

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

Կ. Տ. Կոբանյան

Устойчивость плоской формы изгиба за пределами упругости при произвольном законе упрочнения

В практических расчетах на устойчивость плоской формы изгиба за пределами упругости обычно пользуются предложением С. П. Тимошенко [1], согласно которому жесткости стержня на изгиб и кручение при потере устойчивости плоской формы изгиба за пределами упругости по сравнению с упругими жесткостями уменьшаются в том же отношении, в каком уменьшается жесткость сжатого стержня на изгиб при потере устойчивости прямолинейной формы за пределами упругости, причем касательный модуль определяется по максимальной пластической деформации изгиба. Это предложение дает пониженное значение для жесткостей, следовательно, и для критической длины плоско изогнутого стержня при потере устойчивости за пределами упругости, хотя бы потому, что при сжатии призматический стержень целиком переходит за предел упругости, а при изгибе значительная часть поперечного сечения остается в пределах упругости.

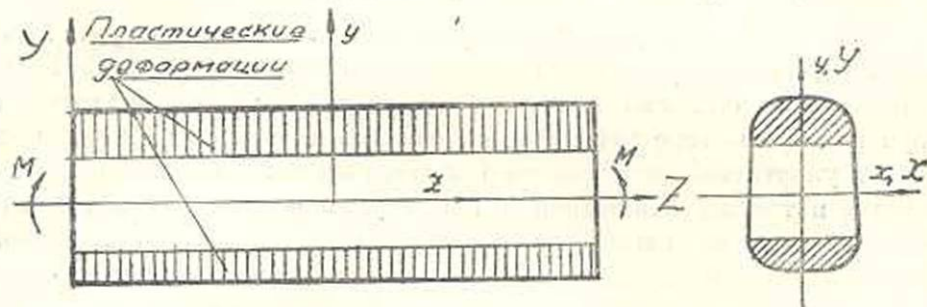
Задача устойчивости плоской формы изгиба за пределами упругости рассматривалась в работах Л. М. Качанова [2, 3, 4]. В работах [2, 3] рассмотрена задача устойчивости плоской формы изгиба узкого прямоугольного поперечного сечения в случаях идеальной пластичности и линейного закона упрочнения. Распределение вариаций деформаций сдвига предполагается таким, как в соответствующей задаче в пределах упругости. В работе [4] Л. М. Качанов рассматривает те же задачи, исходя из теории пластического течения.

В настоящей работе рассматривается задача о потере устойчивости плоской формы изгиба призматического стержня произвольного поперечного сечения при произвольном законе упрочнения материала, исходя из теории малых упруго-пластических деформаций, детально разработанной А. А. Ильюшиным [5].

Вариации деформаций растяжения и сжатия представлены через вариации кривизны и удлинения центральной оси стержня, как в элементарной теории изгиба, а вариации деформаций сдвига—через функцию кручения и угол закручивания, как в теории кручения Сен-Венана. Далее рассмотрим две конкретные задачи: устойчивость

плоской формы чистого изгиба стержня прямоугольного поперечного сечения и тонкостенного двутавра. Задача определения критических величин приводится к определению одного коэффициента. Жесткость на кручение определяется приближенно, причем с принятой в работе точностью обеспечивается непрерывность вариаций касательных напряжений.

§ 1. *Постановка задачи.* Пусть стержень с прямой осью подвергнут чистому изгибу парами, приложенными на его концах. Будем пользоваться двумя системами осей координат: ось Z направлена по центральной оси недеформированного стержня, а оси X и Y — по главным осям концевое поперечного сечения (фиг. 1).



Фиг. 1

С произвольным поперечным сечением деформированного стержня свяжем вторую координатную систему x, y, z так, чтобы x и y были направлены по главным осям поперечного сечения, а ось z — по касательной оси стержня. Будем рассматривать такой случай закрепления концов стержня, когда концевые сечения могут свободно поворачиваться относительно осей X и Y и не могут вращаться вокруг оси Z .

Для краткости предположим, что поперечное сечение стержня обладает одной осью симметрии, причем изгиб происходит в плоскости симметрии стержня.

Предполагая, что сечения, нормальные к оси стержня, при изгибе остаются плоскими, для деформированного состояния стержня имеем:

$$\begin{aligned} e_{xy} = e_{xz} = e_{yz} = 0, \quad e_{xx} = e_{yy} = -Ge_{zz} \\ e_{zz} = e_0 - z_0 y, \quad e_1 = |e_{zz}|. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Здесь e_0 — относительное удлинение, а z_0 — кривизна центральной линии стержня. Обозначая прогиб центральной оси стержня через V_0 , имеем:

$$z_0 = \frac{d^2 V_0}{dZ^2}. \quad (1.2)$$

Используя теорию малых упруго-пластических деформаций, для докритического напряженного состояния стержня получаем:

$$\begin{aligned}\sigma_x = \sigma_y = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0 \quad \sigma_1 = |\sigma_z|, \\ \sigma_z = E e_{zz} [1 - \omega(|e_{zz}|)],\end{aligned}\quad (1.3)$$

где $E = 3G$ — модуль упругости.

Из условия равновесия части стержня, расположенной между концом стержня $Z = 0$ и произвольным сечением $Z = \text{const}$, имеем:

$$\iint \sigma_z dx dy = 0, \quad \iint y \sigma_z dx dy = -M. \quad (1.4)$$

Здесь M — внешний изгибающий момент. Интегрирование производится по всему поперечному сечению $Z = \text{const}$.

При заданном M соотношения (1.4) определяют относительное удлинение e_0 и кривизну χ_0 центральной оси стержня, а последними определяются размеры пластических областей поперечного сечения. Поэтому в дальнейшем будем считать, что до потери устойчивости распределение областей упругих и пластических деформаций известно.

Если жесткость стержня на изгиб относительно оси y мала по сравнению с жесткостью относительно оси x , то при некотором значении внешнего момента M плоская форма изгиба становится неустойчивой.

Рассмотрим состояние стержня, изогнутого парами, приложенными к его концам, близкое к состоянию плоского изгиба.

Согласно теории тонких стержней варьированное напряженное состояние будет характеризоваться следующими напряжениями:

$$\sigma_z + \delta\sigma_z, \quad \delta\tau_{xz}, \quad \delta\tau_{yz}; \quad \delta\sigma_x = \delta\sigma_y = \delta\tau_{xy} = 0, \quad \delta\sigma_1 = \delta|\sigma_z|, \quad (1.5)$$

а варьированное деформированное состояние, если материал считать несжимаемым, — следующими деформациями:

$$e_{zz} + \delta e_{zz}, \quad \delta e_{xz}, \quad \delta e_{yz}; \quad e_{xx} + \delta e_{xx} = e_{yy} + \delta e_{yy} = -\frac{1}{2}(e_{zz} + \delta e_{zz}),$$

$$\delta e_{xx} = \delta e_{yy} = -\frac{1}{2} \delta e_{zz}, \quad \delta e_{xy} = 0.$$

В областях нагружения связь между вариациями деформаций и напряжений для возмущенного состояния стержня можно найти путем варьирования основного закона малых упруго-пластических деформаций, который для тонких стержней будет выражаться следующими состояниями:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_1}{e_1} e_{zz}, \quad \tau_{xz} = \frac{\sigma_1}{3e_1} e_{xz}, \quad \tau_{yz} = \frac{\sigma_1}{3e_1} e_{yz}, \quad \sigma_1 = E e_1 [1 - \omega(e_1)],$$

$$\text{где } \sigma_1 = \sqrt{\sigma_z^2 + 3(\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}, \quad e_1 = \sqrt{e_{zz}^2 + \frac{1}{3}(e_{xz}^2 + e_{yz}^2)}.$$

Варьируя эти соотношения, имеем:

$$\delta\sigma_z = \frac{d\sigma_i}{de_i} \delta e_i \frac{e_{zz}}{e_i} - \frac{\delta_i}{e_i^2} e_{zz} \delta e_i + \frac{\sigma_i}{e_i} \delta e_{zz},$$

$$\delta\tau_{xz} = \frac{1}{3} \frac{d}{de_i} \left(\frac{\sigma_i}{e_i} \right) e_{xz} \delta e_i + \frac{\sigma_i}{3e_i} \delta e_{xz},$$

$$\delta\tau_{yz} = \frac{1}{3} \frac{d}{de_i} \left(\frac{\sigma_i}{e_i} \right) e_{yz} \delta e_i + \frac{\sigma_i}{3e_i} \delta e_{yz}.$$

Используя здесь (1.1), (1.3) и (1.5), получаем:

$$\delta\sigma_z = \frac{d\sigma_i}{de_i} \delta e_{zz},$$

$$\delta\tau_{xz} = \frac{\sigma_i}{3e_i} \delta e_{xz}, \quad (1.6)$$

$$\delta\tau_{yz} = \frac{\sigma_i}{3e_i} \delta e_{yz}.$$

В областях разгрузки и упругих деформаций связь между вариациями напряжений и деформаций находим из (1.6), положив

$$\varepsilon_i = 3Ge_i = Ee_i:$$

$$\delta\sigma_z = E\delta e_{zz}, \quad \delta\tau_{xz} = G\delta e_{xz}, \quad \delta\tau_{yz} = G\delta e_{yz}.$$

Поверхность, разделяющая области нагружения и разгрузки, определяется из условия равенства нулю вариации интенсивности деформаций

$$\delta e_i = \delta |e_{zz}| = 0 \quad \text{или} \quad \delta e_{zz} = 0.$$

Относительное удлинение деформированной оси стержня обозначим через ε , ее кривизны в плоскостях XZ и YZ—через κ' и $\kappa_0 + \kappa$, а поворот поперечного сечения вокруг оси Z—через θ . Тогда исходя из представления о деформированном состоянии, обычном для теории тонких стержней, имеем:

$$\delta e_{zz} = \varepsilon - \kappa y + \kappa' x,$$

$$\delta e_{xz} = \left(\frac{\partial \varphi(x, y)}{\partial x} - y \right) \frac{d\theta}{dZ},$$

(1.7)

$$\delta e_{yz} = \left(\frac{\partial \varphi(x, y)}{\partial y} + x \right) \frac{d\theta}{dZ}.$$

Внося (1.7) в (1.6) и используя (1.3), для вариаций напряжений в областях нагружения, где до потери устойчивости материал находился за пределами упругости, получаем:

$$\delta\sigma_z = \frac{d\sigma_i}{de_i} (\varepsilon - \kappa y + \kappa' x),$$

$$\begin{aligned}\delta\tau_{xz} &= G\dot{\theta} (1-\omega) \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y} - y \right), \\ \delta\tau_{yz} &= G\dot{\theta} (1-\omega) \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y} + x \right).\end{aligned}\quad (1.8)$$

Здесь $\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dZ}$, $G(1-\omega) = \frac{\sigma_i}{3e_i}$.

Для областей разгрузки и упругих деформаций выражения вариаций напряжений примут вид:

$$\begin{aligned}\delta\sigma_z &= E(\varepsilon - \kappa y + \kappa' x), \\ \delta\tau_{xz} &= G \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} - y \right) \dot{\theta}, \\ \delta\tau_{yz} &= G \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y} + x \right) \dot{\theta}.\end{aligned}\quad (1.9)$$

Обозначая перемещения точек центральной оси стержня в направлении осей X и Y через $U_1 = U(Z)$ и $V_1 = V_0(Z) + V(Z)$ и используя (1.2), имеем:

$$\kappa' = \frac{d^2 U}{dZ^2}, \quad \kappa = \frac{d^2 V}{dZ^2}. \quad (1.10)$$

Предполагая, что внешний момент M при потере устойчивости сохраняет прежнее значение, из условий равновесия части стержня, находящейся между концом $Z=0$ и произвольным сечением $Z=\text{const}$, находим:

$$\begin{aligned}\iint \delta\sigma_z \, dx dy &= 0, \\ \iint y \delta\sigma_z \, dx dy &= 0, \\ \iint x \delta\sigma_z \, dx dy &= 0M, \\ \iint (x \delta\tau_{yz} - y \delta\tau_{xz}) \, dx dy &= - \frac{dU}{dZ} M.\end{aligned}\quad (1.11)$$

Интегрирование здесь производится по всему сечению $Z=\text{const}$. Каждый из этих интегралов должен быть разбит на несколько частей, так как в области разгрузки и упругих деформаций справедливы соотношения (1.9), а в областях нагружения — (1.8). Уравнения (1.11) являются уравнениями потери устойчивости за пределами упругости.

Как известно, уравнения потери устойчивости в пределах упругости имеют вид:

$$B^* \frac{d^2 U}{dZ^2} = 0M, \quad C^* \frac{d\theta}{dZ} = - \frac{dU}{dZ} M, \quad (1.12)$$

где B^* — боковая упругая жесткость на изгиб, а C^* — упругая жесткость на кручение.

В следующих параграфах мы укажем общий путь перехода от системы уравнений (1.11) к системе двух дифференциальных уравнений, аналогичной системе (1.12). Задача сводится к определению двух коэффициентов, аналогичных коэффициентам B^* и C^* в уравнениях (1.12), которые будут характеризовать жесткость стержня при потере устойчивости плоской формы изгиба за пределами упругости.

§ 2. *Определение жесткостей B и C .* Обозначим через $D_1, D_2, \dots$ области нагружения, где до потери устойчивости материал находился за пределами упругости, а через $D'_1, D'_2, \dots$ — области разгрузки и упругих деформаций. Подставляя значение $\delta\sigma_z$ из (1.8) и (1.9) в первые три уравнения системы (1.11), получаем:

$$\sum_j \iint_{D_j} \frac{d\sigma_i}{de_i} (\gamma - \alpha y + x) dx dy + \sum_k \iint_{D'_k} E (\gamma - \alpha y + x) dx dy = 0,$$

$$\sum_j \iint_{D_j} \frac{d\sigma_i}{de_i} (\gamma - \alpha y + x) y dx dy + \sum_k \iint_{D'_k} E (\gamma - \alpha y + x) y dx dy = 0,$$

$$\left[\sum_j \iint_{D_j} \frac{d\sigma_i}{de_i} (\gamma - \alpha y + x) x dx dy + \sum_k \iint_{D'_k} E (\gamma - \alpha y + x) x dx dy \right] \alpha' = \theta M. \quad (2.1)$$

Здесь $\gamma = \frac{\varepsilon}{\alpha'}$, $\alpha = \frac{\alpha}{\alpha'}$.

Решая первые два уравнения (2.1) для конкретно заданного поперечного сечения, внешнего момента и закона упрочнения материала относительно неизвестных величин γ и α , затем внося полученные значения γ и α в последнее уравнение (2.1), получаем:

$$B \frac{d^2 U}{dZ^2} = \theta M, \quad (2.2)$$

где B будет уже известной постоянной величиной:

$$B = \sum_j \iint_{D_j} \frac{d\sigma_i}{de_i} (\gamma - \alpha y + x) x dx dy + \sum_k \iint_{D'_k} E (\gamma - \alpha y + x) x dx dy. \quad (2.3)$$

Она будет характеризовать жесткость стержня на изгиб при потере устойчивости плоской формы изгиба за пределами упругости.

Внося (1.8) в последнее уравнение системы (1.11), получаем:

$$C \frac{d\theta}{dZ} = -M \frac{dU}{dZ}, \quad (2.4)$$

где

$$C = G \iint (1 - \omega) \left(x \frac{\partial \varphi}{\partial y} - y \frac{\partial \varphi}{\partial x} + x^2 + y^2 \right) dx dy.$$

Величина C будет жесткостью на кручение при потере устойчивости плоской формы изгиба. Интегрирование здесь производится по всему сечению, причем функция $\omega(y)$ обращается в нуль в областях разгрузки и упругих деформаций.

Система двух дифференциальных уравнений (2.1) и (2.3) отличается от системы (1.12) только постоянными коэффициентами. После определения коэффициентов B и C задача об устойчивости плоской формы изгиба за пределами упругости сводится к соответствующей задаче в пределах упругости.

Для определения функции φ , через которую выражается жесткость на кручение C , мы используем уравнение равновесия

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = 0, \quad (2.5)$$

граничные условия, выражающие, что:

а) боковая поверхность стержня свободна от внешних усилий,
б) на линии раздела областей нагружения и разгрузки, а также на границе упругих и пластических областей, вариации напряжений сдвига меняются непрерывно,

и условие, что функции φ , представляющая вариации перемещений по направлению оси z , непрерывна.

Из (1.9) и (2.5) находим, что в областях разгрузки и упругих деформаций функция φ удовлетворяет уравнению Лапласа:

$$\Delta \varphi = 0.$$

Для областей нагружения $D_1, D_2, \dots$ из (1.8) и (2.5), принимая во внимание, что в рассматриваемой задаче ω зависит только от y , для функции φ получаем уравнение:

$$\Delta \varphi - \frac{1}{1-\omega} \frac{d\omega}{dy} \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{x}{1-\omega} \frac{d\omega}{dy}. \quad (2.6)$$

Здесь φ_j — значение функции φ в области D_j , а φ'_k — в области D'_k .

Из граничных условий имеем:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \nu} = y \cos(\nu, x) - x \cos(\nu, y) \text{ — на контуре сечения,} \quad (2.7)$$

где ν — внешняя нормаль к контуру поперечного сечения,

$$\frac{\partial \varphi'_k}{\partial \nu} = (1-\omega) \frac{\partial \varphi_j}{\partial \nu} + \omega [y \cos(\nu, x) - x \cos(\nu, y)] \text{ —} \quad (2.8)$$

на линиях, являющихся границами между областями нагружения D_j и разгрузки D'_k .

Для определения величины C удобнее будет ввести функцию

напряжения, аналогичную функции напряжения Прандтля в теории кручения упругих стержней.

Введем функцию $F(x, y)$ следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}\delta\tau_{xx} &= \dot{\theta} \frac{\partial F}{\partial y} = G(1-\omega) \dot{\theta} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} - y \right) \\ \delta\tau_{yx} &= -\dot{\theta} \frac{\partial F}{\partial x} = G(1-\omega) \dot{\theta} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} + x \right),\end{aligned}\quad (2.9)$$

где ω зависит только от y в областях D_j и обращается в нуль в областях разгрузки и упругих деформаций (фиг. 2).

Из (2.6) и (2.9) находим, что функция F в областях D_j должна удовлетворять уравнению

$$\Delta F + \frac{1}{1-\omega} \frac{d\omega}{dy} \frac{\partial F}{\partial y} = -2G(1-\omega). \quad (2.10)$$

Положив в (2.10) $\omega = 0$ получим дифференциальное уравнение, которому должна удовлетворять функция F в областях D'_k

$$\Delta F = -2G. \quad (2.11)$$

Используя соотношения (2.9) и известные формулы $\cos(\nu, x) = \frac{dy}{ds}$,

$\cos(\nu, y) = -\frac{dx}{ds}$, где ds — дифференциал дуги кривой, являющейся границей всего поперечного сечения, из условия (2.7) получаем:

$$\frac{\partial F}{\partial x} \frac{dx}{ds} + \frac{\partial F}{\partial y} \frac{dy}{ds} = \frac{\partial F}{\partial s} = 0$$

или $F = \text{const}$ на контуре сечения. (2.12)

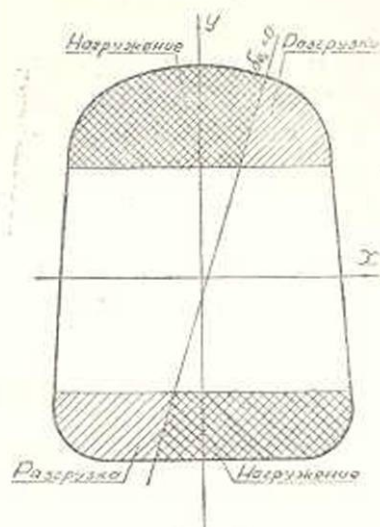
Обозначая через F_1 и F'_k значения функции F , соответствующие φ_1 и φ'_k , из (2.8) и (2.9) находим:

$$F_j = F'_k = \text{const} = c_{jk} \text{ на границах } D_j \text{ и } D'_k. \quad (2.13)$$

Из условия непрерывности функции φ и соотношений (2.9) получаем второе условие, которому должна удовлетворять функция F

$$\frac{1}{1-\omega} \frac{\partial F_j}{\partial \nu} = \frac{\partial F'_k}{\partial \nu} \text{ на границах } D_j \text{ и } D'_k. \quad (2.14)$$

В рассматриваемой задаче границы областей нагружения всегда имеют общую часть с границей области поперечного сечения, поскольку как линии раздела областей нагружения и разгрузки, так и граница упругих и пластических областей, которыми отделяются



Фиг. 2.

области нагружения от остальной части поперечного сечения, суть прямые, пересекающие контур поперечного сечения. В этом случае постоянные $c_{jk} = 0$.

Действительно, для этого достаточно, чтобы условие $F_j - F'_k = 0$ выполнялось для одной точки границы областей D_j и D'_k . Такой точкой может служить точка пересечения линии раздела этих областей с контуром поперечного сечения, так как на контуре, согласно (2.12),

$$F_j = F'_k = F = C_0.$$

Тогда вместо (2.13) будем иметь:

$$F_j = F'_k \text{ на границе } D_j \text{ и } D'_k. \quad (2.15)$$

Легко заметить, что любая постоянная удовлетворяет однородным уравнениям, соответствующим (2.10), (2.11) и условиям (2.14), (2.15). Но, как видно из (2.9), функцию F достаточно определить с точностью до произвольной постоянной. Поэтому можно положить

$$C_0 = 0.$$

Таким образом, вместо (2.12) будем иметь условие:

$$F = 0 \text{ на контуре сечения.} \quad (2.16)$$

Для жесткости C через функцию F будем иметь выражение:

$$C = - \iint \left(x \frac{\partial F}{\partial x} + y \frac{\partial F}{\partial y} \right) dx dy. \quad (2.17)$$

Чтобы упростить выражение (2.17), представим его в виде:

$$C = - \sum \iint_{D_j} \left(x \frac{\partial F}{\partial x} + y \frac{\partial F}{\partial y} \right) dx dy - \sum \iint_{D'_k} \left(x \frac{\partial F}{\partial x} + y \frac{\partial F}{\partial y} \right) dx dy.$$

Так как функция F в каждой из областей D_j , D'_k непрерывна со своими производными, мы можем произвести интегрирование по частям:

$$\begin{aligned} C = & - \sum \int_{L_j} F [x \cos(\nu, x) + y \cos(\nu, y)] ds - \sum \int_{L'_k} F [x \cos(\nu, x) + \\ & + y \cos(\nu, y)] ds + 2 \sum \iint_{D_j} F dx dy + 2 \sum \iint_{D'_k} F dx dy. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Здесь в первых двух суммах L_j и L'_k обозначают контуры областей D_j и D'_k . Часть контурных интегралов в (2.18) обращается в нуль вследствие (2.16). По остальной части контуров интегрирование совершается два раза в противоположных направлениях. Контурные интегралы, распределенные по этой части контуров, вслед-

ствие непрерывности функции F взаимно уничтожаются. Поэтому из (2.18) получаем:

$$C = 2 \iint F \, dx dy. \quad (2.19)$$

Здесь интегрирование производится по всему поперечному сечению.

Таким образом, мы доказали, что обычная формула, связывающая жесткость на кручение с функцией напряжения, справедлива и в данном случае.

Определение жесткости на кручение при потере устойчивости свелось, таким образом, к нахождению функции F , определяемой уравнением (2.10) в областях D_1 , уравнением (2.11) в областях D'_k и условиями (2.14), (2.15) и (2.16).

§ 3. Устойчивость стержня прямоугольного сечения. Уравнение (2.1) значительно упрощается при $\varepsilon = \gamma = 0$, т. е. когда линия раздела областей разгрузки и нагружения проходит через центр тяжести поперечного сечения. Это условие выполняется, например, при потере устойчивости плоской формы изгиба стержня, поперечное сечение которого имеет две оси симметрии.

В качестве примера рассмотрим устойчивость плоской формы чистого изгиба стержня прямоугольного поперечного сечения (фиг. 3).

Для докритического состояния имеем:

$$e_{xx} = -\kappa_0 y, \quad e_i = |e_{xx}| = \kappa_0 |y|, \quad e_s = \kappa_0 \eta.$$

Прямые $y = \pm \eta$ разделяют упругие и пластические области поперечного сечения.

При потере устойчивости вариации деформации растяжения будут иметь вид:

$$\delta e_{xx} = \kappa' x - \kappa y.$$

Линия раздела областей нагружения и разгрузки определяется уравнением

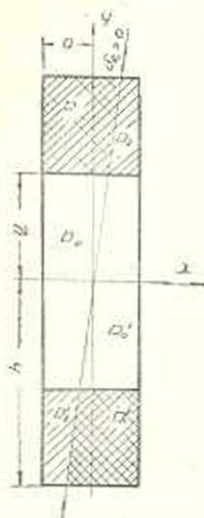
$$x = \alpha y,$$

где

$$\alpha = \frac{\kappa}{\kappa'}.$$

Первое уравнение (2.1) для рассматриваемой задачи обращается в тождество. Исходя из второго уравнения этой же системы, можно показать, что линия раздела $x = \alpha y$ всегда проходит через области пластических деформаций.

Остается рассмотреть два случая: а) когда линия раздела пересекается со сторонами прямоугольника $y = \pm b$, и б) когда линия раздела пересекается со сторонами прямоугольника $x = \pm a$.



