основи с модул на деформации не по-малък от 10 т/см<sup>2</sup> се характеризират с висок коефициент на сигурност на срязване.

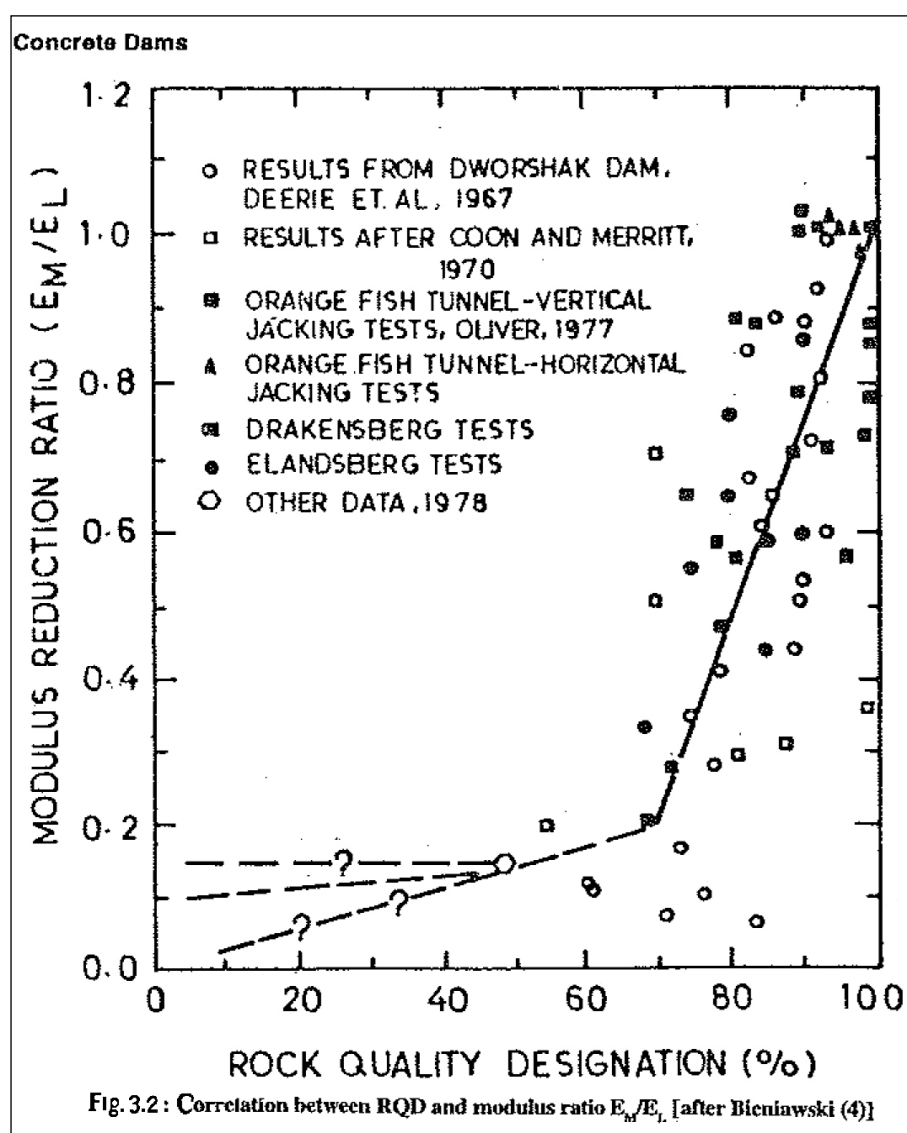
От анализа на построените 30 язовирни стени (рис. 6, 7 и 9) и построените графики [5] се вижда, че якостта на скалния масив е съизмерима с якостта на бетона и се получава тясна връзка между якостите осов натиск на скалния масив и неговия модул на деформация, изразен със зависимостта:  $R_{c(кг/см^2)} \approx 0,001(т/см^2)$

Данните от изследванията [5], показват не само за близки деформационни и якостни свойства на скалния масив и бетона, но и за високи якости на контакта бетон-скала, съизмерими с якостта на тялото на стената и долу лежащата скална основа.