Фиг. 3.

Обозначим через D_0 и D_2 области разгрузки и упругих деформаций, а через D_1 — область нагружения верхней половины поперечного сечения. Соответствующие области нижней половины сечения обозначим через D'_0 , D'_1 , D'_2 .

Второе уравнение (2.1) и формула (2.3) для рассматриваемого распределения областей нагружения и разгрузки после некоторых преобразований примут вид:

$$\beta^2 \int_{\zeta}^1 \lambda \rho^2 d\rho - 2\beta \left(\frac{2}{3} - \int_{\zeta}^1 \lambda \rho^2 d\rho \right) + \int_{\zeta}^1 \lambda \rho d\rho = 0, \quad (3.1)$$

$$B = k_1 B^* = B^* \left(1 - \frac{1}{2} \int_{\zeta}^1 \lambda d\rho - \frac{3\beta}{4} \int_{\zeta}^1 \lambda \rho d\rho + \frac{\beta^2}{4} \int_{\zeta}^1 \lambda \rho^2 d\rho \right), \quad (3.2)$$

где введены обозначения:

$$\lambda = 1 - \frac{1}{E} \frac{d\sigma_1}{d\epsilon_1}, \quad \zeta = \frac{\eta}{h}, \quad \beta = \frac{h}{a} \alpha, \quad \rho = \frac{y}{h},$$

а $B^* = \frac{4}{3} E a^3 h$ — упругая жесткость на изгиб.

Соотношения (3.1) и (3.2) вместе со вторым уравнением (1.4), которое в принятых обозначениях для рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$M = M_s \left(\frac{1}{\zeta} - \frac{3}{\zeta} \int_{\zeta}^1 \omega \rho^2 d\rho \right), \quad (3.3)$$

определяют искомую величину B для прямоугольного поперечного сечения. Здесь $M_s = \frac{4}{3} E e_s a h^2$ — предельный изгибающий момент, при котором в плоско-изогнутом стержне начинают появляться пластические деформации.

Нам остается определить функцию φ или F , чтобы установить значение жесткости на кручение C при потере устойчивости плоской формы изгиба за пределами упругости для нахождения критической длины или критического момента.

Точное определение функции F (или φ) для прямоугольной области, удовлетворяющей (2.12) в областях D_0 , D'_0 , D_2 , D'_2 , (2.11) в областях D_1 , D'_1 , краевому условию (2.17) и условиям (2.15), (2.16) на линиях раздела областей нагружения и областей разгрузки и упругих деформаций для произвольного отношения сторон прямоугольного сечения и произвольного закона упрочнения, представляет большие математические затруднения.

Для приближенного определения функции F с успехом могут быть применены методы численного интегрирования, — как метод сеток, так и метод прямых, так как вся граница составлена из прямолинейных отрезков.

С целью нахождения общего выражения для жесткости накручение при произвольном законе упрочнения, мы несколько упростим постановку задачи определения функции F , предполагая, что поперечное сечение стержня достаточно узко, так что, можно не считаться с условиями на участках границы $y = \pm h$ ($-a \leq x \leq a$) и пренебречь величинами, имеющими порядок $\frac{a}{h}$ по сравнению с единицей.

Таким образом, требуется построить непрерывную функцию в прямоугольнике $[-a \leq x \leq a; -h \leq y \leq h]$, удовлетворяющую уравнению Пуассона

$$\Delta F = -2G \quad (3.4)$$

в областях D_0, D'_0, D_2, D'_2 ,

$$\text{уравнению} \quad \Delta F + \frac{1}{1-\omega} \frac{d\omega}{dy} \frac{\partial F}{\partial y} = -2G(1-\omega) \quad (3.5)$$

в областях D_1, D'_1 ,

$$\text{краевому условию} \quad F = 0 \quad \text{при} \quad x = \pm a \quad (3.6)$$

$$\text{и условию} \quad \frac{1}{1-\omega} \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_1 = \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_2 \quad (3.7)$$

Здесь под $\left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_1$ подразумевается значение нормальной к линии раздела производной F в областях D_1 и D'_1 , а под $\left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_2$ — значение этой же производной в областях D_2 и D'_2 .

Из самой постановки задачи непосредственно следует, что функция F должна удовлетворять условию

$$F(-x, -y) = F(x, y). \quad (3.8)$$

Поэтому достаточно построить функцию F только для одной половины области поперечного сечения. Условие (3.8) позволяет продолжать функцию F на другую половину области.

Рассмотрим в прямоугольнике $[-a \leq x \leq a, 0 \leq y \leq h]$ функцию, определяемую следующими соотношениями:

$$F = \begin{cases} F_0 = G(a^2 - x^2) & \text{в области } D_0, \\ F_1 = G(1-\omega) \left[a^2 + \omega \frac{(a^2 - x^2 y^2)(x+a)}{2a - \omega(a + \alpha y)} - x^2 \right] & \text{" } D_1, \\ F_2 = G \left[a^2 + \omega \frac{(a^2 - x^2 y^2)(x-a)}{2a - \omega(a + \alpha y)} - x^2 \right] & \text{" } D_2, \end{cases} \quad (3.9)$$

Функция F , определяемая соотношениями (3.9), непрерывна в прямоугольнике $[-a \leq x \leq a; 0 \leq y \leq h]$, точно удовлетворяет крайним условиям $F=0$ при $x = \pm a$, условию $\frac{1}{1-\omega} \frac{\partial F_1}{\partial x} = \frac{\partial F_2}{\partial x}$ при $x = \pm a$ и уравнению (3.4) в области D_0 .

Предположим, что величина $e_i^2 \frac{d^2 \omega}{de_i^2}$ имеет порядок единицы:

$$e_i^2 \frac{d^2 \omega}{de_i^2} = y^2 \frac{d^2 \omega}{dy^2} = O(1). \quad (3.10)$$

Физический смысл этого предположения состоит в том, что диаграмма $\omega - e_i$ не должна иметь сильно закругленных участков. Условие (3.10) имеет место, например, при законе линейного упрочнения.

Присоединим к (3.10) условия

$$1 > \omega > 0, \quad 1 > e_i \frac{d\omega}{de_i} > 0, \quad 1 - \omega = O(1), \quad \alpha = O\left(\frac{a}{h}\right). \quad (3.11)$$

Первые два условия являются непосредственными следствиями основных неравенств теории пластичности. Условие $1 - \omega = O(1)$ имеет место не только при неразвитых пластических деформациях, когда обычно пренебрегают величинами порядка ω , но и для достаточно широкого класса задач теории пластичности. Последнее условие (3.11) вытекает непосредственно из малости отношения $\left(\frac{a}{h}\right)$.

Непрерывная функция $F(x, y)$, определяемая соотношениями (3.8) и (3.9), при условиях (3.10) и (3.11) представляет приближенное решение поставленной задачи для узкого прямоугольника, так как все условия задачи (3.4), (3.5), (3.6) и (3.7) удовлетворяются или точно, или приближенно в том смысле, что, если при постановке функция F , например, в левую часть уравнения (3.4), пренебречь величинами, имеющими порядок $\frac{a^2}{h^2}$ по сравнению с величинами порядка величин правой части, это уравнение обратится в тождество.

Внося (3.9) в (2.19) и принимая во внимание (3.8), получаем:

$$C = k_2 C^* = C^* \left[1 - \frac{1}{2} \int_0^1 \omega \rho d\rho - \frac{3\beta}{4} \int_0^1 \omega \rho^2 d\rho + \frac{\beta^2}{4} \int_0^1 \omega \rho^3 d\rho + \right. \\ \left. + \frac{3\beta}{2} \int_0^1 \frac{\omega(1-\beta^2 \rho^2)}{2-\omega(1+\beta \rho)} \rho d\rho - \frac{3}{8} \int_0^1 \frac{\omega^2(1-\beta^2 \rho^2)(1+\beta \rho)^2}{2-\omega(1+\beta \rho)} d\rho \right]. \quad (3.12)$$

Здесь $C^* = \frac{16}{3} G a^3 h$ — упругая жесткость на кручение стержня узкого прямоугольного поперечного сечения.

Для случая, когда линия раздела пересекается со сторонами прямоугольника, параллельными оси y , будем иметь следующие формулы, аналогичные формулам (3.1), (3.2), (3.12):

$$\beta^2 \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} \lambda \rho d\rho - 2\beta \left[\int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} (2-\lambda) \rho^2 d\rho + 2 \int_{\frac{1}{\beta}}^1 \lambda \rho^2 d\rho + \frac{2}{3} \left(\zeta^3 + \frac{1}{\beta^3} - 1 \right) \right] + \int_{\zeta}^1 \lambda \rho d\rho = 0, \quad (3.13)$$

$$B = k_1 B^* = B^* \left[\frac{\beta^3}{4} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} \lambda \rho^3 d\rho + \frac{\beta}{4} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} (2-\lambda) \rho d\rho + \frac{1}{2} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} (2-\lambda) d\rho - \int_{\frac{1}{\beta}}^1 \lambda d\rho + \left(1 - \frac{1}{\beta} \right) + \zeta \right], \quad (3.14)$$

$$C = k_1 C^* = C^* \left[1 - \int_{\zeta}^1 \omega d\rho + \frac{1}{2} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} \omega d\rho - \frac{3\beta}{4} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} \omega \rho d\rho + \frac{\beta^3}{4} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} \omega \rho^3 d\rho + \frac{3\beta}{2} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} \frac{\omega(1-\beta^2 \rho^2) \rho d\rho}{2-\omega(1+\beta \rho)} - \frac{3}{8} \int_{\zeta}^{\frac{1}{\beta}} \frac{\omega^2(1-\beta^2 \rho^2)(1+\beta \rho)^2 d\rho}{2-\omega(1+\beta \rho)} \right]. \quad (3.15)$$

Заметим, что основные соотношения (4.2) работы [2] и (3.3) работы [3] получаются как частные случаи из соотношений (3.1), (3.2), (3.13) и (3.14).

Используя решение рассматриваемой задачи в пределах упругости, имеем:

$$l_{кр} = \frac{\pi}{M} \sqrt{BC}. \quad (3.16)$$

Здесь $l_{кр}$ — критическая длина стержня.

Используя в (3.16) обозначения (3.2) и (3.12), получаем:

$$l_{кр} = k l_{кр}^*,$$

где $l_{кр}^*$ — критическая длина стержня при законе упругих деформаций, $k = \sqrt{k_1 k_2}$.

Таким образом, задача определения критической длины свелась к отысканию одного коэффициента k , зависящего от внешнего момента и закона упрочнения материала.

Коэффициенты k_1 и k_2 , через которые выражается коэффициент k , в случае а) определяются формулами (3.2) и (3.4), а параметры ξ и β , входящие в эти формулы, при заданном внешнем моменте M определяются формулами (3.1) и (3.3).

Проведем вычисление для мягкой стали, характеристики которой приведены в таблице 1 [5]. На диаграмме этой стали имеется резко выраженная площадка текучести.

Таблица 1

Характеристика стали

$$E = 2,17 \cdot 10^6, \quad \sigma_b = 6800, \quad \sigma_s = 3250, \quad \sigma_p = 2600 \text{ (кг/см}^2\text{)}$$

σ_1 кг/см ²	$\epsilon_1 \cdot 10^3$	$\frac{dz_1}{de_1} \cdot 10^{-6}$	$\lambda = 1 - \frac{1}{E} \frac{d\sigma_1}{de_1}$	ω
2600	1,20	2,17	0,000	0,000
2800	1,31	1,98	0,088	0,014
3000	1,43	1,54	0,291	0,034
3100	1,51	1,12	0,484	0,054
3240	1,92	0,06	0,973	0,212
3250	2,1—27	0,00	1,000	0,285—0,445
3260	2,90	0,042	0,982	0,482
3300	3,30	0,117	0,946	0,540
3500	4,70	0,140	0,936	0,657
4000	8,80	0,115	0,947	0,790

При вычислениях удобнее считать заданными значения ξ . Полагая в формулах (3.3), (3.1), (3.2) и (3.12)

$$\xi = 1; 0,9; 0,8; \dots 0,2$$

и используя таблицу 1, получаем соответствующие значения величин $\bar{M}$, β , k_1 , k_2 , k , которые приведены в таблице 2. Вычисление интегралов осуществлялось приближенно по правилу Симпсона. В процессе приближенного интегрирования промежуточные значения λ и ω были определены с помощью линейной интерполяции.

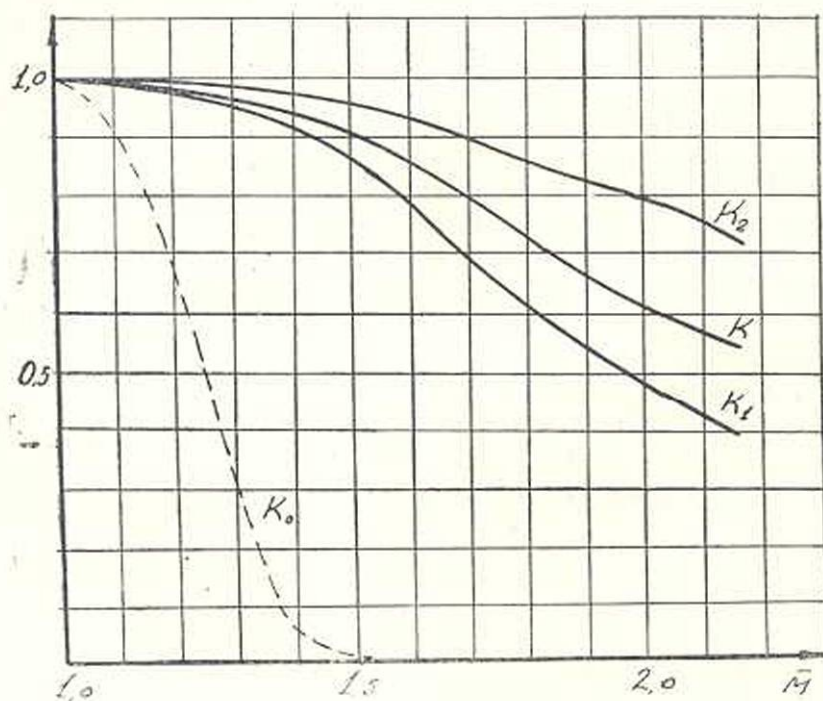
Графики коэффициентов k_1 , k_2 и k как функции внешнего безразмерного момента $\bar{M}$ показаны на фиг. 4.

Пунктирная кривая относится к касательному модулю k_0 , вычисленному по максимальной пластической деформации, как функция от внешнего безразмерного момента $\bar{M}$. Заметим, что модуль Кармана мало отличается от k_0 .

Сравнивая кривые k и k_0 , замечаем, что применение модуля k_0 (или модуля Кармана) к расчету на устойчивость плоской формы изгиба за пределами упругости, как предлагают некоторые авторы, дает резко пониженное значение для критической длины.

Таблица 2

τ	$\bar{M}$	β	k_1	k_2	k
1,0	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000
0,9	1,108	0,011	0,987	0,999	0,987
0,8	1,231	0,048	0,956	0,996	0,975
0,7	1,384	0,118	0,914	0,987	0,950
0,6	1,515	0,231	0,845	0,975	0,907
0,4	1,740	0,413	0,644	0,885	0,755
0,3	1,963	0,666	0,526	0,811	0,653
0,2	2,137	0,854	0,391	0,714	0,528



Фиг. 4

§ 4. Устойчивость тонкостенного двутавра. Рассмотрим тонкостенный стержень двутаврового поперечного сечения, изгибаемый в плоскости стенки парами, приложенными на концах. Предположим, что концы двутавра закреплены так, как и в задаче, рассмотренной в предыдущем параграфе.

Для докритического состояния двутавра будем иметь:

$$e_{zz} = -z_0 y, \quad e_1 = |e_{zz}| = z_0 |y|.$$

Соотношение, решающее задачу чистого изгиба двутаврового стержня, если напряженное состояние в полках принято однородным, будет иметь вид:

$$M = \frac{M_s}{\zeta} \left(1 - \frac{6\omega_0 q}{r+6q} - \frac{3r^3}{r+6q} \int_{\zeta}^1 \omega \rho^2 d\rho \right). \quad (4.1)$$

$$\text{Здесь } q = \frac{a}{h}, \quad r = \frac{t_2}{t_1},$$

$$\zeta = \frac{\eta}{h}, \quad \rho = \frac{y}{h}, \quad \omega_0 - \text{значение}$$

$$\text{функции } \omega \text{ в полках, } M_s = 2Ee_s h \left(2t_1 a + \frac{1}{3} t_2 h \right) -$$

предельный изгибающий момент, при котором начинаются пластические деформации. Размеры поперечного сечения и пластической области указаны на фиг. 5.

Для варьированного состояния стержня имеем:

$$\delta e_{zz} = \alpha' x - \alpha y, \quad \delta e_1 = \delta |e_{zz}|,$$

и $x = \alpha y$ — для линии раздела областей нагружения и разгрузки.

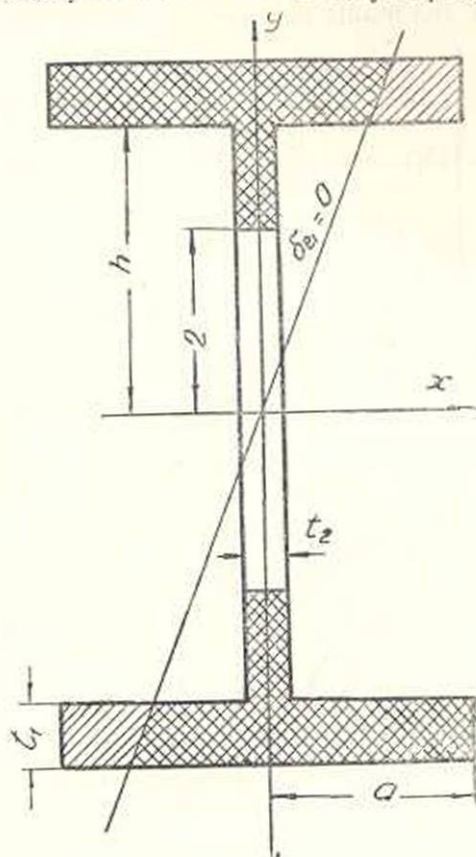
На основании формул (2.1) и (2.3), пренебрегая величинами порядка $\frac{t_2^2}{h^2}$, малыми относительно единицы, после некоторых преобразований находим:

$$\alpha^2 - \frac{2\alpha}{\lambda_0} \left(2q - \lambda_0 q - \frac{1}{3} r \zeta^3 + r \int_{\zeta}^1 \frac{1}{E} \frac{d\sigma_1}{de_1} \rho^2 d\rho \right) + q^2 = 0, \quad (4.2)$$

$$B = k_1 B^* = B^* \left(1 - \frac{1}{2} \lambda_0 - \frac{3\lambda_0}{4q} + \frac{\alpha^3 \lambda_0}{4q^2} \right). \quad (4.3)$$

Здесь λ_0 — значение λ в полках, $B^* = \frac{4}{3} E \alpha^3 t_1$ — боковая упругая жесткость двутавра.

Для приближенного определения жесткости на кручение разобьем область поперечного сечения на прямоугольные области и построим функцию напряжения F для каждой узкой прямоугольной



Фиг. 5.

области отдельно. Таким образом, построенная функция F для верхней половины сечения будет иметь вид:

$$F = \begin{cases} G(1-\omega)(h-y)(y-h-t_1) & \text{при } -a < x < zh, h < y < h+t_1; \\ G(h-y)(y-h-t_1) & \text{„ } zh < x < a, h < y < h+t_1; \\ G(1-\omega) \left(\frac{t_2^2}{4} - x^2 \right) & \text{„ } -\frac{t_2}{2} < x < \frac{t_2}{2}, \eta < y < h; \\ G \left(\frac{t_2^2}{4} - x^2 \right) & \text{„ } -\frac{t_2}{2} < x < \frac{t_2}{2}, 0 < y < \eta. \end{cases} \quad (4.4)$$

Условие $F(x, y) = F(-x, -y)$, вытекающее из симметрического расположения областей нагружения, позволяет продолжать функцию F на нижнюю половину сечения $y < 0$.

Внося выражение функции F из (4.4) в формулу (2.19) и переходя к безразмерным величинам, получаем:

$$C = k_1 C^* = C^* \left(1 - \frac{\omega_0(q+z)}{2q+r^2} - \frac{r^2}{2q+r^2} \int_0^1 \omega d\rho \right). \quad (4.5)$$

$$\text{Здесь } C^* = \frac{2}{3} G(2t_1^3 a +$$

$+ t_2^3 h)$ — упругая жесткость на кручение стержня двутаврового сечения.

Используя решение соответствующей задачи в пределах упругости, имеем:

$$l_{кр} = \frac{\pi}{M} \sqrt{BC} = k l_{кр}^*. \quad (4.6)$$

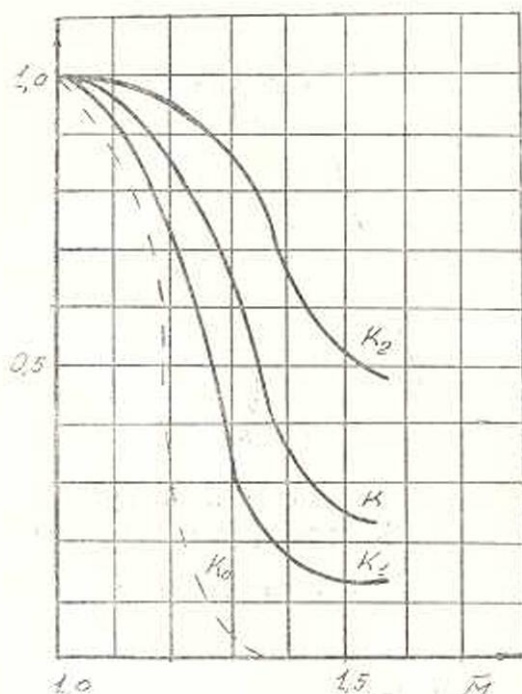
Формула (4.6) определяет критическую длину через соответствующую упругую величину,

умноженную на коэффициент $k = \sqrt{k_1 k_2}$.

Величины k_1 и k_2 определяются формулами (4.3), (4.5), а параметры ζ и z — из уравнений (4.1), (4.2) при заданном внешнем моменте и законе упрочнения материала. При вычислениях удобнее в формуле (4.1) считать заданным значения параметра ζ .

В таблице 3 приведены значения ζ , $\bar{M} = \frac{M}{M_s}$, z , k_1 , k_2 и k для

мягкой стали в случае $q = \frac{1}{4}$, $r = \frac{1}{2}$.



Фиг. 6.

Графики величин k_1 , k_2 и k , как функции от внешнего безразмерного момента $\bar{M}$, показаны на фиг. 6.

Таблица 3

ζ	$\bar{M}$	α	k_1	k_2	k
1	1,000	0,00	1,000	1,000	1,000
0,9	1,089	0,012	0,928	0,991	0,960
0,8	1,194	0,061	0,735	0,978	0,845
0,7	1,285	0,101	0,489	0,925	0,641
0,6	1,342	0,128	0,211	0,840	0,422
0,5	1,361	0,139	0,144	0,776	0,346
0,4	1,333	0,138	0,151	0,675	0,335
0,3	1,436	0,148	0,142	0,561	0,278
0,2	1,574	0,160	0,132	0,463	0,248

Пунктирная кривая дает график касательного модуля k_0 . Сравнивая графики величин k и k_0 , приходим к тому же выводу, что и в предыдущем параграфе.

Армянский сельскохозяйственный
институт

Поступило 13 IV 1953

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. Гостехиздат, 1946.
2. Качанов Л. М. ПММ, 1951, т. XV, вып. 2.
3. Качанов Л. М. Там же, вып. 5.
4. Качанов Л. М. Там же, вып. 6.
5. Ильюшин А. А. Пластичность. Гостехиздат, 1948.

Կ. Ս. ՉՈՐԱՆԿՅԱՆ

ՀԱՐԹ ԶԵՎԻ ԶՈՒՏ ԾՈՒՄԱՆ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ
ՍԱՀՄԱՆՆԵՐԻՑ ԴՈՒՐՄ՝ ԱՄՐԱՊՆԴՄԱՆ ԿԱՄԱՅԱԿԱՆ ՕՐԵՆՔԻ ԴԵՊՖՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ներկա աշխատության մեջ քննարկվում է հարթ ձևի զուտ ծաման կայունությունը առաձգականության սահմաններից դուրս՝ ամբողջական կամայական օրենքի դեպքում: Որպես մասնավոր դեպքեր, լուծված են ուղղանկյուն և երկաւոր լայնական հատվածք ունեցող ձողերի հարթ ձևի զուտ ծաման կայունության խնդիրներ: Կրկաթե կալան երկարության որո-

շումը բերվում է համապատասխան խնդրի լուծմանը առաձգականությամբ սահմաններում և Կ գործակցի որոնմանը: Կ գործակցի գրաֆիկի և շոշափման մոդուլի կամ կարմանի մոդուլի գրաֆիկի համեմատությամբ ևրևվում է, որ այդ մոդուլների կիրառումը առաձգականությամբ սահմաններից դուրս հարթ ձևի վրա ծոման կայունությամբ հաշվարկներում՝ խիստ նվազեցնում է կրիտիկական երկարությամբ արժեքը:

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

А. Г. Назаров

Об учете явлений гистерезиса при упругих колебаниях

В практических задачах динамики применительно к инженерному делу бывает подчас важно учитывать, хотя бы приближенно, рассеяние энергии при упругих колебаниях.

Для этой цели обычно пользуются гипотезой Фохта, согласно которой сопротивление среды при колебаниях пропорционально первой степени скорости деформаций. Гипотеза эта чрезвычайно удобна тем, что она позволяет сохранить линейность дифференциальных уравнений колебаний и даже не повышать их порядок. Но гипотеза эта имеет и весьма существенный недостаток, заключающийся в том, что она не оправдывается на практике даже грубо приближено.

Из практики хорошо известно, что логарифмический декремент затухания почти не зависит от частоты колебаний, в то время как по гипотезе Фохта получается, что этот декремент зависит от частоты.

Предлагались различного рода поправки к гипотезе Фохта для устранения получающегося противоречия с опытом, но они носили паллиативный характер и не могли быть принятыми всерьез [3].

Вместе с тем постепенно уточнялись воззрения на природу внутреннего трения. Было установлено, что основным фактором, вызывающим рассеивание энергии, является петля гистерезиса, наблюдаемая при циклических нагрузках, почти не зависящая от частоты циклов [1, 2, 4, 6, 7, 8].

Точный учет формы петли гистерезиса приводил к необходимости решения нелинейных дифференциальных уравнений отдельно для восходящей и отдельно для нисходящей ветвей, что представляло задачу большой трудности.

Существенное облегчение принесло то обстоятельство, что было доказано, что в первом приближении можно не считаться с формой петли гистерезиса, достаточно лишь правильно учесть площадь ограниченную ею, т. е. учесть необратимую часть энергии за полный цикл колебания. В силу этого можно принять для теоретических выкладок ту форму петли гистерезиса, которая привела бы к возможно простому результату. С этой точки зрения следует

считать интересной предложение Е. С. Сорокина—принять петлю гистерезиса эллиптической формы, остающейся подобной себе при изменениях амплитуды деформаций [9].

При реализации этого предложения опять таки получаются линейные дифференциальные уравнения колебаний, решаемые также просто, как и уравнения, полученные на основе гипотезы Фохта и, вместе с тем, приводящие к результатам значительно более приближающимся к действительности.

Прежде чем перейти к оценке преимуществ и недостатков этой гипотезы, мы приведем, для ясности изложения дальнейшего, ее содержание полностью.

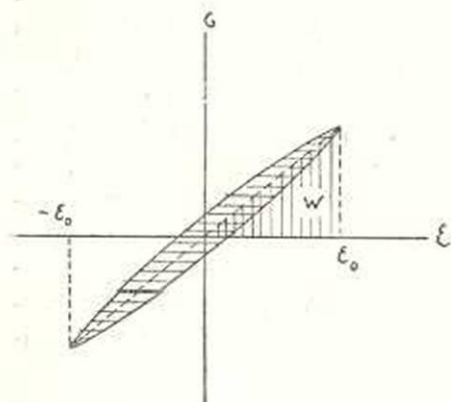
При установившейся циклической нагрузке и разгрузке петля гистерезиса становится устойчивой и принимает вид замкнутой кривой.

Е. С. Сорокиным принято следующее уравнение для этой кривой:

$$\sigma = E\varepsilon \pm \frac{\psi}{2\pi} E\varepsilon_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2}. \quad (1)$$

где σ —переменное напряжение в данной точке,
 ε —относительная деформация в этой же точке,
 ε_0 —ее амплитуда,
 E —модуль упругости материала,
 ψ —коэффициент поглощения материала.

Знак плюс отвечает восходящей ветви петли гистерезиса, знак минус—нисходящей ветви (см. фиг. 1)



Фиг. 1

Рассеяние энергии за один цикл колебаний ΔW измеряется площадью эллипса и равно

$$\Delta W = \frac{\psi}{2} E\varepsilon_0^2 = \psi W, \quad (2)$$

где W —потенциальная энергия, отвечающая максимальной амплитуде (в предположении, что материал следует закону Гука).

Таким образом, при $\psi = \text{const}$ петли гистерезиса подобны между собою в различных точках упругой системы.

Если деформация изменяется по закону

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \varphi(t), \quad (3)$$

где $\varphi(t)$ —непрерывная монотонная функция времени, то

$$\sigma = E\varepsilon_0 \left[\sin \varphi(t) + \frac{\varphi}{2\pi} \cos \varphi(t) \right]. \quad (4)$$

Таким образом, при изменении деформации по закону (3) имеет место линейная зависимость между деформацией и напряжением.

Если принять, что

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{i\varphi(t)} = \varepsilon_0 [\cos \varphi(t) + i \sin \varphi(t)], \quad (5)$$

то выражение (4) может быть записано в форме

$$\sigma = \left(1 + i \frac{\varphi}{2\pi} \right) E\varepsilon. \quad (6)$$

Отсюда следует, что дифференциальное уравнение колебаний, составленное без учета рассеяния энергии, может быть легко преобразовано в уравнение с учетом рассеяния энергии в соответствии с этой гипотезой.

Достаточно для этой цели члены уравнения, содержащие упругие силы, помножить на $1 + i \frac{\varphi}{2\pi}$, а возмущающую силу представить

в виде $P = P_0 e^{i\omega t}$.

Например, для поперечных колебаний балки постоянного сечения имеет место уравнение

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = - \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (7)$$

Поэтому учет рассеяния энергии приводит к уравнению

$$EI \left(1 + i \frac{\varphi}{2\pi} \right) \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = - \frac{q}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (7')$$

Решение ищется в комплексных функциях, действительные и мнимые части которых удовлетворяют поставленным условиям задачи.

Далее Е. С. Сорокин останавливается на вопросе о применимости полученных результатов для сложного периодического колебания. Он считает, что поскольку силы неупругого сопротивления малы по сравнению с упругими силами, то можно по крайней мере приближенно принять, что имеет место принцип независимости действия сил.

Пусть деформация ε меняется во времени по сложному гармоническому закону. Ее можно представить в виде суммы гармонических составляющих

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_k, \quad (8)$$

где

$$\varepsilon_k = \varepsilon_{0k} e^{i\varphi_k(t)} \quad (8')$$

Далее, поскольку имеет место

$$\sigma_k = E\varepsilon_k \left(1 + i \frac{\psi}{2\pi} \right),$$

то обозначая

$$\sigma = \Sigma \sigma_k, \quad (9)$$

получим вновь

$$\sigma = E\varepsilon \left(1 + i \frac{\psi}{2\pi} \right). \quad (9')$$

Исходя из этих преобразований Е. С. Сорокин приходит к выводу, что его гипотеза приложима к любому периодическому процессу.

Далее он приводит результаты своих теоретических и экспериментальных исследований, из коих можно сделать следующие основные выводы:

- 1) уравнения, составленные по гипотезе Е. С. Сорокина в такой же мере удобны для практического применения, как и уравнения, составленные на основании гипотезы Фохта;
- 2) анализ экспериментального материала показывает значительно лучшее согласование результатов с гипотезой Е. С. Сорокина, нежели с гипотезой Фохта.

В частности, логарифмический декремент затухания оказался почти независимым от периода колебаний упругой системы.

Вернемся к исходным позициям гипотезы Е. С. Сорокина. Петля гистерезиса, описываемая уравнением (1), предполагает стационарные колебания упругой системы с *фиксированной* амплитудой ε_0 .

Стало быть, мы имеем право требовать от теории Сорокина правильных результатов лишь для стационарных, т. е. установившихся вынужденных колебаний.

Опыты же показывают, что удовлетворительные результаты получаются и при затухающих свободных колебаниях упругой системы.

Ясно, что при такой схеме колебаний вместо замкнутой эллипсовидной петли гистерезиса получим в системе координат (σ, ε) спираль, т. е. получается противоречие с исходной предпосылкой гипотезы.

Таким образом, эта гипотеза справедлива лишь для стационарных колебаний дала правильные результаты и для затухающих свободных колебаний.

Второе наше замечание касается изложенного выше вывода Е. С. Сорокина о приложимости его гипотезы к любому сложному периодическому колебанию. Этот вывод, формально «обоснованный» соотношениями (8)–(9'), неверен.

Остановимся на этом вопросе подробнее.

Пусть упругая система совершает установившиеся вынужденные колебания по какому-либо гармоническому закону заданной частоты ω .

Деформация в какой-либо точке рассматриваемой упругой системе меняется, скажем, по закону

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t.$$

Качественно колебание по этому закону не противоречит принятой форме петли гистерезиса (фиг. 1).

По мере увеличения ε от нуля до максимального значения ε_0 , изображающая точка в координатах (σ, ε) подымается по восходящей ветви петли гистерезиса и достигает до ее крайнего положения. Далее ε вновь уменьшается и изображающая точка перемещается по нисходящей ветви петли гистерезиса. При совершении цикла колебаний, изображающая точка обегает весь контур петли гистерезиса по часовой стрелке. Причем двум экстремальным точкам синусоиды за один период колебаний отвечают, с некоторым сдвигом, зависящим от ширины раскрытия петли гистерезиса, две экстремальные точки петли.

Положим теперь, что система совершает такое сложное гармоническое колебание

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{oi} \sin i \omega t,$$

при котором возникают дополнительные экстремумы и при движении изображающей точки, скажем, вдоль восходящей петли гистерезиса, смещение ε достигает максимального значения $\varepsilon = \varepsilon_1$, несовпадающего с вершиной петли гистерезиса $\varepsilon = \varepsilon_0$.

Далее ε убывает. Физически невозможно, чтобы изображающая точка возвращалась по той же восходящей петле гистерезиса обратно.

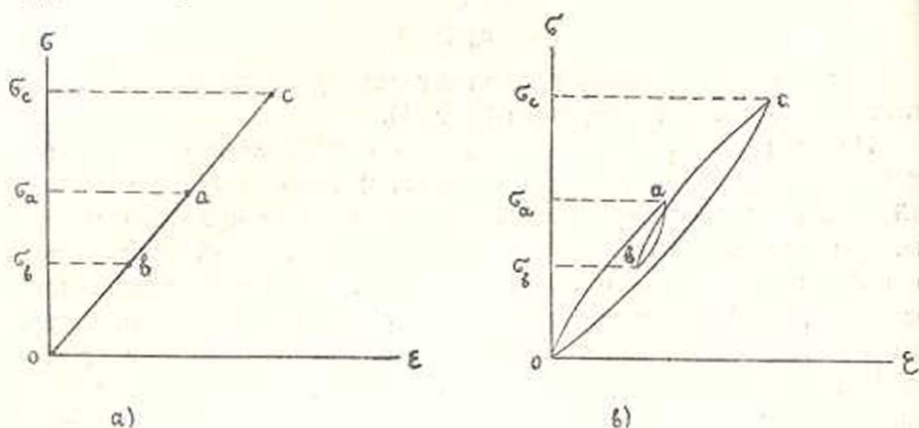
В действительности реальные свойства материала принуждают изображающую точку сойти с установившейся петли гистерезиса и пройти по новой траектории, поскольку индикаторные кривые загрузки и разгрузки, как известно, обращены выпуклостями в разные стороны.

Нетрудно дать качественную оценку формам гистерезисных кривых, отвечающих различным формам колебаний.

Для этого рассмотрим две системы отличающиеся между собою лишь тем, что первая совершенно строго следует закону Гука, в то время как вторая система совершает перемещения по гистерезисной кривой. Допустим, что обе системы подвержены воздействию одинаково изменяющихся напряжений.

Положим, что напряжение возрастает от нуля до σ_a , затем убывает от σ_a до σ_b . Далее вновь возрастает, проходит значение σ_a и достигает значения σ_c и вновь убывает до нуля.

На фиг. 2а показана зависимость между σ и ε для идеально упругого тела. В соответствии с принятым законом изменения силы, изображающая точка поднимается вдоль прямой от 0 до точки a , затем спускается в точку b и от точки b поднимается в точку c и оттуда в точку 0.



Фиг. 2

В силу того, что материал следует закону Гука, вся траектория изображающей точки будет представлять прямую линию.

Совершенно другая картина будет наблюдаться в системе, материал которой обладает гистерезисными свойствами.

Так как в этом случае кривая нагрузки должна быть обращена выпуклостью кверху, а кривая разгрузки — книзу, траектория движения изображающей точки примет вид, показанный на фиг. 2б. Таким образом, при колебании по сложному гармоническому закону, петля гистерезиса принимает значительно более сложную форму, ничего общего не имеющую с тем эллипсом, который Е. С. Сорокин положил в основу своей гипотезы. Эта гипотеза действительна лишь для однотонового (монокроматического) стационарного процесса.

Приведенные выше соотношения (8)–(9'), данные Е. С. Сорокиным, не укладываются в рамки его исходной предпосылки. Если попытаться исключить время t из кривой заданной параметрически ($\varepsilon(t)$, $\sigma(t)$), то, вообще говоря, мы получим уравнение кривой (ε , σ), ничего общего не имеющего с уравнением эллипса.

Ниже мы остановимся на нашем предложении, которое должно устранить отмеченные выше противоречия.

В одной из работ автора был рассмотрен вопрос о рассеянии энергии с общей точки зрения [5].

В частности, там были даны две гипотезы, причем первая привела к гипотезе Фохта, а вторая с точностью до малых высшего порядка — к результату гипотезы Е. С. Сорокина.

Было установлено также тесное, можно сказать, органическое родство этих обеих гипотез, несмотря на кажущееся глубоко прин-

ципальное различие между ними, которое с большой остротой подчеркивается Е. С. Сорокиным [9].

Здесь мы прямо остановимся на нашем предложении, которое может быть оформлено в виде гипотезы.

В дальнейшем будем считать, что силы и деформации заданы в виде комплексных функций, вещественная и мнимая части которых могут служить решениями рассматриваемых задач о колебаниях. Нашу гипотезу формулируем следующим образом: *комплексный вектор напряжений опережает комплексный вектор деформаций на постоянный угол α* .

Здесь подчеркивается, что деформации отстают от напряжений, что является основной чертой гистерезиса.

Аналитически эта гипотеза будет выглядеть так

$$\sigma = E \varepsilon e^{i\alpha}. \quad (10)$$

Качественный анализ этого выражения, который здесь не приводим в силу его простоты, показывает, что оно удовлетворяет качественным же требованиям, предъявляемым к форме кривой гистерезиса при сложном нагружении, на чем мы выше останавливались достаточно подробно.

Существенным здесь считаем то, что мы отошли от ставшей традиционной, при изучении явления рассеяния энергии, замкнутой петли гистерезиса, которая может представлять интерес, как уже указывалось выше, лишь для стационарных однотонных колебаний.

Легко установить связь между значением α и ϕ — общеизвестным коэффициентом поглощения материала.

Вычислим для этой цели рассеяние энергии при циклическом изменении напряжения σ , совершающемся по гармоническому закону $\sigma = \sigma_0 e^{i\omega t}$. На основании нашей гипотезы имеем:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} e^{i(\omega t - \alpha)}.$$

Стало быть поглощение энергии на единицу объема материала за полный цикл колебаний, например, для вещественной части, есть

$$\Delta W = \int_0^{2\pi} \sigma d\varepsilon = -\frac{\sigma_0^2 \omega}{E} \int_0^{2\pi} \cos \omega t \sin(\omega t - \alpha) dt = \frac{\sigma_0^2 \pi \sin \alpha}{E}.$$

Учитывая, что потенциальная энергия системы при крайнем отклоненном положении равна (при законе Гука):

$$W = \frac{\sigma_0^2}{2E}$$

и, что коэффициент поглощения энергии есть $\psi = \frac{\Delta W}{W}$, найдем

$$\sin \alpha = \frac{\psi}{2\pi}.$$

Известно, что для всех материалов $\frac{\psi}{2\pi}$ — величина достаточно малая, поэтому с точностью до малых высшего порядка можно записать:

$$\sin \alpha \approx \alpha = \frac{\psi}{2\pi}, \quad (11)$$

$$\cos \alpha \approx 1,$$

и, стало быть,

$$e^{i\alpha} \approx 1 + i \frac{\psi}{2\pi}. \quad (12)$$

Таким образом, с точностью до малых высшего порядка мы пришли к результату Е. С. Сорокина, принявшего в основу своих исследований замкнутую петлю гистерезиса эллиптической формы, что допустимо, как уже указывалось, лишь для стационарных одно-^{ia}тонных колебаний. Принятый здесь множитель $e^{i\alpha}$ более удобен, нежели множитель $1 + i \frac{\psi}{2\pi}$.

Естественно ожидать, что деформациям сдвига должно отвечать другое значение α .

Если принять, что имеет место закон наложения и для гистерезисных явлений, то в общем случае напряженного состояния можем записать:

$$\begin{aligned} X_x &= 2\mu e_{xx} e^{i\alpha_2} + \lambda \Delta e^{i\alpha_2}, \\ Y_y &= 2\mu e_{yy} e^{i\alpha_2} + \lambda \Delta e^{i\alpha_2}, \\ Z_z &= 2\mu e_{zz} e^{i\alpha_2} + \lambda \Delta e^{i\alpha_2}, \\ X_y &= \mu e_{xy} e^{i\alpha_1}, \\ Y_z &= \mu e_{yz} e^{i\alpha_1}, \\ Z_x &= \mu e_{zx} e^{i\alpha_1}. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь напряжения и деформации подразумеваются комплексными.

Коэффициенты α_1 и α_2 характеризуют рассеяние энергии.

Нетрудно убедиться в инвариантности полученных выражений в отношении преобразования координат.

Связь между упругими постоянными и постоянными, характеризующими рассеяние энергии, также легко установить.

Например, известным соотношениям

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}, \quad \sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)},$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \sigma)} = \mu,$$

как нетрудно вычислить, отвечают:

$$Ee^{i\alpha} = \frac{\mu e^{i\alpha_1} + (3\lambda e^{i\alpha_2} + 2\mu e^{i\alpha_1})}{\lambda e^{i\alpha_2} + \mu e^{i\alpha_1}},$$

$$\sigma_1 = \frac{\lambda e^{i\alpha_2}}{2(\lambda e^{i\alpha_2} + \mu e^{i\alpha_1})}, \quad (14)$$

$$Ge^{i\alpha_1} = \frac{Ee^{i\alpha}}{2(1 + \sigma_1)}.$$

Если $\alpha_2 = \alpha_1$, то $\alpha_2 = \alpha_1 = \alpha$ и $\sigma_1 = \sigma$.

При этом условии выкладки сильно упрощаются.

На основе полученных соотношений нетрудно составлять дифференциальные уравнения колебаний для какой-либо упругой системы с учетом рассеяния энергии, если известны такие же уравнения без учета рассеяния энергии.

Для этой цели достаточно упругие постоянные E , G и др. заменить выражениями $Ee^{i\alpha}$, $Ge^{i\alpha_1}$ и др.

К сожалению мы в настоящее время не располагаем достаточными опытными данными для суждения о том, насколько могут быть удовлетворены полученные результаты при сложном напряженном состоянии. Более того, пока мы не располагаем даже данными о соотношениях между постоянными α , α_1 , α_2 и σ . В этом направлении требуется большая исследовательская работа.

Для иллюстрации изложенного приведем примеры на составление и решение дифференциальных уравнений.

1. Система с одной степенью свободы. Уравнение колебаний без учета рассеяния энергии имеет вид:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + ky = P(t), \quad (15)$$

где m — масса,

y — смещение системы в точке приложения массы,

k' — числовой коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения,

G — модуль упругости при сдвиге.

То же уравнение с учетом рассеяния энергии и того, что здесь должны фигурировать две постоянные α и α_1 , отвечающие продольным и тангенциальным деформациям, примет вид:

$$E l^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\gamma A}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \left(\frac{\gamma l}{g} + \frac{E l^2 \gamma}{g k' G e^{i \alpha_1}} \right) \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\gamma l}{g} \frac{\gamma}{g k' G e^{i \alpha_1}} \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} = 0. \quad (17')$$

Здесь считаем нужным обратить внимание на следующее.

Дифференциальные уравнения технической теории колебаний, вообще говоря, составляются при тех или иных упрощающих предположениях.

Например, уравнение (16') составлено только при учете изгибных деформаций. Погрешность в определении величин прогибов из-за неучета деформаций изгиба, при достаточно длинных балках не существенна и ею можно пренебречь.

Однако в принципе можно допустить, что для некоторых материалов постоянная α_1 может оказаться значительно большей величины, нежели постоянная α , т. е. рассеяние энергии, связанное с деформациями сдвига, окажется большей, нежели рассеяние энергии в связи с деформациями изгиба. Поэтому, принципиально говоря, возможен даже случай, когда потеря энергии от деформации сдвига может оказаться большей, чем от деформации изгиба. Поэтому при строгой постановке задачи следует выбирать более полные дифференциальные уравнения колебаний, учитывающие деформации изгиба и сдвига и затем лишь исследовать какими факторами можно пренебречь для упрощения решения задач данного типа.

На приведенных примерах можно было наглядно уяснить, что составление уравнений с учетом рассеяния энергии производится механически, если известны аналогичные уравнения, но не учитывающие рассеяние энергии. Это — результат того, что соотношения между деформациями и напряжениями при законе Гука, а также при наличии гистерезиса по принятой нами форме, совершенно симметричны.

Ход мыслей при прямом составлении дифференциальных уравнений с учетом рассеяния энергии точно такой же, как и при составлении уравнений на основе закона Гука и поэтому его не зачем повторять.

Решение получающихся дифференциальных уравнений с учетом рассеяния энергии также не представляет затруднений. Следу-

ет лишь иметь в виду, что деформации и напряжения представляют собою комплексные функции.

Рассмотрим, например, свободные и вынужденные колебания системы с одной степенью свободы.

Дифференциальное уравнение для свободных колебаний на основании (15) имеет вид:

$$y'' + p^2 e^{i\alpha} y = 0, \quad (18)$$

где

$$p^2 = \frac{k}{m}.$$

Положим

$$y = Y e^{irt}$$

Подстановка этого выражения в (18) дает:

$$-r^2 + p^2 e^{i\alpha} = 0.$$

Отсюда

$$r_1 = p e^{\frac{i\alpha}{2}}, \quad r_2 = -p e^{\frac{i\alpha}{2}}.$$

Поскольку

$$e^{i\alpha} \approx 1 + i \frac{\phi}{2\pi},$$

то

$$e^{\frac{i\alpha}{2}} \approx 1 + i \frac{\phi}{4\pi}.$$

Итак, решение имеет вид

$$y = Y_1 e^{ip \left(1 + i \frac{\phi}{4\pi}\right) t} + Y_2 e^{-ip \left(1 + i \frac{\phi}{4\pi}\right) t}$$

По смыслу задачи колебательный процесс должен быть затухающим, поэтому второй член следует отбросить.

Итак, имеем:

$$y = Y_1 e^{ip \left(1 + i \frac{\phi}{4\pi}\right) t} = Y_1 e^{-\frac{\phi}{4\pi} t} (\cos pt + i \sin pt).$$

Далее, поскольку Y_1 есть комплексное число, то можно положить

$$Y_1 = A - Bi.$$

Подставляя это в предыдущее выражение и выделяя вещественную часть, окончательно получим:

$$y = e^{-\frac{\phi}{4\pi} t} (A \cos pt + B \sin pt). \quad (19)$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бать М. И. ПММ, т. IV, вып. 3, 1940.
2. Давиденков Н. Н. ЖТФ, т. VIII, вып. 6, 1938.
3. Корчинский И. Л. Расчет строительных конструкций на вибрационную нагрузку, Стройиздат, 1948.
4. Лунц Е. Б. ПММ, т. I, вып. 3, 1938.
5. Назаров А. Г. ДАН Армянской ССР, т. XVI, № 3, 1953.
6. Паков Д. Ю. ПММ, т. IV, вып. 1.
7. Писаренко Г. С. ЖТФ, т. XIX, вып. 12, 1949.
8. Работнов Ю. Н. ПММ, т. XVI, вып. 1, 1952.
9. Сорокин Е. С. Метод учета неупругого сопротивления материала при расчете конструкций на колебания. Сб. Исследования по динамике сооружений, Стройиздат, 1951.
10. Тимошенко С. П. Теория колебания в инженерном деле. Л.—М., ГТТИ, 1934.