Лит.1 фиг. 3.2 и 3.3



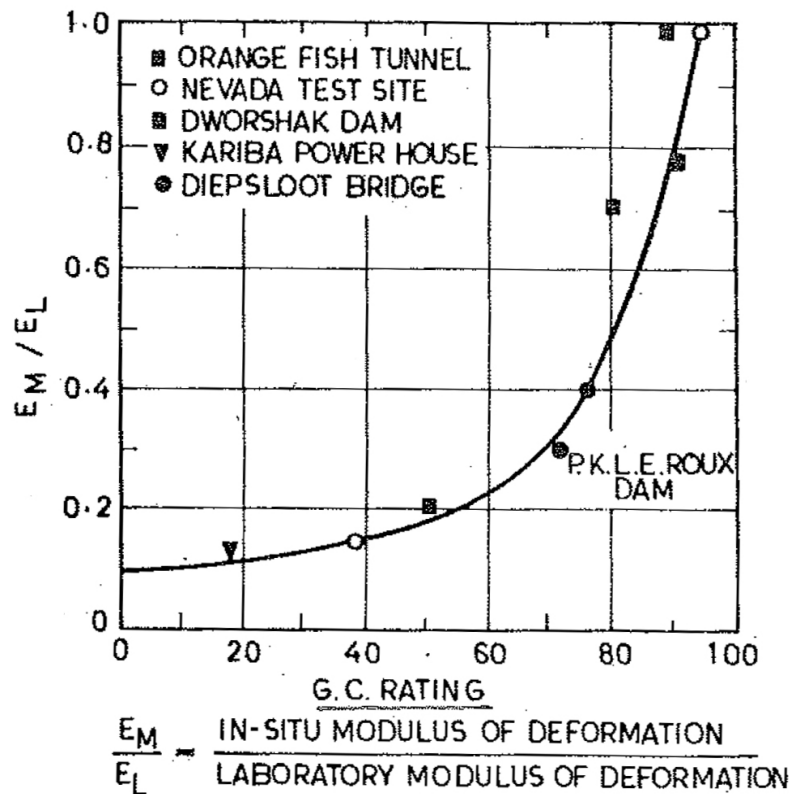


Fig. 3.3 : Relationship between geomechanics-classification rating (GCR) and modulus ratio  $E_M/E_L$  [after Bieniawski and Orr (1)]

## V. Определяне на модула на деформация на скалния масив от модула на еластичност на пробни тела (образци) $E_n$ (лит. 6)

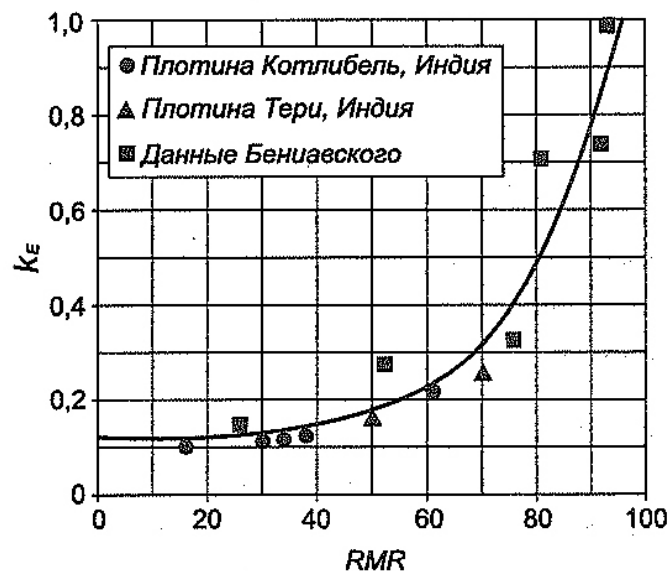


Рис. 2.11.1. Зависимость коэффициента снижения модуля деформации от суммарной оценки качества скалы RMR (Singh, 1979)

На рис. 2.11.1 е дадена графика на Singh, 1999 г. за определяне модула на деформации на скалния масив по зависимостта:  $E_M = K_E \cdot E_n$  (MPa) където коефициентът  $K_E$  се определя от графика на фиг. рис. 2.11.1, в зависимост от RMR (Rock Mass Rating);  $E_n$  – модул на еластичност, определен лабораторно от пробни тела, извадени чрез сондажи от тялото на стената.