Ս. Գ. Նազարով

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ՀԻՍՏԵՐԵԶԻՍԻ ԵՐԵՎՈՒՅՑՆԵՐԻ
ՀԱՇՎԱՌՄԱՆ ՄԱՍԻՆ
Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատության մեջ արված է առաջական տատանումների ժամանակ էներգիայի ցրման վերաբերյալ Ե. Ս. Սորոկինի հիպոթեզի համառոտ շարադրանքը, հիպոթեզ, որը բերում է (6) հարաբերակցությանը, որտեղ լարումները և դեֆորմացիաները կոմպլեքս մեծություններ են:

Յույց է արված, որ այդ հիպոթեզը ճիշտ է միմյալից հաստատված միալար (մոնոխորմատիկ) տատանումների համար: Իսկ այլ դեպքերում ստացվում են այն ելակետային նախադրյալին հակասող արդյունքներ, թե հիստերեզիսային կորը էլիպտիկ ձևի վրա օղակ է:

Հեղինակը առաջարկում է հետևյալ հիպոթեզը. լարումների կոմպլեքսային վեկտորը առաջանցում է դեֆորմացիաների կոմպլեքսային վեկտորից α հաստատուն անկյամբ, որ անալիտիկորեն արտահայտվում է (10) հարաբերակցությամբ:

Ստացրոնար միալար պրոցեոի մասնավոր դեպքը քննարկելիս ստացվում է Ե. Ս. Սորոկինի արդյունքը՝ երկրորդ կարգի փոքրերի ճշտությամբ:

Այնուհետև, ստացված արդյունքները տարածվել են բոլոր լարման վիճակի վրա, որպիսի նպատակով մուծված են պարամետրեր ձգման և սեղմման համար առանձին, ինչպես նաև սահմանի դեֆորմացիաների համար:

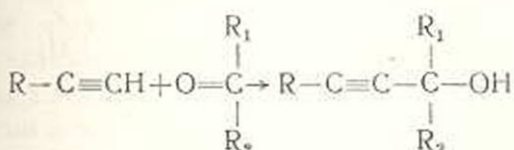
Յույց է արված, թե ինչպես պետք է հավասարումներ կազմել մեր կողմից առաջարկվող հիպոթեզին համապատասխան, ինչպես նաև օրինակի վրա ցույց է արված աղաատության մեկ աստիճան ունեցող սիստեմի հավասարման լուծումը:

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

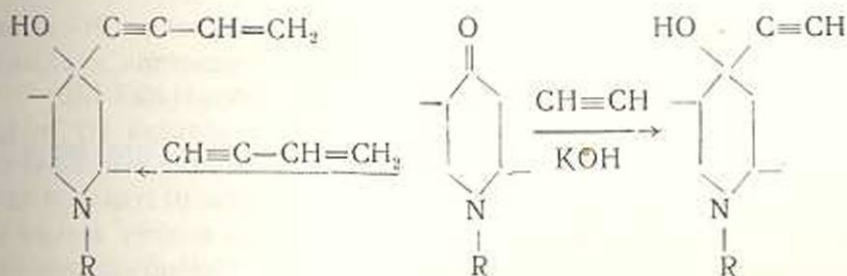
А. Г. Терзян

Синтез и превращения β -(диметиламино)-этил-метил-винилэтинил-карбинола

Открытая А. Е. Фаворским [1] реакция конденсации однозамещенных ацетиленовых углеводов с карбонильными соединениями



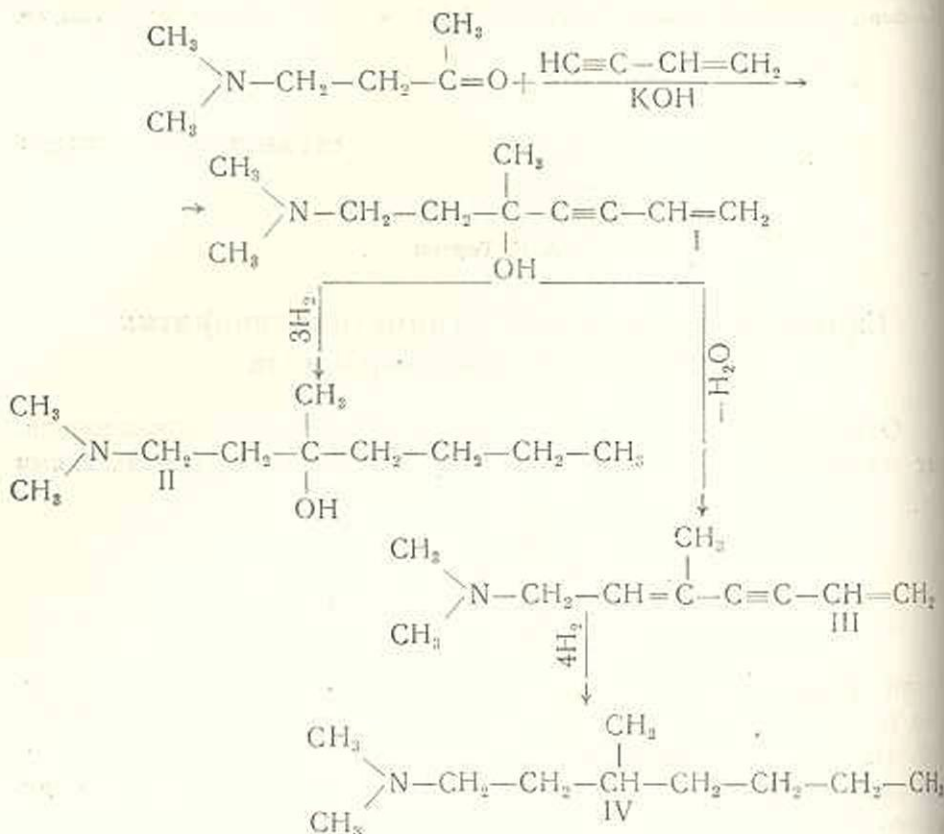
нашла широкое применение в разнообразных синтезах и в настоящее время продолжает оставаться предметом обширных исследований. И. Н. Назаровым и его сотрудниками [2] изучена также конденсация ацетиленовых углеводов с аминокетонами пиперидинового ряда



Аналогичная конденсация винилацетилена или его гомологов с алифатическими аминокетонами до сих пор не изучалась.

С целью разработки общего способа получения алифатических аминокспиртов винилацетиленового ряда нами начато изучение реакции взаимодействия β -диалкил-аминобутанолов с винилацетиленом. В настоящей работе описана реакция первого представителя этого ряда— β -диметиламинобутанола с винилацетиленом в присутствии едкого кали.

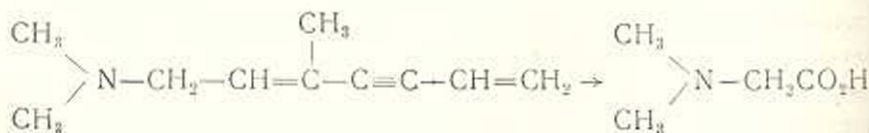
Выяснено, что β -диметиламинобутанол, подобно другим кетонам, в присутствии порошкообразного едкого кали легко конденсируется с винилацетиленом, образуя β -(диметиламино)-этил-метил-винилэтинил-карбинол (I) с выходом, достигающим 75% теории.



При гидрировании в этиловом спирте в присутствии Pt-катализатора ненасыщенный аминокарбинол (I) поглощает три моля водорода с образованием 1-диметиламино-3-метил-гептанола-3 (II).

Дегидратацией сернокислой соли аминокарбинола (I) в присутствии 50%-ной серной кислоты получен 1-диметил-амино-3-метил-2,6-гептадиен-4-ин (III), который при гидрировании в этиловом спирте, в присутствии платинового катализатора, поглощает четыре моля водорода и превращается в насыщенный 1-диметиламино-3-метил-гептан (IV).

Строение продукта дегидрогенизации было установлено путем его окисления марганцевокислым калием; при этом была получена диметиламино-уксусная кислота



Работа в этом направлении продолжается.

Экспериментальная часть

β -(Диметиламино)-этил-метил-винилэтил-карбинол (I). К смеси 40 г порошкообразного едкого кали 80 мл сухого эфира, при постоянном перемешивании и охлаждении смесью льда и соли в течение трех часов, небольшими порциями добавлен раствор 57,5 г β -диметиламино-бутанона и 50 мл винилацетилена в 60 мл сухого эфира. Реакционная смесь перемешивалась 3 часа при охлаждении ледяной водой и 3 часа при комнатной температуре, после чего была оставлена на ночь; на следующий день снова перемешивалась при комнатной температуре 2 часа. Щелочь была отмыта водой (40 мл), эфирный слой отделен от водного, последний экстрагирован эфиром, эфирный раствор высушен сернокислым натрием. Эфир отогнан на водяной бане, а остаток разогнан в вакууме. Получено 61,7 г (74,74% теории) кипящего при 105—107° (17 мм); 112—115° (25 мм) густого масла, обладающего характерным запахом и полностью закристаллизовавшегося при стоянии. После перекристаллизации из бензина вещество плавилось при 36—37°. При продолжительном хранении вещество темнеет; подобно симметричным диамино-адетиленовым γ -гликолам [3], с серной кислотой не дает окрашивания.

0,0606 г вещ. : 7,35 мл 0,05 н. H_2SO_4

0,0828 г вещ. : 9,92 мл 0,05 н. H_2SO_4

Найдено: М 165, 166,8.

$C_{10}H_{17}ON$. Вычислено М=167.

0,1038 г вещ. : 0,2753 г CO_2 ; 0,0984 г H_2O

0,1108 г вещ. : 0,2924 г CO_2 ; 0,1070 г H_2O

Найдено %: С 72,33; 71,97; Н 10,53; 10,73.

$C_{10}H_{17}ON$. Вычислено %: С 71,86; Н 10,18.

Определение числа гидроксильных групп по Терентьеву:

0,0509 г вещ. : 10 мл CH_3I (28°, 673 мм)

Найдено: Число OH-групп 1.

$C_{10}H_{17}ON$. Вычислено: Число OH-групп 1.

I-Диметиламино-3-метил-гептанол-3 (II). 4,5 г свежеперегнанного вещества растворялось в 20 мл этилового спирта и гидрировалось в присутствии платинового катализатора. Гидрирование вначале шло быстро, но под конец замедлилось. Для полного восстановления требовалось 1,811 л водорода; поглотилось 1,8 л. Катализатор отфильтрован, спирт отогнан и продукт перегнан в вакууме. Получено 3,2 г (63,67% теории) I-диметиламино-3-метил-гептанола-3 (II) с т. кип. 92—94° при 13 мм. Вещество представляет собой бесцветную подвижную жидкость со слабым аминным запахом.

d_4^{20} 0,8475; n_D^{20} 1,4450; MR_D Найдено 54,33

$C_{10}H_{23}ON$. Вычислено MR_D 54,16

0,0502 г вещ.: 2,94 мл 0,1 н. H_2SO_4

Найдено: М 170,1.

$C_{10}H_{23}ON$. Вычислено: М 173;

0,1020 г вещ.: 0,2570 г CO_2 , 0,1224 г H_2O

Найдено %: С 68,72; Н 13,33

$C_{10}H_{23}ON$. Вычислено %: С 69,29; Н 13,30

Определение гидроксильных групп по Терентьеву.

1,0500 г вещ.: 9,3 мл CH_4 (21°, 676 мм)

Найдено: Число OH-групп 1.

$C_{10}H_{23}ON$. Вычислено: Число OH-групп 1.

Хлористоводородная соль, полученная пропусканием тока сухого хлористого водорода через эфирный раствор амина, имеет т. пл. 123—124°.

0,1002 г вещ.: 0,0678 г $AgCl$

Найдено %: Cl 16,74

$C_{10}H_{24}ONCl$. Вычислено %: Cl 16,94

I-Диметиламино-3-метил-2,6-гептадиен-4-ин (III). К смеси 33,4 г карбинола (I) и 20 мл воды в течение 2 часов при охлаждении ледяной водой постепенно прибавлялось 30 г концентрированной серной кислоты, после чего реакционная смесь перемешивалась 6 часов при температуре 65—70°. По истечении указанного времени добавлено небольшое количество воды и смесь при охлаждении льдом нейтрализована углекислым калием. После отделения эфирного слоя, водный слой промыт эфиром, эфирный раствор высушен сернокислым натрием и растворитель отогнан. При перегонке оставшегося масла получено 24,5 г (82,2% теории), *I-диметиламино-3-метил-2,6-гептадиен-4-ина* в виде слегка желтоватой подвижной жидкости с запахом прелого сена, с т. кип. 92,5—93,5° (24 мм). Вещество при долгом хранении не изменяется.

d_4^{20} 0,8473; n_D^{20} 1,5002; MR_D . Найдено 51,73.

$C_{10}H_{15}N$. Вычислено MR_D 49,38.

0,0236 г вещ.: 3,6 мл 0,05 н. H_2SO_4

Найдено: М 150,87.

$C_{10}H_{15}N$. Вычислено: М 149.

0,0952 г вещ.: 8,8 мл (24°, 680 мм)

Найдено %: N 9,51.

$C_{10}H_{15}N$. Вычислено %: N 9,29.

Окисление I-диметиламино-3-метил-2,6-гептадиен-4-ина. К раствору 2 г амина (III) в 400 мл воды при непрерывном перемешивании и охлаждении ледяной водой в течение 10 часов прибавлено 600 мл 1,6% раствора марганцевокислого калия, после чего реакционная смесь оставлена на ночь. На следующий день смесь переме-

шивалась еще 2 часа, а затем перекись марганца была отфильтрована и промыта горячей водой. Фильтрат упарен до небольшого объема, подкислен соляной кислотой и выпарен досуха. Сухой остаток несколько раз экстрагирован абсолютным спиртом. Выпавшие из спирта бесцветные кристаллы плавятся при $180-182^\circ$ (хлористоводородная соль лиметиламино-укусной кислоты) [4].

I-Диметиламино-3-метил-гептан (IV). 3,3 г свежеперегнанного амино-дienesина (III) прогидрирован в 25 мл спирта над платиновым катализатором. Гидрирование вначале шло быстро, затем замедлилось. Для полного восстановления требовалось 1,944 мл водорода; поглощено 2 л. Катализатор отфильтрован, спирт отогнан и продукт перегнан в вакууме. Получено 2,5 г (72,05% теории) амина (IV) в виде подвижной жидкости с т. кип. $83-84^\circ$ (22 мм).

d_4^{20} 0,7744; n_D^{20} 1,4282; MR_D . Найдено 52,18.

$C_{10}H_{23}N$. Вычислено MR_D 52,32.

0,0586 г вещ. : 3,38 мл 0,1 н. H_2SO_4

Найдено M 151,7.

$C_{10}H_{23}N$. Вычислено M 157.

0,1010 г вещ. : 0,2818 г CO_2 ; 0,1354 г H_2O .

Найдено % : C 75,93; H 14,89.

$C_{10}H_{23}N$. Вычислено % : C 76,43; H 14,65.

Хлористоводородная соль, полученная пропусканием тока сухого хлористого водорода через эфирный раствор амина, имеет т. пл. $175-176^\circ$.

0,1006 г вещ. : 0,0741 г $AgCl$

Найдено % : Cl 18,22

$C_{10}H_{24}NCl$. Вычислено % : Cl 18,04.

Пикрат получен взаимодействием 50% спиртового раствора пикриновой кислоты с амином. После перекристаллизации из 50% спирта желтые иглы плавятся при $35-36^\circ$.

0,0756 г вещ. : 13,3 мл N_2 (19° , 674 мм).

Найдено % : N 13,96.

$C_{10}H_{23}N \cdot C_6H_5O_7N_3$. Вычислено % : N 14,59.

Выводы

1. Конденсацией β -диметиламино-бутанона с винилацетиленом с выходом в 74,74% получен β -(диметиламино)-этил-метил-винилэтинил-карбинол, который затем был прогидрирован в соответствующий предельный карбинол.

2. β -(диметиламино)-этил-метил-винилэтинил-карбинол при действии серной кислоты легко дегидратируется в соответствующий

амиподиенин. Гидрогенизацией последнего получен 1-диметиламино-3-метил-гептан.

3. Впервые получены и охарактеризованы β -(диметиламино) этил-метил-винилэтинил-карбинол, 1-диметиламино-3-метил-2,6-гептадиен-4-ин, 1-диметиламино-3-метил-гептанол-3 и 1-диметиламино-3-метил-гептан.

Химический институт
АН Армянской ССР

Поступило 19 XII 1957

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фазорский А. Е. ЖРФХО, 37, 643, 1905.
2. Назаров И. Н., Райгородская В. Я. Изв. АН СССР, ОХН, вып. 6, 631, 1948; 1, 59, 1949; Назаров И. Н., Райгородская В. Я., Руденко В. А. Изв. АН СССР, вып. 5, 504, 1949.
3. Бабаян А. Т., Терзян А. Г. Изв. АН Арм. ССР, том II, № 3, 193, 1949.
4. Beilstein, IV, E. II, 469; Löb, Bio. z. 51, 123.

Ս. Գ. ԹԵՐՅԱՆԻ

β -(ԴԻՄԵԹԻԼԱՄԻՆՈ)-ԷԹԻԼ-ՄԵԹԻԼ-ՎԻՆԻԼԷԹԻՆԻԼ-ԿԱՐԲԻՆՈԼԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ ԵՎ ՆՐԱ ՎԵՐԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

β -(գիմեթիլամինո)էթիլ-մեթիլ-վինիլէթինիլ-կարբինոլը և զինիլացետիլինի փոխազդեցությամբ, կծու կալիումի ներկայությամբ ստացված է β -(գիմեթիլամինո)-էթիլ-մեթիլ-վինիլէթինիլ-կարբինոլ՝ տեսականի 74% -ով:

Ցույց է տրված, որ վերջինիս գեհիդրատացման (ծծմբական թթվի օգնությամբ) պրոդուկտն է հանգիստանում 1-գիմեթիլամինո-3-մեթիլ-2,6-հեպտագիեն-4-ինը, որի կառուցվածքը ապացուցված է նրա օքսիդացումով գիմեթիլամինո քացախաթթվի:

β -(գիմեթիլամինո)-էթիլ-մեթիլ-վինիլէթինիլ-կարբինոլը և 1-գիմեթիլամինո-3-մեթիլ-2,6-հեպտագիեն-4-ինը P-ի ներկայությամբ ենթարկված են հիդրոգենիզացիայի մինչև համապատասխան հագեցած միացությունների ստացումը:

МИНЕРАЛОГИЯ

Л. А. Варданян

Об аномальной оптической двуосности минералов

В оптической кристаллографии и минералогии мы имеем дело с тремя категориями понятий и физических объектов.

Первая категория, это—теоретические соотношения симметрии кристалла и его оптических свойств, а именно: оптическая изотропность у кристаллов кубической сингонии, одноосность у кристаллов тетрагональной, гексагональной и тригональной сингоний, и двуосность в остальных сингониях.

Вторая категория, это—уникальные, прекрасно сформированные кристаллы, внешняя форма которых и некоторые физические свойства совпадают, в пределах точности измерений, с нормами, требующимися в кубической, тетрагональной, гексагональной и тригональной сингониях.

Третья категория, это—бесчисленное множество индивидов каждого минерала в составе тех или иных горных пород. При этом почти во всех случаях устанавливаются более или менее существенные отклонения от изотропности или одноосности, поддающиеся измерению посредством даже мало точных приборов.

Физические объекты второй категории далеко не тождественны объектам того же минерала третьей категории. Так, например, уникальный, по чистоте, монокристалл оптического горного хрусталя ни в коем случае не может считаться тождественным обыкновенному (мутному, нечистому химически, переполненному включениями и волнисто погасающему) кварцу горной породы. Поэтому абсолютно недопустим механический перенос теоретических закономерностей первой категории на все физические объекты третьей категории, тем более, если не может быть доказана возможность и допустимость такого переноса даже на объекты второй категории.

Из числа теоретически одноосных минералов наиболее детально изучена оптическая разность горного хрусталя, в которой можно было бы предполагать наличие точной оптической одноосности и полного постоянства физических констант. Но вопреки такому предположению, многочисленные исследования, произведенные посредством сверхточных приборов, показали непостоянство свето- и дву-преломления в однородных сечениях разных участков даже одного и того же кристалла оптического горного хрусталя. При этом ко-

лебания в значениях констант, выражающиеся в единицах шестого, а порой и пятого десятичного знака, превышают возможную ошибку приборов и методов исследования.

Поскольку такие исследования оптического горного хрусталя производились на основе идеалистической предпосылки (постулата тождественного символу веры), что он безусловно в точности одноосен, постольку признавалось излишним проверить кристаллы на двуосность и выяснить источник и причины отклонения в результатах измерений. Показателем этого служит то, что исследователи с полной самоуверенностью уравнивали получающиеся неувязки, относя их на счет только погрешностей измерений.

Таким образом, методика подобных, даже и сверхточных оптических исследований горного хрусталя уже сама по себе содержала элемент порочности, так как исключала всякую возможность обнаружения в нем двуосности. Между тем, даже и в том случае, когда ошибка в определении разности светопреломления по двум взаимно перпендикулярным направлениям в экваториальном сечении кристалла не превышает столь малой величины, как $0,000001$, почти недоступной даже с наиболее точными приборами, мы не можем ручаться за истинную одноосность исследуемого кристалла горного хрусталя, так как за этой ошибкой может скрываться двуосность с углом оптических осей больше полуградуса. Более же вероятная ошибка около $0,00001$, будет маскировать угол оптических осей уже около двух градусов.

Говоря иначе, идеальная, математически точная одноосность физического кристалла вообще недоказуема, так как для установления наличия такой одноосности нужны были бы совершенно безшибочные приборы и методы определения физических констант, позволяющие измерить нуль и подтвердить абсолютное равенство тождество двух отдельных физических объектов.

Это обстоятельство, т. е. принципиальная невозможность доказать истинную оптическую одноосность, а также и изотропность физического кристалла даже и в том случае, если бы они были действительно таковыми, остается у минералогов и кристаллографов без должного внимания. Следствием этого является традиционное повторение унаследованных с прошлых веков метафизических формулировок в характеристиках минералов и их констант.

Ошибочным является также и твердо укоренившееся представление, что оптическими методами будто бы можно констатировать одноосность минерала. При этом забывают, что в таких случаях объектом измерения может служить только угол оптических осей. Картина же одноосности возникает тогда, когда оказывается невозможным увидеть и измерить этот угол, т. е. когда $0^\circ < 2V < A^\circ$, где A° — угловое значение слепой зоны применяемого метода. Следовательно, то, что называют одноосностью, показывает в действитель-

ности лишь невозможность измерить угол оптических осей, но вовсе не то, что он равен нулю.

Методы исследования физических объектов третьей категории гораздо менее точны, чем для объектов второй категории, и характеризуются очень широкой слепой зоной, внутри которой двуосный кристалл не отличим от одноосного. Для коноскопического и федоровского методов ширина слепой зоны такова, что обнаружение двуосности становится возможным при двупреломлении около 0,01, как у кварца, когда угол оптических осей не менее $14-18^\circ$, при двупреломлении около 0,04, как у слюды, когда угол осей не менее $6-8^\circ$, и даже при двупреломлении 0,17—0,20, как у карбонатов, сфена и т. п., если угол оптических осей не менее $3-4^\circ$.

У всех теоретически одноосных минералов в физических объектах третьей категории нередко наблюдается ясная двуосность, с углом оптических осей, например, у кварца в 18° , у кальцита—около 30° , и т. д. Соответствующие указания можно найти во всех, достаточно полных руководствах и справочниках по минералогии. Характерно при этом то, что указываются только лишь такие, относительно очень большие значения угла оптических осей, и нет сведений о том, были ли обнаружены и более низкие значения, в том числе и близкие к нулевым, и если да, то насколько часто.

Совершенно невероятно, чтобы у кварца угол оптических осей имел, как правило, только два значения: либо нуль, либо 18° , так же и у кальцита, либо нуль, либо 30° , и т. д. Несомненно, что у всех минералов, обладающих оптическими аномалиями, должны существовать и другие значения двуосности, промежуточные между нулем и уже наблюдавшимися ее наибольшими значениями.

В этих условиях удельное значение двуосности, как характеристика данного минерала, может быть определено лишь тогда, когда будет исследован детально весь диапазон аномальной двуосности, и после того как полученные материалы будут обработаны методом вариационной статистики. До сих пор это было невозможно, так как слепая зона всех, широко применяющихся методов исследования объектов третьей категории закрывает почти полностью весь диапазон их аномальной двуосности.

В связи с этим мы располагаем в настоящее время только такими фактами, которые при строго научной и идеологически правильной постановке вопроса позволяют дать для объектов третьей категории, т. е. для физических кристаллов в горных породах, оптическую их характеристику лишь в виде двойного неравенства. Например, для кварца такая характеристика выразится неравенством $0^\circ < 2V < 18^\circ$, для апатита— $0^\circ < 2V < 30^\circ$ и т. п. Замена таких неравенств идеалистической формулой $2V = 0^\circ$, еще практикующаяся в современной минералогии, является в научно-философском отношении ошибочной и недопустимой.

Еще в 1941 г. нами [1] было обращено внимание на то, что у

физических кристаллов тетрагональной, гексагональной и тригональной сингоний нужно считать аномалиями, повидимому, не отклонения от теоретических норм, но наоборот, совпадение с ними, которое может осуществляться лишь при особо благоприятных условиях кристаллообразования. Вместе с тем было указано на необходимость изменить принятые сейчас в минералогии оптические характеристики минералов, заменив их такими, которые правильно отражали бы реально существующие в природе соотношения. Например, для кварца нами была предложена следующая формулировка его оптической характеристики: «кварц является минералом теоретически одноосным, в действительности же он почти всегда двуосев, причем угол этот в большинстве случаев не выходит из пределов $14^\circ \pm 6^\circ$ и поэтому обычными методами исследования не может быть констатирован и измерен [1, стр. 18].

Общая характеристика явления оптических аномалий и их причина была сформулирована нами в следующем виде: «Во всех этих случаях общим является то, что минерал переходит от более высокой симметрии к более низкой, где ему путем небольших отклонений и изменений индикатрисы, не имеющих принципиального значения, очень легко компенсировать те или иные натяжения в кристаллической решетке, возникающие в связи с химической нечистотой минерала, в связи с воздействием внешней среды и в связи с изменением температуры и давления» [1, стр. 19].

Наша точка зрения первоначально вызвала сильные возражения, но несколько позже в печати появились высказывания, по смыслу их, вполне тождественные нашим. В качестве примера приведем выписку из книги В. Б. Татарского, опубликованной в 1949 г. [2, стр. 173–174].

«Достаточно самой незначительной деформации кругового сечения, чтобы угол оптических осей приобрел заметную величину (особенно в кристаллах со слабым двупреломлением). Поэтому можно думать, что если бы методы, позволяющие констатировать двуосность, были более чувствительными, то большинство одноосных кристаллов давало бы небольшой, а слабо двупреломляющие — и довольно значительный угол оптических осей... Разного рода включения в оптически изотропных кристаллах также вызывают напряжения, которые могут привести к возникновению аномального двупреломления... К этой категории оптически аномальных кристаллов примыкает другая, в которой аномалии обуславливаются напряжениями, причина которых лежит в самой решетке кристаллов... Эти кристаллы представляют собой изоморфные смеси. Напряжения в них возникают вследствие замены в решетке части ионов другими, отличающимися от первых по объему».

В. Б. Татарский не упоминает наших работ по этому же вопросу, но его высказывания, имеющие совершенно тот же смысл, что и в наших работах, можно расценить лишь как признание принци-

пильной правильности нашего вывода о том, что физические кристаллы почти всегда должны быть „аномальными“, т. е., что их физические свойства могут быть более или менее близкими к тем или иным теоретическим нормам, но почти никогда не будут точно совпадать с ними. Теоретические нормы играют здесь роль ассимптот, определяющих крайний предел значений констант физического кристалла.

Подобная постановка вопроса, как более правильно отражающая соотношения и закономерности, реально существующие в природе минералов, имеет очень существенное значение и для дальнейшего развития науки о минералах. Указывая без всякой маскировки на широкую распространенность так называемых аномалий и утверждая, вместе с тем, идею о их нормальности в природных условиях, эта постановка вопроса требует также проведения соответствующих исследовательских работ для полного и точного изучения путей и способов возникновения таких аномалий.

Для современной техники, все в большей степени использующей свойства кристаллов, связанные с внутренним их строением, и все в большей мере применяющей искусственно изготавливаемые кристаллы, это имеет несомненно очень существенное значение.

К сожалению, в широких кругах минералогов еще до сих пор господствуют старые традиции, в связи с чем даже в новейших изданиях продолжают приводиться безо всяких оговорок прежние, идеологически неправильные характеристики минералов. Одной из задач современной минералогии нужно признать замену устарелых, притом идеалистических характеристик минералов новыми, более правильно отражающими действительность и, вместе с тем, удовлетворяющими требованиям диалектического материализма.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступило 4 III 1953

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Варданянц Л. А. Проблема оптической двуосности одноосных минералов. Записки Всеросс. Минералог. Общ., часть 70, вып. 1, 1941.
2. Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод определения вещества, 1949.

Լ. Ա. Վարդանյանց

ՄԻՆԵՐԱԼՆԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԱՆՈՄԱԼ ԵՐԿԱՌԱՆՑՔԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Բյուրեղագիտությունը և հանքաբանությունը դարձ ունեն հասկացողությունների ու ֆիզիկական օրենքների երեք կատեգորիաների հետ իրանցից առաջին կատեգորիան՝ դա սիմետրիան է և բյուրեղի՝ նրան համադրատասիանող հատկությունները, երկրորդը — հրաշալի կազմված ունիկալ բյուրեղները, և երրորդը — լեռնային ապարների կազմում միներալների անհատների անթիվ բազմությունը:

Առհասարակ հնարավոր չէ ապացուցել նույնիսկ այն, որ առաջին կատեգորիայի օբյեկտները ճշտորեն պահպանվում են երկրորդ կատեգորիայի օբյեկտներում: Առավել ևս նրանք չեն կարող պահպանվել երրորդ կատեգորիայի օբյեկտներում, որոնք ոչ մի դեպքում նույնական չեն նույն միներալի երկրորդ կատեգորիայի բյուրեղներին: Օրինակ՝ լեռնային բյուրեղապակին ցուցաբերում է մի շարք օպտիկական խոտորումներ, իսկ կվարցը սովորաբար պարզորոշ երկառանցքային է: Բայց և այնպես՝ վերջինս համարվում և նկարագրվում է որպես անսոսնային միառանցքային միներալ: Նույնը տեղի ունի նաև գրեթե բոլոր միառանցքային միներալների մոտ:

Այդ կարգի իդեալիստական բնութագրերը սովորական են ժամանակակից հանքաբանության մեջ: Դրա հետևանքն այն է, որ օպտիկական անոմալ երկառանցքայնությունը մինչև այժմ մնում է առանց մանրադիտակ հետազոտության, թեև այդպիսի միներալների համար նրանց իսկական օպտիկական բնութագիրը որոշվում է միայն նրանց օպտիկական առանցքների անկյան միջին արժեքով:

Իր հոդվածներից մեկում (1941) հեղինակը արդեն ուշադրություն է դարձրել այդ հանգամանքի վրա: Քանի որ վերջին տարիների ընթացքում նույնպիսի գաղափարներ հրապարակել է նաև Վ. Բ. Տատարսկին, ուստի կարելի է արդեն ընդհանուր առմամբ ընդունված համարել հեղինակի այն եզրակացությունը, որ միառանցքային միներալների երրորդ կատեգորիայի ֆիզիկական բյուրեղների համար անոմալ երևույթ է հանդիսանում նրանց միառանցքայնությունը և ոչ թե երկառանցքայնությունը:

Л. А. Варданян

Принципы эмпирической проверки стереоконоскопического метода

В 1940—1944 гг. нами был разработан метод исследования кристаллов в шлифах на федоровском столике, позволяющий построить для любого сечения каждого минерала стереографическую проекцию коноскопической фигуры. Метод этот был назван нами стереоконоскопическим. Федоровский столик новых конструкций допускает несколько вариантов этого метода в зависимости от того, в каком сочетании используются те или иные оси вращения столика. Практическое значение могут иметь, повидимому, только два варианта метода,—нормальный и диагональный—основы которых в кратком и подробном виде были опубликованы нами ранее [2, 6].

Один из возможных вариантов стереоконоскопического метода, названный нами вращательным, тождествен методу кривых погасания Е. С. Федорова, предложенному им еще на заре появления универсального столика, когда таковой имел только две оси вращения. Как известно, метод кривых погасания не получил распространения, так как для практической работы он оказался непригодным. Причины этого были выяснены полностью и опубликованы, повидимому, только в наших работах [4].

В отличие от общераспространенных методов, широко используемых при микроскопическом исследовании минералов, стереоконоскопический метод характеризуется очень небольшой шириной слепой зоны, т. е. того интервала значений угла оптических осей $0^\circ < 2V < A^\circ$, в пределах которого двuosный минерал не отличается от одноосного, так как дает такую же фигуру, как и одноосный. По нашим определениям, слепая зона стереоконоскопического метода, т. е. тот наименьший угол оптических осей, для которого еще можно получить надежную и ясную фигуру двuosности, составляет всего лишь $4-6^\circ$, между тем как у общеизвестных методов их слепая зона намного шире.

Так, у федоровского и обычного коноскопического методов слепая зона достигает, при среднем и низком двупреломлении, $12-25^\circ$, в связи с чем становится невозможной диагностика двuosности, например, у санидинов, и таковые описываются обычно как почти одноосные, хотя угол оптических осей у них, как правило, не опускается ниже $15-20^\circ$.

Проведенное нами стереоконоскопическое исследование ряда теоретически одноосных минералов показало, что они, как правило, двуосны, но вовсе не одноосны. Так, было установлено, что кварц, как породообразующий минерал, почти всегда двуосен, причем среднее значение его угла оптических осей находится в пределах $14 \pm 6^\circ$. Двуосность обнаруживалась нередко и в горном хрустале, но у него среднее значение угла оптических осей значительно ниже, чем у кварца.

Для кальцита наметилась несколько иная характеристика, а именно, у него наибольшая частота значений угла оптических осей располагается в интервале от нуля до 6° , т. е. в пределах слепой зоны метода, но в ряде случаев он все же двуосен. Двуосными оказались в большинстве измеренных зерен и такие минералы, как турмалин, нефелин, апатит и даже ювелирные кристаллы аквамарина Шерловой горы, обладающие, в частности, ясной зональностью строения.

В кратком виде результаты этих измерений были опубликованы нами ранее [1]. В последующем этот метод был использован нами при исследовании „почти одноосных“ санидинов и анортотазов ряда месторождений и дал возможность обнаружить в них ясную двуосность, с углом оптических осей $10-26^\circ$, очень далекую от одноосности [3, 5, 7].

Стереоконоскопический метод был встречен с большим недоверием, достаточно ясно отразившимся в реферативно-критической статье И. А. Островского [9]. Основной причиной такого отношения была, надо полагать, кажущаяся парадоксальность того, что при применении нашего метода минералы, теоретически одноосные (т. е. такие, которые, по укоренившимся представлениям минералогов, должны быть одноосными), оказывались в подавляющем большинстве случаев двуосными.

Если принять во внимание, что в минералогии еще и до сих пор почти полностью сохранились метафизические и, частью, идеалистические определения и формулировки, унаследованные с прошлых времен, то нужно признать, что результаты применения стереоконоскопического метода безусловно должны были представляться парадоксально невероятными.

В попытках объяснить возникновение парадокса, противниками стереоконоскопического метода было высказано предположение, что получающаяся при этом методе двуосность у теоретически одноосных минералов является, будто бы, только кажущейся. Появление соответствующих элементов в стереоконоскопических фигурах обусловлено, по их представлениям, побочными усложняющими явлениями, сопровождающими прохождение поляризованного света через оптическую систему микроскопа и федоровского столика, особенно в тех случаях, когда шлиф наклонен на довольно значительный угол. При этом почему то забывают обстоятельную работу Д. С. Коржинского

[8], в которой показано, что влияние таких побочных явлений совершенно ничтожно.

Хотя роль всякого рода усложняющих побочных явлений, сопровождающих прохождение света через оптическую систему федоровского столика, не поддается простому и точному учету, тем не менее они при практической работе и, особенно, при эмпирической проверке как применяемых приборов, так и самого метода, могут быть исключены полностью. Для этого требуется лишь проводить исследование по принципу *ceteris paribus*, т. е. при прочих равных условиях, руководствуясь следующими тезисами.

а) Если минерал действительно одноосен, то все его одинаково ориентированные сечения при одинаковом положении в одной и той же оптической системе должны давать всегда какую-то одинаковую фигуру. Кроме того, если несколько действительно одноосных минералов имеют равное или почти равное свето- и двупреломление и один и тот же оптический знак, то все их одинаково ориентированные сечения, исследуемые при одинаковом положении в одной и той же оптической системе, должны давать для всех этих минералов одну и ту же фигуру.

б) Если минерал, считаемый одноосным, дает такую же картину двусности, какую дает в аналогичном сечении и в том же положении в той же оптической системе минерал заведомо двусный, то первый минерал также безусловно двусен, но не одноосен.

в) Если в ряде случаев в разных сечениях и у различных теоретически одноосных минералов при их исследовании в одной и той же оптической системе удается неоднократно получать картину почти точной одноосности, то следовательно данная оптическая система свободна от значительных и универсальных дефектов, могущих существенно исказить стереоконоскопическую фигуру.

г) Если у минерала, считаемого одноосным, фигура ясной двусности получается в сечениях почти перпендикулярных к острой биссектрисе или к оптической оси, то минерал этот действительно двусен, так как для таких сечений требуются очень небольшие наклоны федоровского столика, а при этом условии влияние побочных усложняющих явлений абсолютно ничтожно.

Эмпирическая проверка стереоконоскопического метода, проведенная нами в соответствии с указанными выше тезисами, показала следующее.

По первому тезису. Одинаково ориентированные сечения одного и того же минерала (кварц, турмалин, санидин, кальцит и др.) дают в одних случаях почти точную одноосность, а в других—двусность, причем угол оптических осей и положение плоскости оптических осей по отношению к оптической системе не остаются постоянными, но существенно меняются.

По второму тезису. Одинаково ориентированные сечения двусного и квази-одноосного минералов, обладающих одинаковым свето- и

двупреломлением и одинаковым оптическим знаком, дают в ряде случаев однотипную двусную стереоконоскопическую фигуру. В качестве примера можно указать сочетания кальцита с арагонитом, апатита с нефелином, эвдиалитом и санидином, турмалина с биотитом, и др. Признавая правильность определения двусности в арагоните, мы тем самым должны признать правильным определение двусности и в кальците. То же можно сказать относительно нефелина, эвдиалита и санидина, и т. д. Так как исследование производилось при прочих равных условиях, то следует сделать вывод, что причина, вызывающая в этих случаях появление двусной стереоконоскопической фигуры, заложена в самих кристаллах, но не в оптической системе приборов, и не в побочных явлениях, искажающих фигуру.

По третьему тезису. В ряде случаев минералы, считающиеся одноосными, действительно дают фигуру, почти точно одноосную. У кальцита это наблюдалось не менее чем в 25% случаев. У кварца, хотя и редко, но тоже получалась картина одноосности. То же можно сказать о турмалине и биотите. Почти точная одноосность была получена изредка и для некоторых кристаллов санидина, и т. д. И в этом случае нужно признать, что причина, обуславливающая в одних кристаллах одного и того же минерала картину одноосности, а в других—картину двусности, должна лежать в самих кристаллах, а не в оптической системе, и не в побочных оптических явлениях.

По четвертому тезису. У теоретически одноосных минералов двусная стереоконоскопическая фигура была получена не только в косых сечениях, но также и в сечениях, почти перпендикулярных к острой биссектрисе, а кроме того и в разрезах, почти поперечных к оптической оси. Такого рода фигуры были получены у некоторых кристаллов кварца, аквамарина, апатита и др.

Отмеченные выше результаты проведенной нами эмпирической проверки стереоконоскопического метода являются достаточными для его оценки, тем более, что они были получены систематически на разных приборах. Поэтому можно сделать вывод, что оптическая система современных поляризационных микроскопов и федоровских столиков свободна от неподдающихся учету и контролю дефектов, которые могли бы существенно изменить получаемую фигуру. В иной формулировке это означает, что современные поляризационные приборы позволяют получить правильную, не искаженную стереоконоскопическую фигуру во всех тех случаях, когда угол оптических осей в исследуемом кристалле не менее $4-6^\circ$, и лишь тогда, когда угол этот меньше указанной величины, могут проявляться искажения.

Иначе говоря, искажения могут иметь место в тех случаях, когда значение угла оптических осей находится в пределах слепой зоны метода, т. е. когда сам метод, в силу присущих ему особенностей, уже не может дать надежных результатов.

Во всяком случае, даже и при указанном выше ограничении, стереоконоскопический метод предоставляет гораздо больше возмож-

ностей для исследования всего диапазона аномальной двусности, чем все другие методы, уже получившие широкую известность.

Опубликование результатов проведенной нами эмпирической проверки стереоконоскопического метода задержалось по ряду причин, независимых от автора. Можно надеяться, что в ближайшем будущем удастся опубликовать соответствующие материалы и этим предоставить читателям возможность составить более полное и правильное представление о стереоконоскопическом методе. Вместе с тем, предполагается опубликовать в кратком виде описание и тех вариантов метода, которые не были включены в уже напечатанные наши работы.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступило 4 III 1953

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Варданянц Л. А. Проблема оптической двусности одноосных минералов. Записки Всеросс. Минералог. Общ., часть 70, № 1, 1941.
2. Варданянц Л. А. Стереоконоскопический метод исследования минералов. ДАН СССР, т. 50, 1945, стр. 425—427.
3. Варданянц Л. А. О санидиновом трахите близ сел. Элпин. ДАН Армянской ССР, т. VI, № 2, 1947.
4. Варданянц Л. А. О стереоконоскопическом методе и его отношении к федоровскому методу. Известия АН Армянской ССР (естеств. науки), № 1, 1947.
5. Варданянц Л. А. О санидинах в липаритах Тырмауза на Северном Кавказе. Известия АН Армянской ССР (естеств. науки), № 1, 1947.
6. Варданянц Л. А. Основы стереоконоскопического метода. Изд. АН Армянской ССР, 1947.
7. Варданянц Л. А. О немзовых песках Элара (Армения). ДАН Армянской ССР, т. X, № 4, 1949.
8. Коржинский Д. С. Об искажении угла погасания при измерениях на универсальном столике Федорова. Записки Росс. Минералог. Общ., часть 57, вып. 1, 1928.
9. Островский И. А. „Л. А. Варданянц—Основы стереоконоскопического метода“. Известия АН СССР, № 3, 1949.

Լ. Ա. Վարդանյանց

ՍՏԵՐԵՈԿՈՆՍԿՈՊԻԿ ՄԵԹՈԴԻ ԷՄՊԻՐԻԿ ՍՏՈԻԳՄԱՆ ՍԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

1947 թվականին հրապարակվել են հեղինակի մշակած ստերեոկոնոսկոպիկ մեթոդի հիմունքները, բայց նյութերի մեծ մասը և ստանձնապես այդ մեթոդով կատարված չափումների արդյունքները մինչև այժմ մնում են չհրապարակված։ Այդ նյութերը հույս էն տալիս, որ տվյալ մեթոդը միանգամայն պիտանի է լիարժեք գիտական նյութեր ստանալու համար, որոնք ապացուցում են, որ օգտիկական տեսակետից առհասարակ միատանց քային

համարվող միներալները իրականում մեծ մասամբ լինում են երկառանց-
քային:

Ստերեոկոնոսկոպիկ մեթոդի էմպիրիկ ստուգման համար հեղինակը
կազմել է չորս թեզ, որոնց գլխավոր սկզբունքն այն է, որ հետազոտու-
թյունները պետք է կատարել *cetaris paribus*-ի պայմաններում: Այդ չորս
թեզը պահպանելով, կարելի է լիովին ազատվել ստերեոկոնոսկոպիկ ֆի-
զուրն աղավաղող այն երևույթներից, որոնք կապված են Ֆեոդորովի սե-
ղանիկի օպտիկական սխառնում լույսի բեկման հետ:

Հեղինակը համառոտակի շարադրում է իր կտաարած չափումների
նյութերը, որոնք ցույց են տալիս, որ ստերեոկոնոսկոպիկ մեթոդով ստաց-
վող արդյունքները լիովին հուսալի են: Ուստի ավյալ մեթոդը երկառանց-
քայնության հետազոտության համար իրոք պիտանի է նույնիսկ նաև այն
դեպքերում, երբ օպտիկական առանցքների անկյունն իջնում է մինչև
 $4-6^\circ$, որ ներկայացնում է մեթոդի կույր գոտին:

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

В. Л. Егоян

О новых видах туронских гастропод бассейна
 р. Веди (Армянская ССР)

По обоим берегам р. Веди, несколько выше (по течению) сс. Карабахляр и Дагнас, обнажается мощная толща массивных, частью органогенных известняков верхнего мела. Разрез восточного крыла проходящей здесь крупной антиклинали слагался, по имевшимся ранее представлениям, пермью, трансгрессивно залегавшим сеноманом и трансгрессивными же нижним и верхним туроном.

Работы 1950—51 гг. заставили несколько изменить этот разрез. Отложения, относившиеся ранее к сеноману, ныне приходится отнести к нижнему триасу (скифский ярус), который залегает здесь совершенно согласно с пермью. Свита нижнего триаса представлена тонкоплитчатыми, сланцевато-глинистыми желтыми и серовато-желтыми известняками, отличающимися исключительным однообразием. Стратиграфическое положение ее обосновывается достаточно точно обнаруженной нами в более высоких горизонтах разреза многочисленной характерной ассоциацией аммонитов (*Meekoceratidae*) и пластинчатожаберных, среди которых часты *Pseudomonotis clarai* Emmer. Эта ассоциация отмечалась многими авторами в более южных районах Армении.

На левом берегу реки, в нижней части крутого склона его были обнаружены выходы туронских красновато-желтых известняков с рудистами, многочисленными *Actaeonella*, *Pseudomesalia*, *Oligoptuxis* и другими гастроподами, среди которых был один экземпляр характерного *Pyropsis reticulata* sp. nov. (in coll.). Другие экземпляры этого же вида были найдены на правом берегу, в более высоких горизонтах турона. Над ними залегает мощная монотонная пачка немых серых известняков, имеющая в основании трех-четыре-метровый пласт конгломератов базального характера. Выше в разрезе залегает маломощная пачка глинистого „аптикселлового“ ракушечника с чрезвычайно многочисленными аптикселлами и редкими *Pseudomesalia* и *Itruvia* в верхах, и многочисленными *Itruvia* (на правом берегу) в нижней части. Пласт этот, как и нижние пласты залегающих выше известняков, содержит мелкую гальку известняков. Наконец, еще выше залегает третья пачка желтых и крас-

повато-желтых, до красного, массивных известняков. В средней части ее отмечается горизонт красноватых известняков с галькой, принимавшийся ранее за подошву нижнего турона. Эти известняки содержат большое количество рудистов, среди которых часто встречаются (на правом берегу) *Radiolites armenicus* Renng., а также *Protocardia armenica* Eichw., *Pr. paffenholzi* Bobkova, *Pr. renngarteni* Bobkova и гастроподы. Среди последних выделяются характерные многочисленные представители рода *Pyrasmus* Montf. и, редко, *Pyropsis* Congrad. Экземпляры этих форм находились как в сводовой части, так и на обоих крыльях антиклинали.

Выше в разрезе располагается коньяк, представленный песчаной фацией с исключительно многочисленными одиночными кораллами, относительно редкими гастроподами, отличного от туронских облика, и одиночными аммонитами¹.

Песчаники этой свиты в низах своих содержат редкие прослои с галькой известняков и других осадочных пород.

Никаких указаний на наличие в этом районе сеноманских отложений нами, к сожалению, не было найдено. Более того, в разрезе, описанном выше, для сеномана просто не остается места между явными фаунистически охарактеризованными триасовыми отложениями и туронскими рудистово-гастроподовыми известняками. Приходится предполагать, что сеноманский ярус², установленный К. Н. Паффенгольцем юго-восточнее у фермы Геранос находкой *Acarthoceras newboldti* cf var. *spinosa* Kossm., не протягивается до правого берега р. Веди и, вероятнее всего, перекрывается на этом участке туроном.

Семейство *Cerithidae* Flem.

Род *Pyrasmus* Montf. 1810.

Представители этого рода очень редки в верхнемеловых отложениях юга СССР. Среди многочисленных сборов фауны брюхоногих верхнего мела Закавказья и Средней Азии, принадлежащих многим исследователям, В. Ф. Пчелинцевым был обнаружен лишь один экземпляр *Pyrasmus*'а из бассейна р. Веди (Армения). Экземпляр этот, определенный как *Pyrasmus armenicus* Pchel., хранится в коллекции В. Ф. Пчелинцева во Всесоюзном геологическом музее.

Первые представители этого рода появились, повидимому, еще в конце нижнемелового времени. Считать нижней границей их распространения сенон, как это предполагалось ранее, или турон, как это делает В. Ф. Пчелинцев, нельзя, так как в туроне мы

¹ *Barroisiceras haberfellneri* Hauer var. *armenica* var. nov. (in litt.).

² Последние данные, полученные после подготовки настоящей работы к печати, показывают, что все более или менее точно определяемая фауна, указывавшаяся из сеномана этого района, исключая устриц, принадлежит вышележащим нижнетуронским слоям и для установления сеномана в этом районе еще нет достаточных оснований.

имеем уже высокоразвитые виды рода *Pyrazus* Montf. Являясь одними из наиболее высокоспециализированных членов семейства *Cerithidae* Flem., виды рода *Pyrazus* Montf. должны, вероятно, обладать узким стратиграфическим распространением, что делает их очень важными для расчленения и сопоставления разрезов.

Раковины рода *Pyrazus* Montf. пирамидальны с постоянным, для видов, числом граней, обороты слабо выпуклы, иногда угловаты. Скульптура раковин богатая, основные элементы ее—мощные поперечные кили и бугорчатые продольные ребра. Устье с несколько утолщенной наружной губой, расширенное. Сифональный канал короткий. Имеется узкий капельник.

Генотип—современный *Cerithium ebeninum* Brug. (Австралия, Новая Зеландия).

Время существования—с апта (?) по настоящее время.

Примечание. Несколько экземпляров этого рода были отмечены Ек. Ст. Бончевым из аптских отложений Болгарии [1, стр. 243, табл. V, рис. 6—8]. Все имевшиеся у Ек. Ст. Бончева три экземпляра были отнесены им к одному виду—*Cerithium cornuelianum* d'Orb. К сожалению, описание их дано очень кратко. Указываются: до десяти завитков, апикальный угол в 27° , от 6 до 10 (?) бугорчатых ребер и несколько поперечных килей. Судя по изображениям, эти экземпляры следовало бы отнести к различным видам. Два из них, с широкими гранями, ближе к пирамидальным *Pyrazus*-ам, а третий—к коническим. Нечеткие изображения и неполные описания не дают возможности хотя бы приблизительно сопоставить их. Нужно отметить, что возрастное положение их—апт—недостаточно полно обосновано. Несмотря на это, можно считать установленным наличие представителей рода *Pyrazus* Montf. и в нижнемеловых отложениях (может быть в самых верхах).