**VI. Зависимости между изчислителните стойности на  $C$ ,  $tg\varphi$  и  $tg\psi$ , от измерените стойности на същите при бетонови щампи и скални масиви(Лит. 3).**

- 1. Отношение на изчислителните стойности на  $C$ ,  $tg\varphi$  и  $tg\psi$  към параметрите, получени от бетоновите щампи**

**Таблица VI-1**

| Язовирна стена   | Н, m | Геология       | $\frac{C_{из}}{C_{б.щ}}$ | $\frac{tg\varphi_{из}}{tg\varphi_{б.щ}}$ | $\frac{tg\psi_{из}}{tg\psi_{б.щ}}$ |
|------------------|------|----------------|--------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| 1.Братска        | 126  | диабаз         | 0,214                    | 0,385                                    | 0,337                              |
| 2. Красноярска   | 120  | гранит         | 0,214                    | 0,389                                    | 0,34                               |
| 3.Зейска         | 110  | диабаз         | 0,208                    | 0,424                                    | 0,359                              |
| 4.Саяно Шушенска | 242  | кристал. шисти | 0,32                     | 0,83                                     | 0,592                              |
| 5.Ингури         | 270  | варовици       | 0,32                     | 0,833                                    | 0,591                              |
| 6.Токтогулска    | 205  | варовици       | 0,10                     | 0,367                                    | 0,339                              |
| 7.Уст Илимск     | 105  | диабаз         | 0,37                     | 0,70                                     | 0,607                              |
| 8.Курпсайска     | 112  | пясъчник       | 0,40                     | 0,625                                    | 0,580                              |
| 9.Наглу          | 104  | гнайс          | 0,16<br>0,235            | 0,585<br>1,143                           | 0,472<br>0,804                     |
| 10.Чаира         | 83   | гранито-гнайс  | 0,389                    | 0,708                                    | 0,618                              |
| <b>Средно</b>    |      |                | <b>0,293</b>             | <b>0,699</b>                             | <b>0,564</b>                       |

$\frac{\tau_{гр}}{\sigma}$

- 2. Отношение на изчислителните стойности на  $C$ ,  $tg\varphi$  и  $tg\psi$  към стойностите получени от скални блокове  $C_{ск.бл.}$ ,  $tg\varphi_{ск.бл.}$  и  $tg\psi_{ск.бл.}$ .**

**Таблица VI-2**

| Язовирна стена   | Н, m | Геология       | $\frac{C_{из}}{C_{б.щ}}$ | $\frac{tg\varphi_{из}}{tg\varphi_{б.щ}}$ | $\frac{tg\psi_{из}}{tg\psi_{б.щ}}$ |
|------------------|------|----------------|--------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| 1.Ингурска       | 270  | варовици       | 0,286                    | 0,667                                    | 0,581                              |
| 2. Чиркейска     | 230  | варовици       | 0,143                    | 0,638                                    | 0,444                              |
| 3.Токтогулска    | 205  | варовици       | 0,194                    | 0,151                                    | 0,516                              |
| 4.Мианглинская   | 80   | пясъчници      | 0,150                    | 0,452                                    | 0,385                              |
| 5.Саяно Шушенска | 242  | кристал. шисти | 0,278                    | 0,769                                    | 0,568                              |
| <b>Средно</b>    |      |                | <b>0,210</b>             | <b>0,535</b>                             | <b>0,499</b>                       |

## Литература

1. Concrete Dams. Editor C. V. Varma CBIP New Delhi 1998.
2. С. Ухов. Скальные основания Гидротехнических Сооружений „Энергия” – Москва 1975.
3. Ю. А. Фишман. Сравнение характеристик прочности и деформируемости скальных оснований и бетонных плотин. Труды Гидропроекта, выпуск 50. Москва 1977
4. Ф. М. Ляховицкий и др. Инженерная геофизика. Москва. „Недра” 1989.
5. Рекомендации по изучению методами инженерной сейсмоки статических и динамических характеристик деформируемости скальных оснований. Изд. ВНИИГ П 19-85/ВНИИГ. Ленинград 1985.
6. Э. Г. Газиев. Скальные основания. Бетонных плотин. Москва 2005.

**VII. Формулы от Основы физики горных пород, геомеханики массива - Порцевский, Катков (2004)**

| Автор                                                                             | Расчёт сцепления в массиве С, МПа                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кулон, Мор                                                                        | $0.5 * \sigma_{сж} * \operatorname{tg} \varphi$                                                  |
| В.И.Борщ-Компониец, Б.А.Крайнев                                                   | $C = \lambda^{0.6} C_0, \quad C_0 = \frac{\sigma_{сж}^0}{2 \operatorname{tg}(90 - \varphi / 2)}$ |
| И.А.Ковалев, Ю.А.Боровков, Е.Н.Холобаев, сцепление в области неупругих деформаций | $\sigma_p * \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi}$                                             |
| И.И.Протопопов <sup>13</sup>                                                      | $(0.6-0.8) * C_0$                                                                                |

Таблица 6

**Сцепление и угол внутреннего трения горного массива**

| Характеристика горного массива                                                               | Сцепление, С, МПа | Угол внутреннего трения, $\varphi$ , град. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| 1. Характер поверхности                                                                      |                   |                                            |
| - ровная и гладкая                                                                           | ---               | 18-25                                      |
| - неровная и шероховатая                                                                     | 0.05-0.1          | 23-30                                      |
| 2. Заполнитель трещин                                                                        |                   |                                            |
| - глина, хлорит при естественной влажности                                                   | 0.1-0.2           | 11-15                                      |
| - глина, хлорит при водонасыщении                                                            | 0.005             | 10                                         |
| - кальцит, флюорит                                                                           | 0.2-0.3           | 16-23                                      |
| 3. Естественная трещиноватость без заполнителя, в зависимости от размера отдельности (d), мм |                   |                                            |
| < 5                                                                                          | 0.05-0.08         | < 11                                       |
| 5 - 15                                                                                       | 0.08-0.15         | 11-16                                      |
| 15 - 40                                                                                      | 0.15-0.2          | 16-22                                      |
| 40 - 100                                                                                     | 0.2-0.25          | 22-26                                      |
| > 100                                                                                        | 0.2-0.25          | > 26                                       |

**Зависимость между напряжениями сжатия, растяжения и сцепления:**

$$\sigma_p : c : \sigma_{сж} = 1 : 2 : 8 .$$

Коэффициент бокового отпора

| Автор                                                                    | Формула                                                | Значение $\eta$                               |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| А.Гейм                                                                   | 1                                                      | 1                                             |
| А.Н.Динник при $\mu=0.13\div 0.25$                                       | $\frac{\mu}{1-\mu}$                                    | $0.15\div 0.33$                               |
| Г.А.Крупенник при $\varphi=38\div 58^\circ$                              | $\frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi}$                | $0.08\div 0.23$                               |
| М.М.Протодяконов, В.Д.Слесарев, СНиП II-44 при $\varphi=38\div 58^\circ$ | $\operatorname{tg}^2 \frac{90-\varphi}{2}$             | $0.08\div 0.23$                               |
| Н.П.Ерофеев, Ю.Н.Ерофеев                                                 | $0.2 + \frac{H}{1250}$                                 | При $H=100\div 1000$ м<br>$\eta=0.28\div 1.0$ |
| Г.М.Малахов                                                              | $1 - 0.07 \exp\left(\frac{275 \cdot 10^4}{H^2}\right)$ | $0.4\div 0.9$                                 |