Pyrazus quinquecostatus sp. nov.

Фиг. 1, 2, 3а, 6.

Определение вида. Раковина небольшая, пирамидальная, пятигранная, клиновидная. Поперечных килей пять, сплошные, мощные, завиваются под очень малым углом справа налево по росту раковины. Грани плоские, продольных ребер основных четыре и одно околосовное, на углах ребра гребневидные, на гранях ясно бугорчатые. На приустьевой части все ребра ясно бугорчатые по всей своей длине. Промежуточных двойных нитевидных ребрышек пять. Устье овально-заостренных очертаний с узким капельником. Столбик тонкий, без складок.

Голотип хранится в музее ИГН АН Армянской ССР.

Описание. Раковина небольшая, пирамидальная, в сечении пятиугольная, обычно неправильная, у некоторых экземпляров правильная. В первом случае две несмежные грани значительно уже соседних двух, а пятая, расположенная между меньшими, несколько шире их. Обороты слегка выпуклые. Навиваются под

очень малым углом. Число оборотов около десяти, возрастают в размерах плавно, без сколько-либо заметной ступенчатости. Пять поперечных ребер всех оборотов располагаются друг под другом, образуя резко выраженные, сплошные, мощные, слабо ступенчатые кили, проходящие через всю раковину, прерываясь в шовных бороздках. Каждое поперечное ребро несколько смещается вперед относительно соответствующего ребра предыдущего оборота. Благодаря этому все пять поперечных килей завиваются расходящимся пучком справа налево по росту раковины. По стыку оборотов проходит узкая глубокая шовная бороздка, в которой помещается шов. Ширина этой бороздки примерно вдвое больше промежутков между продольными ребрами.

Грани раковины прямые, иногда слегка вогнутые. По ширине своей равны поперечным килем, но в раковинах с неправильным пятиугольным сечением две узкие грани заметно уступают по ширине ребрам. Высота оборотов больше половины диаметра их.

Грани и кили раковины богато орнаментированы продольной скульптурой. Она состоит из четырех продольных бугорчатых ребер на гранях, менее мощного окошечного бугорчатого ребра в шовной бороздке и двойных нитевидных ребрышек в промежутках между основными. Основные продольные ребра несколько приплюснуты и, как показало рассмотрение под биноклем, распадаются на бугорки не только на гранях, но и обнаруживают неясные следы бугорчатости на пересечениях с поперечными килем. Ясные бугорки обнаруживаются по всей длине продольных ребер приустьевой части раковины, где они еще не прикрыты более поздними оборотами. Впрочем, одно из пяти продольных ребер—окошечное, находящееся в шовной бороздке и предохраненное в ней от истирания—также сохраняет бугорки по всей своей длине. Очевидно, что обычное отсутствие бугорков на углах раковины объясняется истиранием их, так как именно эти части раковины принимали на себя все удары и толчки, и именно ими опиралась раковина одно в лежащем положении. В условиях мелководной, прибрежной зоны обитания видов рода *Pyrazus* Montf. и, особенно, при перекачивании раковин погибших животных такое истирание бугорков несомненно имело место. Число ясновидимых бугорков на гранях между поперечными килем обычно три.

Дополнительные нитевидные ребрышки очень тонки и обычно ясно видны лишь на последних оборотах. Наиболее отчетливы они у гребней поперечных килей. Нижнее ребрышко располагается, примерно, в середине межреберных промежутков, а верхнее—сильно смещено в сторону соседнего основного ребра и часто маскируется выступом последнего, будучи значительно ниже него. Оба ребрышка в некоторых случаях обнаруживают тенденцию к расчленению. Окошечное ребро по высоте несколько более половины высоты остальных продольных ребер и отличается от них отсутствием гре-

бенчатости у килей. В бороздках между продольными ребрами ясно видна дополнительная поперечная косая штриховка, являющаяся, повидному, следами нарастания. Устье раковины средней величины, овально-заостренное, с коротким маломощным столбиком, с узким каплевидником.

Размеры раковины (голотип). Длина (без столбика)—16,5 мм, максимальная ширина последнего оборота—5,5–6,0 мм, ширина большой грани последнего оборота—1,7 мм, средних граней—1,4–1,5 мм, малых—1,0 мм, ширина поперечных килей—1,1–1,3 мм. Отношение высоты предпоследнего оборота к диаметру его—3,5:5.

Сравнения. Близким к описываемому виду является *Pyrazus artemicus* Pchel. из коллекции В. Ф. Пчелинцева во Всесоюзном геологическом музее. Описываемый вид отличается плоскими гранями, большей шириной их, двойными нитевидными ребрышками и формой устья. Нужно отметить, что плохая сохранность единственного экземпляра В. Ф. Пчелинцева, представляющего собою лишь фрагмент раковины, делает невозможным точное сопоставление.

Сантонский *Pyrazus corbaricus* Coss. [3] отличается от описываемого вида очень крупными размерами—длина до 50 мм и ширина до 20 мм, выпуклыми оборотами, число которых доходит до 12, неполной преемственностью поперечных ребер и ступенчатым смыканием последних оборотов.

Туронский *P. rochebrunei* Vign. [5] отличается шестью продольными килями и неясной бугорчатостью продольных ребер.

Эоценовый *P. pentagonatus* Schl. [2, 5] отличается большей величиной, одиночными нитевидными ребрышками, более мощным шовным ребром, меньшей шириной поперечных килей, формой устья и общими очертаниями раковины.

Описываемый вид—*P. quinquecostatus* sp. nov.—представлен в нашей коллекции более чем двумя десятками экземпляров. Среди них выделяются формы с неправильным пятиугольным сечением (голотип), с правильным сечением, с более резко выраженным завиванием пучка поперечных килей, а также и формы с более ясной бугорчатостью продольных ребер.

Местонахождение и стратиграфическое положение. Армянская ССР, бассейн р. Веди. Турон.

Pyrazus quinquecostatus var. *irregularis* sp. et var. nov.

Фиг. 4.

Определение вариетета. Раковина небольшая, пирамидальная, пятигранная с ярко выраженным возрастным диморфизмом—начальные пять-шесть оборотов имеют сплошные поперечные кили, в последних же 2–3—поперечные ребра смещаются относительно предыдущих на половину расстояния между ними. Продольных ребер основных четыре и одно окошковое, бугорчатые по всей своей

длине. Промежуточных двойных нитевидных ребрышек пять. Устье овально-заостренных очертаний.

Голотип хранится в музее ИГН АН Армянской ССР.

Описание. Раковина небольшая, пирамидальная, сильно удлинённая, в сечении пятиугольная, правильная. Обороты слегка выпуклы, навиваются под очень малым углом. Число оборотов 7 (8?), по размерам возрастают плавно, ступенчатость на стыках оборотов не отмечается. Ложная ступенчатость в последних оборотах создается стыком поперечных ребер с гранями предшествующих оборотов. Пять поперечных ребер располагаются в начальной части раковины (5—6 оборотов) друг под другом, образуя обычные для этого рода сплошные поперечные кили. В последних двух оборотах поперечные ребра смещаются на половину промежутка между смежными ребрами предыдущего оборота. Пучок поперечных килей в начальной части раковины едва заметно завивается слева направо. Шовная бороздка довольно глубокая, но выделяется нечетко, благодаря тому, что на хорошо сохранившихся последних оборотах поперечные ребра не находятся в стыке друг с другом.

Грани раковины плоские, до слегка выпуклых, по ширине заметно превосходят поперечные ребра. Высота оборотов примерно равна половине их диаметра. Поперечные кили четко очерчены, довольно мощные, пересекаются шовной бороздкой, ширина которой лишь немного превосходит ширину бороздок между основными продольными ребрами.

Грани и кили раковины богато орнаментированы продольной скульптурой, состоящей из четырех основных продольных бугорчатых ребер, околошовного бугорчатого ребра и тонкобугорчатых промежуточных нитевидных ребрышек в бороздках между основными ребрами. Последние несколько приплюснуты на киях и ясно расчленяются на бугорки по всей своей длине. Околошовное ребро имеет еще более ясную бугорчатость на всем своем протяжении. Наличие бугорков по всей длине продольных ребер у описываемого варианта является еще одним доводом в пользу предположения о сплошной бугорчатости продольной скульптуры у типичной формы вида. Дополнительные нитевидные ребрышки низкие, тонкие, мелкобугорчатые, двойные, наиболее отчетливы на киях последнего оборота, смещены к верхнему основному продольному ребру и одно из ребрышек обычно маскируется им. Неясно видна косая штриховка между основными ребрами на гранях. Устье раковины небольшое, овально-заостренных очертаний, столбик небольшой. Имеются короткий сифональный канал и узкий капельник.

Размеры раковины. Длина—14 мм, максимальный диаметр последнего оборота—4 мм, ширина граней—1,2 мм, ширина поперечных килей—1,0 мм, отношение высоты предпоследнего оборота к его диаметру—1:2.

У нас имеется лишь один экземпляр этого варианта, но харак-

терные особенности его столь четко выражены, что выделение его в новый вариант не вызывает сомнений.

Сравнение. Описанный вариант, представленный только одним экземпляром хорошей сохранности, отличается от типичной формы вида (*P. quincostatus* sp. nov.) шахматным расположением поперечных ребер последних оборотов, большей удлинённостью своей более мелкой раковины и ясной бугорчатостью по всей длине ребер продольной скульптуры.

Местонахождение и стратиграфическое положение. Армянская ССР, р. Веди. Турон.

***Pyrasmus septemcostatus** sp. nov.*

Фиг. 5а, б.

Определение вида. Раковина небольшая, пирамидально-коническая, семигранная. Поперечных килей семь, кили прямые, сплошные очень мощные, ступенчатые. Грани, как таковые, отсутствуют,—между киями лишь узкие глубокие канавки. Обороты навиваются под очень малым углом. Продольных ребер четыре, ребра гребневидные, на киях приплюснуты, между киями сужены, сохраняют неясные следы бугорчатости. Дополнительных двойных нитевидных ребрышек четыре. Околошовное ребро бугорчатое, сближенное с ближайшим основным ребром более молодого оборота. Устье овально-зостренных очертаний.

Голотип хранится в музее ИГН АН Армянской ССР.

Описание. Раковина небольшая, пирамидальная. Наш единственный экземпляр деформирован, и, вследствие этого, заметно уплощен. В сечении раковина семиугольная, правильная. Грани сильно сужены,—вся раковина, по существу, состоит из семи мощных поперечных килей. Кили сплошные, прямые, ясно ступенчатые, за исключением первых двух оборотов, где ступенчатость не столь резка. По стыку оборотов проходит шовная бороздка, почти не отличающаяся по ширине от промежутков между основными продольными ребрами. Обороты слегка выпуклые, навиваются под очень малым углом. Число оборотов 7, смыкание их ступенчатое. Промежутки между семью поперечными киями прямые, глубокие, узкие. Высота оборотов несколько более половины диаметра их.

Мощные кили раковины орнаментированы продольной скульптурой, состоящей из четырех продольных ребер, одно из которых сильно сближено с пятым—околошовным, и из четырех двойных нитевидных ребрышек между основными. Нитевидные ребрышки тонкие, низкие и несут на себе чрезвычайно мелкие точечные бугорки. Основные продольные ребра сильно расширены, приплюснуты (стерты?) на киях и резко сужаются между ними. На киях, по краям продольных ребер заметны очень тонкие краевые нитевидные ребрышки и слабые следы бугорчатости. Продольные ребра в приустьевой части раковины ясные и крупно-бугорчатые. Весьма вероятно,

что и остальная часть раковины первоначально несла на себе бугорчатую скульптуру, которая была стерта при окатывании. Околошовное ребро, сильно сближенное со смежным продольным ребром более позднего оборота, обычно сохраняет ясные следы бугорков. Устье средних размеров, овально-заостренных очертаний, столбик короткий, прямой, довольно мощный.

Размеры раковины. Длина—15 мм, диаметр последнего оборота—7 мм, ширина поперечных ребер—1,1—1,2 мм, ширина промежутков между ними—0,3—0,4 мм, отношение высоты предпоследнего оборота к его диаметру—1,2:2.

Описанный вид представлен в нашей коллекции только одним экземпляром. Хорошая сохранность и четко выраженные характерные черты позволили нам описать и выделить его как новый вид.

Сравнение. Из сходных меловых видов *Pyrazus*'ов нам известен лишь маастрихтский *P. elongatus* Douv. [4] из Ирана, отличающийся от описываемого вида более крупными размерами, более широкими промежутками между киями и, главным образом, отсутствием преемственности в смыкании поперечных ребер оборотов, отсутствием сплошных поперечных килей.

Местонахождение и стратиграфическое положение. Армянская ССР, бассейн р. Веди. Турон.

Pyrazus subseptemcostatus sp. nov.

Фиг. 6.

Определение вида. Раковина небольшая, пирамидальная, семигранная, клиновидная. Поперечных килей семь, сплошные, довольно мощные, завиваются под очень малым углом слева направо по росту раковины. Продольных ребер основных 4 и одно околошовное; на углах ребра гребневидные, на гранях—мелкобугорчатые. На приустьевой части все продольные ребра ясно бугорчатые. Устье овально-заостренных очертаний. Столбик тонкий, без складок.

Голотип хранится в музее ИГН АН Армянской ССР.

Описание. Раковина небольшая, пирамидальная, в сечении семиугольная, почти правильная (одна или две грани обычно несколько уже остальных). Обороты слабо выпуклые, навиваются под очень малым углом. Число оборотов около десяти, возрастают в размерах плавно, без ступенчатости. Семь поперечных ребер всех оборотов располагаются друг под другом, образуя резко выраженные сплошные мощные кили. Ступенчатость на киях едва заметна. Каждое поперечное ребро несколько смещается вправо от соответствующего ребра предыдущего оборота. Такое смещение придает киям некоторый уклон вправо (от оси раковин) и все семь поперечных килей завиваются расходящимся пучком слева направо по росту раковины. По стыку оборотов проходит узкая и довольно глубокая шовная бороздка, в верхней части которой располагается тонкое околошовное ребро.

Грани раковины вогнуты. По ширине (за исключением одной-двух) несколько больше килей. Высота оборотов несколько больше половины диаметра их.

Продольная скульптура раковины состоит из четырех основных и одного околошовного ребра. Все продольные ребра бугорчатые. На киях бугорки обычно стерты. На гранях сохраняются по два-три бугорка. На приустьевой части продольные ребра несут бугорки на всем своем протяжении. В промежутках между основными продольными ребрами заметны следы тонких нитевидных ребрышек и едва различимая косая штриховка (под бинокуляром). На киях продольные ребра сильно расширены, „приплюснуты“.

Устье раковины средней величины, овально-заостренное, с коротким тонким столбиком. Внутренней складчатости нет.

Размеры раковины (голотип). Высота—17 мм (?), средний диаметр последнего оборота—6 мм, ширина килей последнего оборота—около 1 мм, ширина граней—1,0—1,5 мм, отношение высоты предпоследнего оборота к его среднему диаметру—3:5,5.

Сравнение. Нам известно лишь два вида сходных с описанным выше: *Pyrazus elongatus* Douv. [4] (из маастрихта Ирана) и *P. septemcostatus* sp. nov.

Первый отличается сплошными, более грубыми киями, заметно более узкими гранями, отсутствием ясной бугорчатости на продольной скульптуре раковины и значительно более крупными размерами.

Второй резко отличается пирамидально-конической формой, очень узкими гранями и, соответственно, очень мощными киями, а также более резко выраженной ступенчатостью последних.

Местонахождение и стратиграфическое положение. Армянская ССР, Вединский район, бассейн р. Веди. Турон.

Pyrazus (?) dubius sp. nov.

Фиг. 7, 8, 9.

Определение вида. Раковина небольшая, пирамидально-коническая, восьмигранная. Поперечных ребер обычно восемь (?), очень мощные, перемежающиеся, несколько смещенные на более поздних оборотах; отклоняются вправо от оси раковины под очень малым углом. Продольных ребер основных четыре и одно околошовное, обычно маскирующееся нависающими киями более поздних оборотов. Продольные ребра на приустьевой части сохраняют следы бугорчатости. На ребрах остальной части раковины заметны косые штрихи нарастания. Грани чрезвычайно узкие, щелевидные, устье овально-заостренных очертаний. Столбик тонкий, без складок.

Голотип хранится в музее ИГН АН Армянской ССР.

Описание. Раковина небольшая, пирамидально-коническая, скорее коническая. В сечении восьмиугольная, правильная. Обороты плоские, до слегка выпуклых, нависают под очень малым углом. Оборотов до 10—13, возрастают в размерах плавно. Восемь поперечных ребер большей частью располагаются друг под другом,

частью же смещаются друг относительно друга, располагаясь под щелевидными гребнями предыдущих оборотов. Смещение поперечных ребер на смежных оборотах обычно незначительно, но, примерно, на каждом пятом обороте четыре или пять из них резко смещаются, совпадая с гребнями предшествующих оборотов. Смещение ребер происходит слева направо по развитию оборотов, т. е. ребра каждого последующего оборота „обгоняют“ соответствующие ребра предыдущего.

По стыку оборотов проходит узкая шовная бороздка, ширина которой несколько больше промежутков между продольными ребрами на гребнях. Околошовное ребро очень низкое, тонкое, извилистое—из-за перемежаемости поперечных ребер; прослеживается с трудом, будучи скрытым, обычно, под нависающими над ним поперечными ребрами. Продольные ребра довольно мощные, почти сливающиеся между собой на поперечных ребрах. Следы бугорчатости видны лишь на приустьевой части. На остальной части раковины заметны только косые штрихи нарастания и едва различимые следы тонкой нитевидной ребристости.

Вид этот представлен голотипом мало удовлетворительной сохранности и несколькими очень неполными паратипами. Все экземпляры сильно сплюснены.

Систематическое положение описанного вида неясно. Отнесение его к роду *Pyrazus* Montf. следует считать условным, так как по ряду признаков, в частности по общей форме раковины, он заметно отличается от типичных представителей этого рода, приближаясь к настоящим *Potamides*.

Вместе с описанным выше видом в тех же известняках было найдено много экземпляров чрезвычайно сходных с ним по общему облику и продольной скульптуре форм. Однако они резко отличаются по числу поперечных ребер (9 и 10). Плохая сохранность и сильная сплюсненность их не позволяет выяснить, являются ли они вариациями (филогеническими или возрастными) одного и того же вида или же различными, хоть и очень близкими, видами. На таблице приведены снимки девяти- (фиг. 8) и десятиреберных (фиг. 9) форм.

Местонахождение и стратиграфическое положение. Армянская ССР, Вединский район, правый берег р. Веди, в трех километрах выше (по течению) с. Дагнас. Турон.

В ы в о д ы

Описанные виды гастропод являются высокоспециализированными представителями семейства *Cerithidae*. Особенности строения и богатая орнаментировка раковин описанных видов рода *Pyrazus* Montf., позволяющие выделить их как новые виды, вместе с тем являются и показателями фациальных условий обитания их. Формы эти были обитателями мелководных участков моря в зоне частых и

сильных волнений. Мощная скульптура этих видов прекрасно приспособлена к таким условиям существования и все же эти маленькие, хрупкие на вид раковины, находящиеся среди громадных массивных раковин актеонелл, устриц или итрувий, поражают своей прекрасной сохранностью. Ассоциация других гастропод также подтверждает вывод о мелководности области их обитания. В то же время массивные, толстостенные раковины гастропод и ассоциирующиеся с ними рудисты указывают на обогащенность морских вод (времени существования этих видов) карбонатным материалом и на теплый, в общем, климат.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3a



Фиг. 3б



Фиг. 4



Фиг. 5a



Фиг. 5б



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

Фиг. 1—*Puzos quinquecostatus* sp. nov. (голотип). (1×2).

Фиг. 2, 3—То же (паратипы). (1×2).

Фиг. 4—*P. quinquecostatus* var. *irregularis* sp. et var. nov. (голотип). (1×2).

Фиг. 5—*P. septemcostatus* sp. nov. (голотип). (1×2).

Фиг. 6—*P. subseptemcostatus* sp. nov. (голотип). (1×2).

Фиг. 7—*P. (?) dubius* sp. nov. (голотип). (1×2).

Фиг. 8, 9—То же? (1×2).

Учитывая все сказанное выше, приходим к выводу, что описанные виды, вместе со многими другими видами гастропод, на которых, к сожалению, обычно не обращают достаточного внимания, могут быть широко использованы при определении возраста слоев и для палеогеографического анализа.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бончевъ Ек. Ст. Върху антиенската фауна отъ охранейския Предбалканъ. Спис. на Българ. Геол. Друж. годъ V, кн. 3, София, 1933.
2. Conrad T. Description of New Species of Cretaceous and Eocene Fossils of Mississippi and Alabama. Journ. Phyl. Akad. Sci., 2 ser., v. 4, 1860.
3. Cossmann M. Essai de Paleontologie comparée. Ziv., 1—13, 1895—1925, Paris.
4. Douville H. Les terrains secondaires dans le massif du Moghara à l'est de l'isthme de Suès d'après les explorations de M. C. Bortoux. Paléontologie. Memoires Acad. des Sc. de l'Inst. de France, 2 Ser., t. 4, 1916.
5. Vignal Z. Note sur la section „Pyrazus“ dans le genre Potamides et description d'une espèce nouvelle. Journal de Conchyliologie, v. 53 (4 Ser., t. 7), 1905.

Վ. Ա. Եգոյան

ՎԵՂԻ ԳԵՏԻ ԱՎԱԶԱՆԻ (ZUSKAVAN USU) ՏՈՒՐՈՆՅԱՆ
ԳԱՍՏՐՈՊՈՂՆԵՐԻ ՆՈՐ ՏԵՍԱԿՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Վեղի գետի երկու ափերին, Գազնաս գյուղից հոսանքով դեպի վեր, մերկանում է նախկինում սենոմանյն և ստորին տուրոնյն վերագրված սալաձև ու զանգվածային կրաքարերի մի հզոր հաստվածք: Հեղինակի հավաքած ֆաունան ապացուցում է վարի—սալաձև կրաքարերի ստորին-տարիանյան (սկյութական) հասակը և վերին զանգվածային կրաքարերի տուրոնյան հասակը:

Տուրոնյան կրաքարերը պարունակում են ուղիղաձևերի և զատարկ-պողների չափազանց հարուստ ֆաունա: Վերջիններիս մեջ հեղինակը հայտարարել է ՍՍՌՄ-ի վերին-կավձում շատ հազվագեղ հանդիպող *Pyrazus* Montf. ցեղի մեծ թվով օրինակներ:

Հսկվածում նկարագրվում են չորս նոր տեսակներ և մեկ վարիանտ՝ *Pyrazus quinquecostatus* sp. nov., *P. quinquecostatus* var. *irregularis* sp. et var. nov., *P. septemcostatus* sp. nov., *P. subseptemcostatus* sp. nov. և *P. dubius* sp. nov.

Հեղինակի տվյալներով, *Pyrazus* Montf. ցեղի ներկայացուցիչները հայտնվել են ոչ թե սենոմանում կամ տուրոնում, ինչպես ենթադրում էին նախկինում, այլ ստորին-կավձի վերջում: Այդ ցեղի խեցիկների կառուցվածքի և օրնամենտացիայի առանձնահատկությունները ցույց են տալիս նրանց բարձր հարմարվածությունը, ինչպես և այն, որ նրանք ապրել են ծովի ծանձաղ մասերում, հաճախակի և ուժգին ալեկոծումների գոտում:

Հեղինակի կարծիքով, զատարկապողների թե նկարագրված և թե ուրիշ շատ տեսակներ կարող են լայնորեն օգտագործվել նրանց պարփակող շերտերի հասակը որոշելու ժամանակ և պալեոգրաֆիական անալիզի համար:

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

М. З. Симонов

Седиментационные процессы в цементном тесте
и возможности их регулирования

1. Роль седиментационных процессов в формировании строения
бетона и задачи настоящих исследований

Бетонная смесь в промежутке времени от момента ее затворения до начала схватывания, под влиянием седиментационных процессов претерпевает ряд структурных изменений.

В цементном тесте происходит осаждение твердых частиц и отжатие воды. Отжавшаяся из цементного теста вода в бетонной смеси перераспределяется различным образом. В бетонной смеси на обычных (плотных) заполнителях часть воды, обуславливающая наружное водоотделение смеси, устремляясь вверх, обтекает частицы заполнителя и создает в бетонной смеси сеть сообщающихся капиллярных ходов. Кроме этого, выступающая над поверхностью бетонной смеси вода ослабляет связь данного бетонного слоя с последующим. Другая часть воды, обуславливающая внутреннее водоотделение смеси, скопляется под нижними поверхностями крупных зерен заполнителя, образуя под ними прослойки воды и этим ослабляя и уменьшая контакт заполнителей с цементным камнем. Зоны ослабленного контакта между цементным камнем и заполнителем и сообщающиеся капиллярные ходы являются в затвердевшем бетоне основными путями проникновения в него воды в условиях капиллярного подсоса или при напорной фильтрации. Эти же капилляры являются путями для проникновения в бетон агрессивных вод, и стало быть, очагами разрушения бетона от коррозии.