$\mu$  - коэффициент поперечных деформаций (Пуассона)

$$\mu = \varepsilon_{\text{попер}} / \varepsilon_{\text{прод}} = 0 \div 0.5 \quad .$$

### VIII. Стойности от Геомеханика в плотиностроении - Э.Калустян (2008)

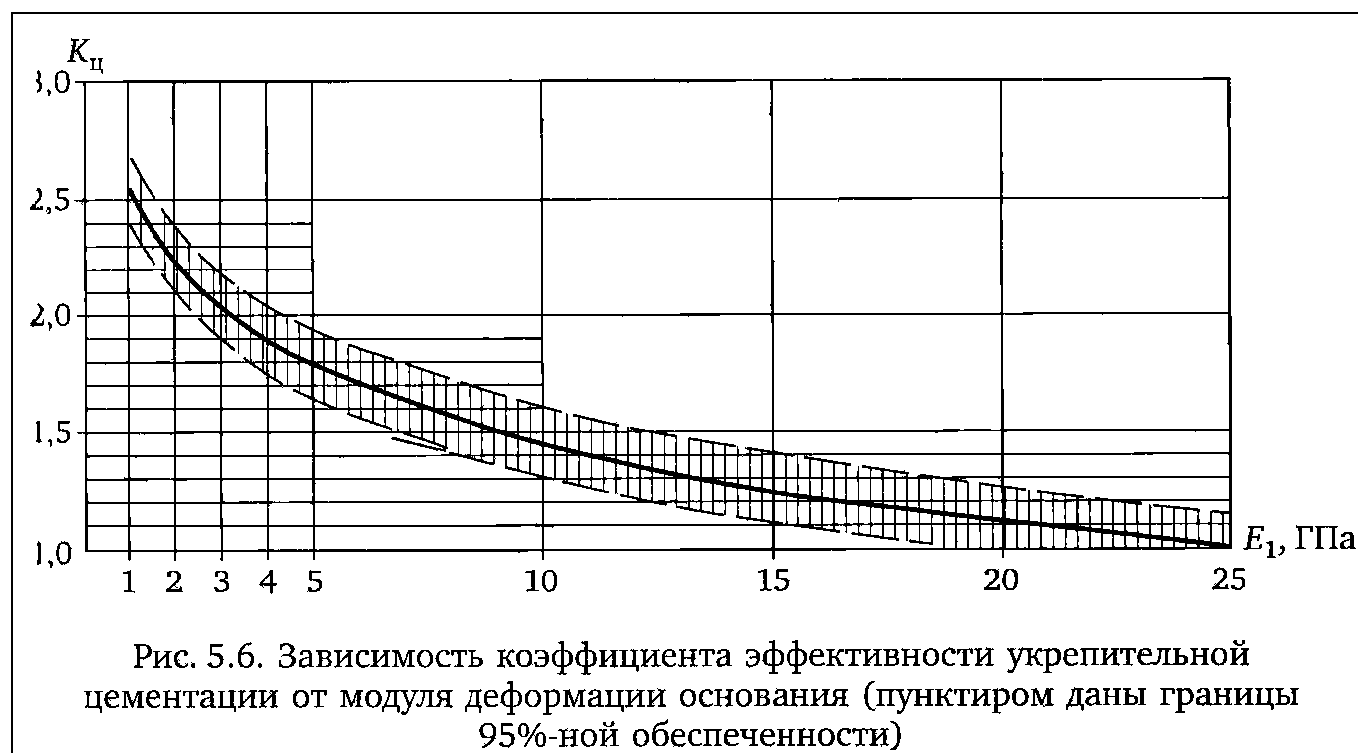


Рис. 5.6. Зависимость коэффициента эффективности укрепительной цементации от модуля деформации основания (пунктиром даны границы 95%-ной обеспеченности)