Наконец, наличие в бетоне сообщающихся капиллярных ходов и ослабленных контактов обуславливает снижение морозостойкости бетона.

В. В. Стольников и Е. В. Лавринович [1] провели исследования, освещающие влияние седиментационных процессов в бетонной смеси на водонепроницаемость и структуру бетона. Исследования эти показали, что водонепроницаемость бетона определяется размерами пор в бетоне, обусловленных внутренним водоотделением в результате седиментационных явлений. Уменьшение седиментационного самоуплотнения цементной пасты устраняет внутреннее водоотделение и

образование ориентированной системы капилляров, в результате чего повышается водонепроницаемость бетонов.

Указанные авторы пришли к выводу, что задачу проектирования водонепроницаемости можно свести к задаче выбора растворной и цементной составляющей, при определенном составе крупных заполнителей, если составить растворные смеси так, чтобы они при водоцементном отношении, взятом из условия прочности бетона, обеспечивали необходимую подвижность бетонной смеси и вместе с этим имели заданную седиментационную характеристику.

В бетонной смеси на легких (пористых) заполнителях отжавшаяся из цементного теста вода, в зависимости от кинетики водоотдачи и, с другой стороны, кинетики водопоглощения пористых заполнителей, может отсосаться капиллярами заполнителей, в результате чего явление внутреннего и наружного водоотделения в легких бетонах будет иметь иной характер. Соответственно, при одинаковых составах, структура легкого бетона может существенно отличаться от структуры обычного бетона.

Из вышеизложенного видно, что крайне важно не только значение седиментационных характеристик цементного теста и их учет при проектировании составов бетонов, но и изучение закономерностей, связанных с седиментационными процессами в цементном тесте и их влиянием на формирование цементного камня.

Статья посвящена рассмотрению этих закономерностей и установлению связи между седиментационными процессами в цементном тесте и сроками его схватывания, плотностью и прочностью цементного камня и химически связанной воды в нем.

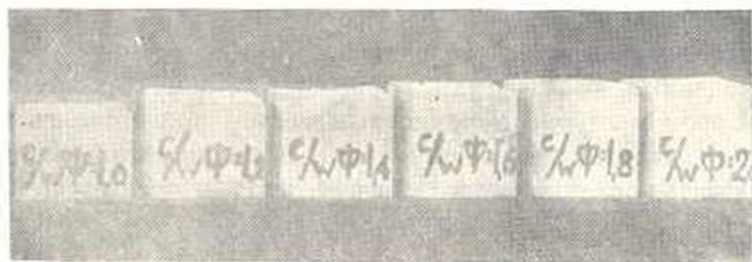
2. Влияние различных факторов на седиментационные процессы в цементном тесте

Водоотделение и водоудерживающая способность цементного теста, составляющие различные стороны одного и того же процесса—седиментации, зависят от целого ряда факторов.

Ниже рассматривается влияние на седиментационные процессы в цементном тесте механических факторов, а также добавок неорганического и органического происхождения. При этом, главное внимание уделено изучению не скорости оседания частиц, а образующегося седиментационного объема.

а) Влияние механических факторов. Еще при изучении цементного камня, с целью построения кривых прочностей, автором было отмечено [2], что над цементным тестом, уложенным в формы, постепенно всплывает вода. По истечении некоторого времени слой отжавшейся воды перестает изменяться, а находящееся под водой тесто начинает затвердевать. По освобождению от формы цементные образцы имеют уменьшенную высоту на толщину слоя отжавшейся из теста воды (фиг. 1).

Так как более разжиженным смесям цемента и воды соответствовал и более толстый слой отжавшейся воды, то можно было сделать предположение, что водоудерживающая способность цемента равна объему пустот в нем, а наличие отжавшейся над цементным тестом воды должно свидетельствовать о превышении воды затворения над объемом пустот в цементе. В действительности водоудерживающая способность цементного теста и соответственно седиментационный объем оказались зависимыми от концентрации цементно-водной суспензии, т. е. от $\frac{Ц}{В}$ (цементно-водного отношения).



Фиг. 1. Цементные кубики, изготовленные при различных цементно-водных отношениях.

Для изучения этого вопроса цемент с водой в пропорциях, принимаемых в бетонах, затворялись непосредственно в мензурках. После тщательного перемешивания тесту давалось осесть. Слой воды над осевшим цементным тестом достигал окончательной толщины уже в течение 30—50 минут. Схватывание цементного теста изучаемых концентраций начиналось значительно позже. Так, например, наиболее жидкие смеси цемента с водой можно было взболтать и вылить из мензурки по истечении одних суток после затворения. Для того, чтобы не дать цементному тесту схватиться в самой мензурке, обычно, опыт прекращался через 3—4 часа и мензурка освобождалась от теста.

Следует еще отметить, что при затворении цемента особенно большими количествами воды, оседание теста начиналось с наиболее крупных фракций цементного порошка. Таким образом, рассматривая осевшее в мензурке цементное тесто, можно было наблюдать рассев цементного порошка от наиболее крупных фракций в нижней части до мелких фракций в верхней части.

Первоначально для опытов был использован цемент Новороссийского завода.

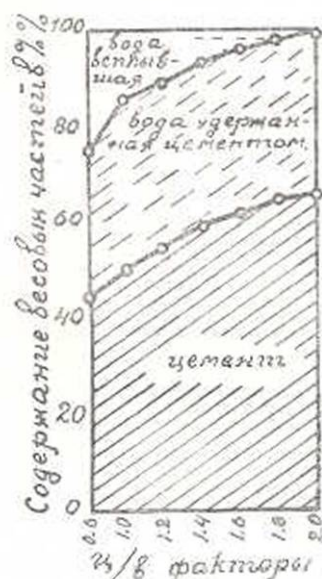
Опыты показали, что при изменении $\frac{Ц}{В}$ от 0,8 до 2,0 отношение веса удержанной в седиментационном объеме воды „ву“ к весу взятой навески цемента уменьшается с 70 до 50%.

Иная картина получается если вес, удержанный цементным

тестом воды „Ву“, относится к сумме первоначально взятых весов цемента и воды (с). Указанное отношение $\frac{Ву}{с}$ для цементного теста в интервале $\frac{Ц}{В} = 0,8 \div 2,0$ изменяется в пределах всего лишь от 33,4 до 35,4%, составляя в среднем 34,4% (см. фиг. 2).

Проведенные опыты позволили констатировать, что устанавливающийся в цементном тесте $\frac{Ц}{Ву}$ всецело зависит от величины первоначального $\frac{Ц}{В}$, и, что отношение $\frac{Ву}{с}$ при $\frac{Ц}{В} = 0,8 \div 2,0$ практически является постоянной величиной.

Отмеченные факты были проверены на цементах других заводов. При этом мензурки с цементным тестом подвергались продолжительному утряхиванию. Полученные экспериментальные данные, можно сказать, показали ту же картину, что и в предыдущем случае (фиг. 3).



Фиг. 2. Седиментация цементного теста в состоянии покоя.

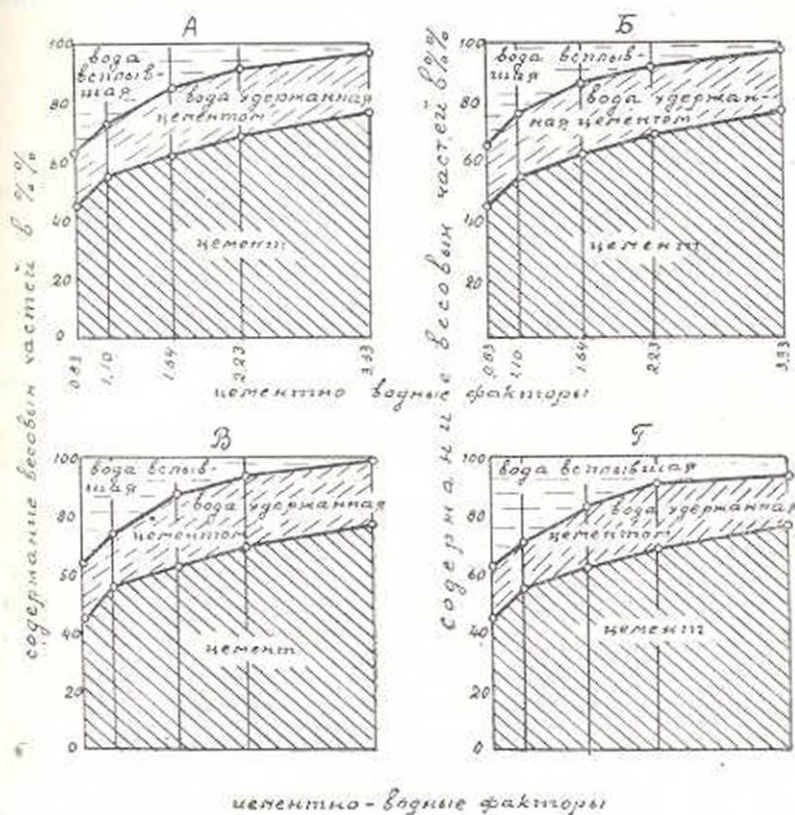


Фиг. 3. Седиментация цементного теста при постукивании посуды.

Наконец, означенная закономерность была проверена на цементном тесте, подвергнутом центрофугированию. Для этого автор воспользовался экспериментальными данными физико-химического института в Праге, приведенными в книге Ю. Я. Штаермана [3].

Центрофугирование цементного теста в этих опытах осуществлялось следующим образом. Был сконструирован специальный ап-

парат—центрофуга, с четырьмя бокалами, емкостью 200 см³ каждый. Число оборотов колебалось от 1000 до 2600 в минуту. Затворенное в тазике цементное тесто переносилось без остатка в сосуд для центрифугирования. Заполненный бокал взвешивался для определения веса центрифугируемой массы. Жидкость всплывающая над осадком после центрифугирования сливалась и бокал с остатком взвешивался. Графики, построенные на основании экспериментальных данных, показаны на фиг. 4.



Фиг. 4. Седиментация цементного теста при центрифугировании.

Эти графики, указывая на значительное уменьшение количества удерживаемой тестом воды при центрифугировании, снова подтверждают постоянство отношения $\frac{W_v}{C}$.

На основании приведенных данных можно утверждать, что независимо от условий седиментации (состояние покоя, утряхивание, центрифугирование), цементное тесто обладает свойством удерживать воду в определенной пропорции от заданного количества воды, и, что отношение веса, удержанного в тесте, воды к сумме весов цемента и воды (с) мало изменяется и может быть принято за постоянную величину, т. е.:

$$\frac{B_y}{c} = m, \quad (1)$$

где m — постоянная величина, зависящая от качества цемента и от состояния теста, при котором происходит выделение избыточного количества воды.

Принимая во внимание, что $c = \text{ц} + \text{в}$, легко вывести формулу для вычисления, устанавливающегося в цементном тесте, цементно-водного отношения по заданному цементно-водному отношению.

Имеем:

$$\frac{\text{ц}}{B_y} = \frac{\text{ц/в}}{\left(1 + \frac{\text{ц}}{\text{в}}\right)m}$$

Обозначая $k = \frac{\text{ц}}{\text{в}}$ и $k_1 = \frac{\text{ц}}{B_y}$, предыдущее соотношение можно переписать в следующем виде:

$$k_1 = \frac{k}{m(1+k)} \quad (2)$$

Из этой формулы видно, что совпадение первоначального и фактически устанавливающегося $\frac{\text{ц}}{\text{в}}$, т. е. равенство $k = k_1$ возможно только при условии

$$m(1+k) = 1 \quad (3)$$

б) *Влияние неорганических добавок.* Наряду с изучением механических факторов были поставлены также опыты по изучению изменения водоудерживающей способности и плотности цементного теста под влиянием различных добавок: поваренной соли, хлористого кальция, жидкого стекла, аскангеля, извести-пушонки и пемзовой гидравлической добавки. Результаты опытов приведены в таблице 1.

Пемзовая добавка, известь-пушонка и аскангель брались в процентах от суммы цемента и добавки, остальные добавки — в процентах от веса цемента.

Как видно из таблицы 1, перечисленные добавки повысили водоудерживающую способность цемента, за исключением хлористого кальция, который при $\text{ц/в} = 1,33$ дал противоположный эффект, вызвав уплотнение цементного теста: от 0,327 (при 0% добавки) до 0,337 (при 1% добавки).

Характерно, что влияние указанной добавки на формирование цементного теста оказалось в зависимости не от отношения ее к весу цемента, а от отношения к весу воды, т. е. от концентрации цементного теста, о чем свидетельствует тот факт, что указанная добавка в тех же дозах не давала того же эффекта при $\text{ц/в} = 1,0$ и 0,8.

Наиболее распространенным электролитом, прибавляемым к обыкновенному цементу для регулирования свойств его, как известно, является гипс. Поэтому были поставлены специальные опыты по изу-

Таблица 1

Влияние электролитов и некоторых других неорганических добавок на водоудерживающую способность и плотность цементного теста

Наименование добавки	Процент добавки	$\frac{ц}{в} = 0,8$		$\frac{ц}{в} = 1,0$		$\frac{ц}{в} = 1,33$	
		колич. всплыв. воды в проц. от взятого колич.	плотн. цемент. теста	колич. всплыв. воды в проц. от взятого колич.	плотн. цемент. теста	колич. всплыв. воды в проц. от взятого колич.	плотн. цемент. теста
(Без добавки)	0	39,5	0,298	27,3	0,307	11	0,327
Повар. соль	0,5	28,2	0,264	12,3	0,269	7	0,317
	1	30,7	0,271	16,3	0,279	7	0,317
	2	36,3	0,288	27,3	0,307	10	0,323
Хлористый кальций	0,5	35,4	0,286	20,3	0,288	12	0,330
	1	33,0	0,278	26,3	0,304	15	0,337
	2	37,0	0,291	24,3	0,298	12	0,330
	3	35,4	0,286	27,3	0,307	12	0,330
	4	35,4	0,286	25,3	0,302	12	0,330
Жидкое стекло	0,5	25,8	0,258	14,3	0,274	2	0,305
	1	15,4	0,234	10,3	0,264	4	0,311
	2	13,8	0,231	5	0,254	1	0,302
	3	8,3	0,220	4	0,252	—	0,294
	4	4,3	0,212	1	0,246	—	0,289
Аскагель	5	28,2	0,268	19	0,290	7	0,320
	10	21,8	0,254	14	0,280	—	0,300
	15	16,2	0,243	7	0,267	—	0,299
	20	11,4	0,236	4	0,264	—	0,300
Известь-пушонка	5	21,8	0,255	9	0,268	—	0,298
	10	25,8	0,270	9	0,275	—	0,304
	15	17,8	0,256	0,3	0,261	—	0,308
	20	16,2	0,257	1	0,269	—	0,312
Пемзовые пылевидные частицы	20	16,2	0,246	12	0,282	—	0,290

чению влияния гипса на водоудерживающую способность цементов. Для опытов были взяты 4 различных цемента, при чем цементы под номерами №№ 1—3 были отобраны с разных партий каспского цементного завода, содержащие обычную дозу гипса добавляемую при помолу; цемент № 4 был специально приготовлен в лаборатории без прибавления гипса из клинкера того же цементного завода.

Химический состав этих цементов приведен в таблице 2.

Для изучения водоудерживающей способности и плотности указанных цементов из них готовилось тесто при $\frac{ц}{в} = 1,0$ с одновременным введением добавки гипса в количестве 0—5% по весу. Результаты опытов приведены в таблице 3.

Как указывалось, в цементах №№ 1—3 уже содержалось некоторое количество CaSO_4 , а именно: в цементе № 1—3,92%, в цементе № 2—3,46% и в цементе № 3—2,43%.

Химический состав цементов

Таблица 2

Наименование определений	Номера цементов			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
SiO_2	20,76	24,92	21,70	20,92
Al_2O_3	6,56	4,30	8,05	6,76
Fe_2O_3	3,64	2,30	2,55	3,24
CaO	56,42	60,70	60,59	58,57
MgO	1,72	2,23	2,41	3,89
SO_3	2,31	2,04	1,43	0,95
п. п. п.	9,28	3,36	4,02	5,00
Сумма	100,69	99,85	100,85	99,33

Таблица 3

Водоудерживающая способность и плотность цементного теста в зависимости от добавки гипса

Добавки гипса в проц. к весу цемента	Номера цементов							
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
	колич. вспл. воды в процент. от взятого колич.	плотн. цементн. теста	колич. вспл. воды в проц. от взятого колич.	плотн. цементн. теста	колич. вспл. воды в проц. от взятого колич.	плотн. цементн. теста	колич. вспл. воды в проц. от взятого колич.	плотн. цементн. теста
0	38	0,344	39	0,345	10	0,265	15	0,307
1	33	0,327	33	0,325	14	0,273	18	0,320
2	18	0,284	22	0,292	13	0,271	28	0,367
3	19	0,286	23	0,294	9	0,263	22	0,330
4	15	0,276	21	0,200	10	0,262	22	0,335
5	—	—	—	—	—	—	20	0,309

Введение в эти цементы дополнительного количества гипса, судя по данным таблицы 3, оказывает следующее влияние: для цементов №№ 1 и 2 водоудерживающая способность увеличивается; для цемента № 3, содержащего до этого наименьшее количество CaSO_4 (2,43%), водоудерживающая способность уменьшается и соответственно плотность теста повышается при увеличении гипса в пределах 1—2%, дальнейшее же увеличение содержания гипса приводит к тому же эффекту, что для цементов №№ 1—2. Что же касается цемента № 4, не содержащего первоначально гипса, наибольшее снижение водоудерживающей способности и достижение наибольшей плотности имеют место при добавке гипса 2—4%.

Проведенные опыты показывают, что при помощи ряда электро-

литов и некоторых неорганических добавок можно достигнуть регулирования водоудерживающей способности и плотности цементного теста. Опыты эти показали также, что существует оптимальный процент добавки гипса, при котором водоудерживающая способность данного цемента является минимальной, а плотность теста — максимальной.

в) *Влияние органических добавок.* Наряду с указанными выше неорганическими добавками было изучено также влияние на те же качества цементного теста некоторых органических веществ. Водоудерживающая способность этих добавок изучалась на тесте при $\rho/\nu = 1,0$. Цементное тесто было затворено водой, содержащей 1% пластифицирующей добавки СП—А, и водой, содержащей воздухововлекающую добавку (абетиновую смолу) в количестве 0,05%. Для сравнения цементное тесто было затворено также на чистой воде.

В таблице 4 приведены данные о водоотделении и плотности цементного теста, под влиянием указанных добавок.

Таблица 4
Плотность цементного теста в зависимости от содержания
поверхностно-активных добавок

Наименование добавок	Перво- началь- ное ρ/ν	Колич. вспл. воды в г вв	Колич. удерж. воды в г в у	Устан. значе- ние $\frac{\rho}{\nu}$	Плотн. це- ментн. теста
Чистая вода	1,0	13	37	1,35	0,298
Вода + 1% пластиф. СП—А	1,0	16,1	33,9	1,48	0,316
Вода + 0,05% аб. смолы	1,0	23	27	1,85	0,366

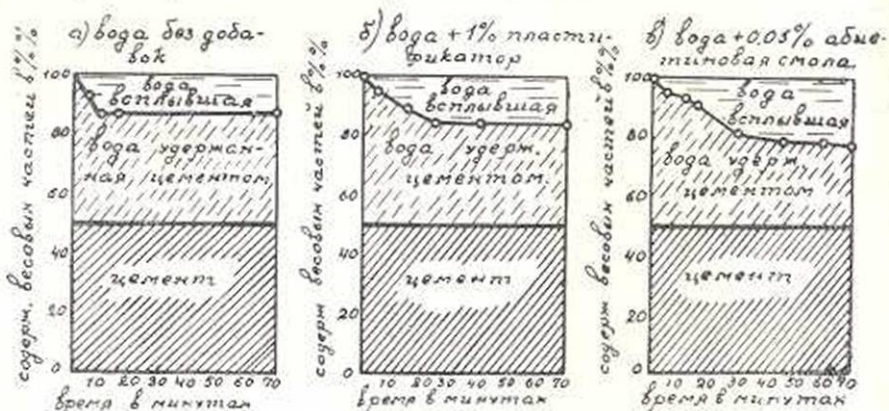
Наряду с окончательно установившимися показателями водоотделения, при проведении опытов фиксировались также показатели интенсивности водоотделения под влиянием добавок.

На фиг. 5 приведены графики водоотделения в зависимости от времени.

Проведенные опыты показывают, что обе изученные поверхностно-активные добавки увеличивают водоотделение и повышают плотность цементного теста, при чем сам процесс осаждения цементного теста при этом происходит в течение более длительного времени, чем при цементном тесте на чистой воде.

С. В. Шестоперов впервые показал, что влияние поверхностно-активных добавок на свойства цементного теста и цементного камня не одинаково на цементы, различающиеся между собой по химическому и минералогическому составу. По исследованиям А. В. Сатапкина [4] наиболее активное влияние поверхностно-активные вещества оказывают на алитовые и, особенно, вы-

сокоалюминатные цементы и относительно мало изменяют свойства белитовых цементов. В свете сказанного, интересно отметить, что опыты по изучению интенсивности водоотделения цементного теста под влиянием добавок были проведены и А. В. Саталкиным [5]. Смесь из 10% цемента и 90% воды с различными поверхностно-активными добавками взбалтывалась в течение 15 минут и оставлялась в покое до полного оседания частиц. Цементное тесто без добавок оседало в течение 200 минут, с добавкой абиетиновой смолы (0,5%) в течение 5 минут и с добавкой барды (0,10%) и сульфитного щелока (1,10%) в течение 1440–1550 минут.



Фиг. 5. Интенсивность водоотделения от цементного теста в зависимости от добавок.

Последние добавки определенно повышали суммарную поверхность цементных зерен, сильно увеличивая время их оседания, что отмечалось и в опытах автора. Что же касается влияния абиетиновой смолы, то опыты А. В. Саталкина и автора дали различные результаты, что следует объяснить разницей в качестве использованных цементов, а также разницей в концентрациях цементного теста в этих опытах.

Ю. М. Буттом и Г. М. Берковичем [6] было изучено влияние на водоудерживающую способность и другие свойства цементного теста интенсификатора помола гипроцемента, сульфатно-спиртовой барды, дубильного экстракта, древесного пека, некаля и подмыльного щелока на цементное тесто и цементные растворы, изготовленные на портландцементе заводского изготовления.

Опыты эти показали, что одни добавки уменьшают, а другие (дубильный экстракт и некаль) увеличивают водоотделение цемента.

Сравнивая влияние органических добавок на седиментационные качества цементного теста с влиянием на них неорганических добавок, изученных автором, можно прийти к выводу, что в конечном итоге обе группы добавок могут приводить к одним и тем же результатам.

Переходя к анализу данных в целом, следует прежде всего отметить, что для суспензий цемента плотность упаковки частиц определяется не геометрическими, а физико-химическими факторами. Экспериментально это обнаруживается в резко различных плотностях, т. е. условиях структурообразования под водой. Наши теоретические представления основываются на исследованиях в области физико-химии поверхностных явлений, проведенных академиком П. А. Ребиндером и его сотрудниками. Следуя этим работам можно сказать, что плотность упаковки определяется степенью гидрофильности поверхности частиц, т. е. их стабилизации водной средой по отношению к коагуляционному структурообразованию. С другой стороны, с увеличением дисперсности частиц в результате их диспергирования при взаимодействии с водной средой — резкого увеличения числа частиц в единице объема при той же весовой концентрации, способность к коагуляционному структурообразованию резко возрастает. Взаимодействие этих противоположных явлений (стабилизация и нептизация или диспергирование) и определяет в итоге рыхлость структурной сетки в цементном тесте и объем механически удержанной в этой сетке свободной воды.

3. Связь между седиментационными процессами в цементном тесте и сроками схватывания и прочностью цемента

По вопросу влияния гипса, хлористого кальция и ряда других веществ на различные свойства цемента имеются многочисленные работы. Среди них необходимо отметить работу Л. А. Гудовича [7], изучавшего зависимость свойств цементов от количественного развития процесса взаимодействия между компонентами твердеющего цемента и гипса.

В результате проведенных исследований Л. А. Гудович пришел к следующим выводам: введение гипса в цемент существенно сказывается на его прочности; вызываемое введением гипса изменение прочности цементов зависит от их минералогического состава, главным образом от содержания C_3A и от количества введенного гипса и определяется кинетикой связывания гипса в сульфоалюминат кальция; оптимальным является такое количество гипса, которое связывается полностью в течение 18—24 часов твердения цемента; предельным же, при котором прочность цемента нарастает во времени, является такое количество, которое связывается полностью за 28 дней.

Считая, что процесс схватывания и отчасти твердения зависит прежде всего от скорости растворения клинкерных минералов и от скорости вывадания новообразований из пересыщенного раствора, следует все же допустить, что в известной мере на эти процессы должны оказывать также влияние седиментационные свойства цемента и, в частности, его водоудерживающая способность.

Вопросы эти были изучены автором на 4 различных цементах, описанных в п. 2, химические составы коих даны в таблице 2.

Цементы №№ 1—3 были подвергнуты стандартным испытаниям в трамбованных растворах с вольским песком в пропорции 1:3. К этим цементам добавлялся полуводный гипс в количестве от 0 до 4 процентов по весу от цемента.

Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Согласно данным таблицы 5, введение в эти цементы дополнительного количества гипса оказывает следующее влияние: с увеличением содержания гипса сроки схватывания цементов сокращаются; при ускоренном методе испытания показатели прочности на сжатие в зависимости от содержания гипса получаются различными и соответственно изменяются переходные коэффициенты от ускоренных методов определения прочности на сжатие к нормальным; с повышением процента добавки гипса наблюдается замедление твердения в начальные сроки; полученные данные в отношении марки цемента в 28-дневном возрасте не дают устойчивой картины, но все же представляется возможным отметить тенденцию к увеличению марки цемента с увеличением процента добавки гипса в случае цемента № 3.

В свете этих данных большой интерес вызывало изучение влияния добавок на цемент № 4, полученный из клинкера без добавки гипса при помоле. Пределы прочности при сжатии и растяжении определялись на образцах из цементного камня, при чем на сжатие испытывались образцы размерами $2 \times 2 \times 2$ см, а на растяжение — восьмерки нормальных размеров. Образцы изготовлялись из цементного теста нормальной густоты.

В сравнении с предыдущими испытаниями, в данном случае в качестве добавок к цементу были взяты, кроме гипса, хлористый кальций, комбинация хлористого кальция с гипсом, комбинация гипса с глицерином, комбинация гипса с серной кислотой и, наконец, серная кислота. Результаты испытаний приведены в таблице 6.

Несмотря на неполноту опытов, все же результаты их достаточно убедительно показывают возможности существенного регулирования свойств цементного теста и цементного камня путем добавления к цементу того или иного электролита, и в первую очередь гипса.

Из таблицы 6 следует, что добавка гипса к размолотому цементному клинкеру в количестве до 2 процентов, по сравнению с чистым цементным порошком, приводит к снижению нормальной густоты с 25,7 до 22,2%, удлинению сроков схватывания и повышению прочности цементного камня в 7-дневном возрасте на сжатие с 343 кг/см² до 652 кг/см² и на растяжение с 14,7 кг/см² до 34,6 кг/см².

Положительный эффект достигается и при прибавлении к цементному порошку других электролитов. В данных опытах наилучший эффект в отношении прочности цементного камня на сжатие, а именно, повышение ее с 343 кг/см² до 749 кг/см² имело место при добавке к цементу 2% гипса и 1% хлористого кальция. Опыты с цементным камнем (табл. 6) совершенно отчетливо показывают, что

Таблица 5

Влияние добавки гипса на качества цементов заводского изготовления

№№ цементов	Добав. гипса в проц. к весу цемента	Норм. густота в проц.	Сроки схватывания		Ускоренное испытание	Предел прочности при сжатии в кг/см ²			Предел прочности при растяжении в кг/см ²			Перех. коэфф. от ускор. испыт. к норм. на сжат. в 28-дн. возраст. $\frac{R_{\text{уск}}}{R_{28}}$
			начало	конец		3	7	28	3	7	28	
№ 1	0	29,5	7 ч. 5 мин.	10 ч. 10 мин.	175	235	369	354	19,5	18,3	28,6	0,50
	1	30	6 45	10 5	237	235	278	432	20,7	20,2	25,8	0,55
	2	30,5	4 30	10 10	248	180	360	490	19,8	21	28,2	0,51
	3	30,5	5 30	9 45	278	102	140	355	10,4	19	25,8	0,78
	4	30,7	5 20	9 50	230	120	133	354	12,3	14,2	24,9	0,65
№ 2	0	24,2	2 50	6 26	387	236	355	426	17,1	18,2	26	0,91
	1	24,5	3 00	7 00	446	254	293	323	17,1	20,4	32,6	1,14
	2	24,8	1 40	4 45	577	269	328	3×3	17,5	23,4	28,2	1,50
	3	25,0	2 14	4 55	483	223	325	454	20,6	20,2	20,9	1,06
	4	25,2	0 15	3 40	323	250	254	417	15,2	14,5	21,3	0,77
№ 3	0	25,0	3 50	6 45	448	—	—	—	—	—	—	—
	1	25,5	3 00	7 25	509	—	315	362	—	25,1	27	1,40
	2	26,0	2 30	6 25	520	—	397	441	—	29,5	27,8	1,18
	3	26,5	2 25	5 15	571	—	411	441	—	24,4	26,7	1,30
	4	26,5	3 00	6 05	375	—	334	450	—	26,2	29,9	0,84

Таблица 6

Наименование добавок	Добав. в проц. к весу цемента	Норм. густота	Сроки схватывания		Пределы прочности на сжатие в 7-дн. возр. в кг/см ²	Пределы прочности на растяж. в 7-дн. возр. в кг/см ²
			начало	конец		
Гипс	0	25,7	1 ч. 27 мин.	4 ч. 57 мин.	343	14,7
	1	22,8	4 10	—	422	27,5
	2	22,2	4 15	6 15	652	34,6
	3	23,9	2 50	7 30	383	24,0
	4	23,2	2 21	—	188	11,8
	5	23,6	1 55	3 17	213	14,4
Хлористый кальций	0,25	24,2	0 15	0 40	302	19,3
	0,5	23,0	0 35	2 02	341	17,8
	1,0	24,0	0 24	1 06	433	—
Гипс	2	—	—	—	—	—
Хлор. к.	1	22,7	3 05	—	749	20,2
Гипс	2	—	—	—	—	—
Глицерин	0,25	24,1	3 00	—	617	24,9
Гипс	2	—	—	—	—	—
Серная кислота	0,125	23,9	1 42	3 32	513	27,7
Серная кислота	0,25	24,7	0 35	0 39	510	23,8

те или иные добавки, повышающие прочность цемента, одновременно уменьшают „нормальную густоту“ его, что связано с водоудерживающей способностью цемента, т. е. в конечном итоге с седиментационными процессами.

4. Связь между седиментационными процессами в цементном тесте, химически связанной водой и плотностью цементного камня

Выше было показано, что в цементном тесте, сейчас же после его затворения и до начала схватывания, происходят процессы, в существенной мере предопределяющие плотность цементного камня. Было показано также, что можно влиять на абсолютное количество выступающей из цементного теста воды, но что количество воды, остающейся в цементном тесте, во всех случаях продолжает находиться в прямой зависимости от суммы взятых при затворении количество цемента и воды.

В свою очередь, плотность цементного теста в значительной мере предопределяет плотность цементного камня, поскольку со стабилизацией объема цементного теста, происходящей еще до начала схватывания, дальнейшее изменение плотности происходит только за счет процессов твердения цемента.

Процессы твердения цемента, начинаются с момента затворения теста, продолжаются очень долго и при благоприятных условиях тянутся многие месяцы и годы.

Ниже приводятся экспериментальные данные по определению

химически связанной воды в цементном камне и удельных весов затвердевшего цемента в месячном возрасте в зависимости от различной концентрации цементной суспензии. (Экспериментальная часть выполнена Б. А. Сосулиным.)

Химически связанной с цементом в этих опытах считалась вода, оставшаяся в цементном камне после сушки при 110° до постоянного веса.

Результаты опытов приведены в таблице 7.

Таблица 7

Количество химически связанной воды в процентах от веса цемента в зависимости от цементно-водных отношений

Наименование определений	Цементно-водные отношения					
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Хим. связ. вода в проц. от цемента	14,7	13,5	12,2	11,2	10,0	9,5
Удельные веса цементного камня	2,25	2,26	2,27	2,29	2,31	2,33

По данным Б. Г. Скрамтаева [8], при водоцементном отношении от 0,25 до 0,386 количество химически связанной воды в проц. от веса цемента в 28-дн. возрасте составляет от 10,2 до 13,2%.

Результаты эти следует сопоставить с результатами аналогичных опытов, приведенных в книге Ф. Р. Мак-Миллана [9]. Результаты этих опытов приведены в таблице 8.

Таблица 8

Количество связанной воды в зависимости от возраста в процентах от веса цемента

Водоцементные отношения	Вода, оставшаяся в тесте после сушки при 115°C по отношению к сухому цементу (влажное хранение до испытания)							
	1 дн.	3 дн.	7 дн.	14 дн.	28 дн.	3 м.	6 м.	9 м.
0,30	4,1	6,3	8,3	8,8	9,7	10,6	11,0	11,6
0,45	5,0	7,7	9,8	10,5	11,7	13,0	14,0	14,7
0,60	5,7	8,6	10,8	11,7	13,0	14,6	15,9	16,8
0,75	6,2	9,2	11,5	12,6	13,9	15,8	17,0	18,2
0,90	6,6	9,6	11,9	13,3	14,4	16,7	17,7	19,0

Можно констатировать, что опытные данные разных авторов, в сравнимых случаях дают достаточно сходные результаты.

Данные эти показывают, что количество химически связанной воды в рассматриваемом возрасте, выраженное в процентах от веса цемента, имеет различные значения в зависимости от цементно-водного или, обратного ему, водоцементного отношения. Однако если

полученные в результате опытов количества связанной воды отнести не к весу цемента, а к сумме весов цемента и воды, взятых при затворении, то тогда процент связанной воды в данном возрасте цементного камня получится более или менее постоянным, независимо от цементно-водных отношений. Результаты такого перерасчета приводятся в таблице 9.

Таблица 9

Количество связанной воды в зависимости от возраста цементного камня и водоцементного отношения в процентах от суммы весов цемента и воды

Водоцементные отношения	Цементно-водные отношения	Возраст цементного камня								
		1 дн.	3 дн.	7 дн.	14 дн.	28 дн.	3 м.	6 м.	9 м.	1 г.
0,30	3,34	3,17	4,85	6,4	6,76	7,46	8,15	8,46	8,92	9,7
0,45	2,22	3,44	5,3	6,75	7,25	8,06	8,96	9,65	10,1	11,1
0,60	1,67	3,56	5,37	6,75	7,30	8,13	9,11	9,95	10,5	11,6
0,75	1,33	3,54	5,25	6,55	7,2	7,94	9,01	9,7	10,4	11,4
0,90	1,11	3,47	5,05	6,26	7,0	7,58	8,8	9,3	10,0	10,9
Средние значения		3,44	5,17	6,54	7,1	7,87	8,86	9,42	9,99	10,95

Результаты такого же перерасчета опытных данных В. Г. Скрамтаева и по таблице 7 приведены в таблице 10.

Таблица 10

Использованный источник	Цементно-водные отношения									
	1,0 (1,0)	1,5 (0,666)	2,0 (0,5)	2,5 (0,4)	2,59 (0,386)	3,0 (0,333)	3,13 (0,32)	3,5 (0,286)	4,0 (0,25)	Ср. знач.
По данным табл. 7	7,35	8,1	8,13	8,0	—	7,5	—	7,39	—	7,71
По данным В. Г. Скрамтаева	—	—	—	—	9,22	—	9,7	—	8,16	8,9

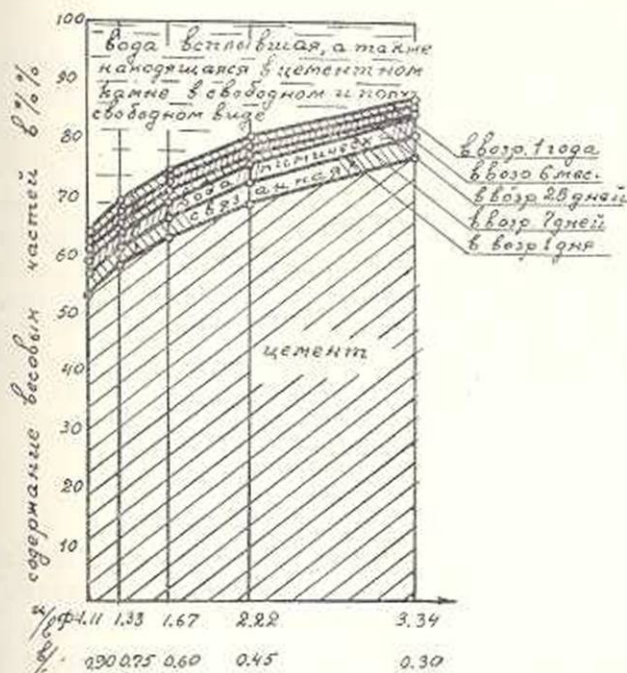
Таким образом, по всем данным результаты перерасчета количества химически связанной воды в 28-дневном возрасте дают близкие между собой значения—7,87%, 7,71% и 8,9% от суммы весов цемента и воды, взятых при затворении.

На фиг. 6 показан график, построенный по данным табл. 9, выражающий зависимость количества химически связанной воды в возрасте 1 д., 7 д., 28 д., 6 м. и 1 года.

Сравнивая фиг. 6 с фигурами №№ 2—4 легко видеть, что количество удерживаемой цементом воды в тесте и количество химически связываемой цементом воды определяются одним и тем же фак-

тором — концентрацией затворенного цементного теста и что оба эти количества находятся в прямой зависимости от суммы весов цемента и воды, взятых при затворении.

Как показывают приведенные опытные данные, вместе с увеличением веса цемента в цементном камне за счет химически связанной воды, происходит уменьшение удельного веса цементного камня.



Фиг. 6. Количество химически связанной воды в зависимости от возраста и цементно-водного отношения в процентах от суммы весов цемента и воды.

Оба эти обстоятельства приводят к тому, что абсолютный объем цементного камня и его плотность получаются большими, чем абсолютный объем цемента и плотность цементного теста. По данным Б. Г. Скрамтаева [8], удельные веса затвердевшего цемента составляют 2,47—2,68 при в/ц от 0,25 до 0,386.

По данным, приведенным в табл. 7, удельные веса затвердевшего цемента составляют 2,25—2,33 при ц/в от 1,0 до 3,5, т. е. при в/ц от 0,286 до 1,0.

Необходимо отметить, что, как показали точные исследования В. В. Некрасова [10], одновременно с увеличением объема твердой фазы происходит незначительное уменьшение суммарного объема системы цемент+вода (явление контракции). По его данным, величина предельной контракции в условиях подводного твердения цементного теста может составить до 80 мл на 1 кг цемента.

Считая, что цементно-водные отношения при изготовлении бетонов обычно принимаются в пределах от 1,0 до 2,5 и руководствуясь данными табл. 7. можно принять следующие средние значения: увеличение веса цемента за счет химически связанной воды на 13%, удельного веса затвердевшего цементного камня $\gamma_{цк} = 2,27$ и удельного веса цемента $\gamma_{ц} = 3,1$. Исходя из этих данных, среднее значение абсолютного объема цемента (C_k) в цементном камне в возрасте 28 дней составит

$$C_k = \frac{ц}{3,1} \cdot \frac{1,13 \times 3,1}{2,27} = \frac{ц}{3,1} \cdot 1,55.$$

Обозначая абсолютный объем цемента до затворения через C_1 , можно написать окончательные выражения:

$$C_k = 1,55 C_1 \quad (4)$$

или

$$C_k = 0,5 ц. \quad (5)$$

Выражение (4) для расчета плотности цементного камня в бетоне опубликовано автором еще в 1942 году [11].

В ы в о д ы

1. Седиментационный объем цементной суспензии (теста) разной концентрации определяется не геометрическими, а физико-химическими факторами.

Экспериментально установлено, что независимо от условий седиментации цементного теста (от состояния покоя до центрофугирования), количество воды, удержанной в седиментационном объеме, прямо пропорционально сумме весов цемента и воды, взятых при затворении цементного теста.

2. Специальные опыты по изучению влияния на седиментационные процессы в цементном тесте различных электролитов и добавок органического и неорганического происхождения показали, что в конечном итоге все они в той или иной степени могут быть использованы в качестве регуляторов скорости оседания частиц и седиментационного объема. При этом характер влияния этих добавок на седиментационные явления зависит не только от разновидности этих добавок и от химического и минералогического состава цемента, но и от количества добавок.

3. Существует связь между седиментационными процессами, сроками охватывания цементного теста и прочностью цементного камня. В опытах с цементным камнем показано, что те или иные добавки, повышающие прочность цементного камня, одновременно уменьшают „нормальную густоту“ цементного теста, что связано с водоудерживающей способностью цемента.

4. Уплотнение и упрочнение цементного камня в результате седиментационных явлений, наблюдаемые на образцах из цементного камня, не обязательно дадут такой же эффект в растворах и бетонах, поскольку в последних отжимающаяся из цементного теста вода может оставаться в межзерновых пространствах заполнителя. Влияние электролитов и поверхностно-активных добавок на механические характеристики цементного камня может заметно нарушить соответствие между собой марок цемента, устанавливаемых ускоренным методом „ЦНИПС-2“ в цементных кубиках и обычным методом в кубиках из раствора.

5. Закономерность, установленная в отношении водоудерживающей способности цементного теста (п. 1), распространяется и на химически связанную воду: количество химически связанной воды определяется концентрацией затворенного цементного теста и оно прямо пропорционально сумме весов цемента и воды, взятых при затворении цементного теста.

Институт строительных материалов
и сооружений АН Армянской ССР

Поступило 18 XII 1952

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Стольников В. В. и Лавринович Е. В. Седиментационные процессы в бетонной смеси и их влияние на формирование структуры бетона и его водонепроницаемость. Известия ВНИИГ, т. 47, 1952.
2. Симонов М. З. Цемент Каспского завода. Журн. „Техника и строительство“, №№ 1—2, 1932.
3. Штаерман Ю. Я. Центрофугированный бетон. Тифлис, 1933.
4. Саталкин А. В. и Кубланова М. Б. Влияние поверхностно-активных веществ на цементы разного минералогического состава. ДАН СССР, т. LXXVII, № 4, 1951.
5. Саталкин А. В. и Кубланова М. Б. Влияние добавок поверхностно-активных веществ на основные свойства цементных растворов и бетонов. Журн. Прикладной химии, т. XXIII, № 10, 1950.
6. Бутт Ю. М. и Беркович Г. М. Исследование влияния некоторых органических добавок на свойства цемента. Труды НИИЦЕМЕНТ, вып. 3, Москва, 1950.
7. Гудович Л. А. Установление оптимального и предельного содержания сернистого ангидрида в поргидроцементе. Труды Гипроцемент, вып. XIII, М.—Л., 1950.
8. Скрамтаев Б. Г. Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси. Москва, 1936.
9. Мак-Миллан Ф. Р. Основные принципы приготовления бетона. Под редакцией и с дополнением А. Н. Адамовича и Л. В. Митгарца, М.—Л., 1935.
10. Некрасов В. В. Изменения объема системы при твердении гидравлических вяжущих. Известия АН СССР, ОТН, № 6, 1945.
11. Завриев К. С. и Симонов М. З. Проектирование составов бетона. Первое изд. в 1942 и второе в 1948, Тбилиси.

Մ. Զ. ՍԻՄՈՆՈՎ

ՍԵԴԻՄԵՆՏԱՑԻՈՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԸ ՑԵՄԵՆՏԱՅԻՆ ԽՄՈՐԻ ՄԵՋ ԵՎ ՆՐԱՆՑ
ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ բեռաններում կիրառվող խառնվածքային ունեցող ցեմենտային սուսպենզիայի սեդիմենտացիոն ծավալը կախված է ոչ թե երկրաչափական, այլ ֆիզիկո-քիմիական գործոններից և որ սեդիմենտացիոն ծավալում պահվող ջրի քանակը ուղիղ համեմատական է չաղախման ժամանակ վերցված ջրի և ցեմենտի կշիռների գումարին։ Օգտագործելով զանազան էլեկտրոլիտներ կամ օրգանական և անօրգանական ծագում ունեցող զանազան հալելույթներ, կարելի է զեկալարել սեդիմենտացիոն պրոցեսները։ Կապ գոյություն ունի ցեմենտի խմորի մեջ կատարվող սեդիմենտացիոն պրոցեսների և կոպակցման ժամկետների, ցեմենտի ամրության և նույնիսկ ցեմենտի հետ քիմիապես կապված ջրի քանակի միջև։

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Л. А. Захаров

Термическая диссоциация сульфата кальция в гажевых
портландцементных сырьевых смесях

Гажа является осадочной породой, которая представляет собой чрезвычайно тонкодисперсную механическую смесь глины и гипса с примесями известняка, гальки и органических загрязнений. В породе значительное место занимают коллоидно-дисперсные минералы, составляющие глинистую субстанцию. До настоящего времени вопрос о генезисе и составе коллоидно-дисперсных минералов в гаже продолжает оставаться недостаточно выясненным.

Изучение минералов глинистой субстанции гажы при помощи термического анализа дало кривую нагревания и обезвоживания с двумя эндотермическими остановками при 190—600°, что является характерным для монотермита [1].

Петрографическое изучение целого ряда шлифов исследованных проб гажы показало, что последняя состоит из кристаллов гипса, редких кристаллов кварца, плагиоклаза, еще реже—кристаллов рудного минерала (магнетита), сцементированных бурой глинисто-мергелистой массой. Кристаллы гипса таблитчатого габитуса. Средний размер кристаллов 0,1×0,1 мм, максимальный—0,27×0,13 мм.

До сего времени гажа рассматривалась, как местное специфическое сырье, годное для производства одних лишь вяжущих веществ.

Однако вполне возможно, как это показано в работе [4], гажу использовать для одновременного получения серной кислоты и портландцемента—более совершенного вяжущего, чем те, которые обычно получают из упомянутого вида сырья.

В случае комплексного использования гажы в указанном направлении, составляется так называемая гажевая портландцементная смесь из гажы и корректирующих добавок.

Изучение гажы показало, что при вполне достаточном содержании глины гажа не содержит необходимого, для указанного производства, количества сульфата кальция, почему и предусматривается нами корректировка смесей природным высококачественным гипсом. Введение гипса дает возможность выравнивания цементных модулей с одновременным повышением процента SO_2 в газовой фазе.

Средний химический состав геологически опробованного месторождения гажы, с которой пришлось работать, приводится в таблице 1.

Таблица 1

С о с т а в	В пересчете	
	на сухое (проц.)	на обезвоженное* (проц.)
Кристаллиз. влага	14,90	—
П. п. п.	4,12	—
SiO ₂	12,58	15,54
Al ₂ O ₃	4,54	5,61
Fe ₂ O ₃	2,21	2,72
CaO	27,00	33,35
MgO	0,85	1,04
SO ₃	32,75	40,45
Прочее	1,05	1,29
Сумма	100,00	100,00
CaSO ₄	55,69	68,78
CaSO ₄ ·2aq	70,42	—

$$\text{Модули: } n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,87, \quad p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2,06,$$

$$\text{КН} = \frac{\text{CaO} - (1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{ Fe}_2\text{O}_3)}{2,8 \cdot \text{SiO}_2} = 0,49.$$

В качестве остальных вспомогательных компонентов для корректировки цементных модулей были приняты следующие:

1. Спонгиолит (кремнеземный компонент),
2. Зола углистых сланцев (глиноземный и одновременно кремнеземный компонент),
3. Колчеданные огарки.

В табл. 2 приводится химический состав корректирующих добавок.

При диссоциации содержащегося в гажевой портландцементной сырьевой смеси сульфата кальция, получается окись кальция и сернистый газ, который может быть переработан на серную кислоту; в продолжающемся процессе, образовавшаяся окись кальция реагируя с имеющейся в гаже глиной, в результате спекания превращается в цементный клинкер.

Установлено, что окислы кремния, алюминия и железа каталистически действуют на процесс разложения сернокислого кальция.

При этом указанное действие еще более усугубляется в присутствии весьма незначительного количества углерода, введенного

* Обезвоживание гажы производилось при температуре 710—730°.

Таблица 2

Показатели	Г и пс*		Спонгиодит	Зола угл. стых слан- цев*	Колчедан- ные огарки
	на сухое (проц.)	на обезво- жен. (проц.)	на сухое		
Химический состав					
кристал. влага	19,43	—	—	—	—
П. п. п.	1,63	—	2,38	—	2,63
SiO ₂	0,40	0,51	90,20	53,97	32,97
Al ₂ O ₃	0,08	0,10	3,63	40,25	5,78
Fe ₂ O ₃	0,05	0,06	1,27	0,70	55,93
CaO	32,95	41,75	0,63	1,78	0,58
MgO	0,24	0,30	0,18	следы	0,16
SO ₃	45,22	57,28	0,98	следы	1,95
Na ₂ O+K ₂ O	—	—	—	3,30	—
Прочее	—	—	0,73	—	—
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
CaSO ₄	76,89	97,40	—	—	—
CaSO ₄ ·2aq	97,22	—	—	—	—
Модули					
п		3,19	18,41	1,32	0,53
р		1,67	2,86	57,50	0,10

в шихту в строго определенной пропорции. (Эффект введения в смесь восстановителя-углерода исследовался нами на коксе.)

С этой точки зрения представляет интерес исследование термической диссоциации гаж в портландцементных сырьевых шихтах.

Так как степень термического разложения смеси, в присутствии углерода, и качество твердого остатка реакции (клинкера) существенно зависят от относительного количества содержащихся в шихте окислов кремния, алюминия и железа, то представляло интерес исследование влияния этих соединений, вводимых в сырьевую смесь, в соотношениях принятых в обычной практике производства портландцемента.

Задаваемые значения кремнеземного и глиноземного модулей колебались в пределах:

$$n = 1,8 \div 3,6; \quad p = 1,0 \div 3,5.$$

Коэффициент насыщения кремнекислоты известью при расчетах смесей был принят неизменным, а именно:

$$KH = 0,90.$$

В интервале заданных значений кремнеземного модуля было обра-

* Обезвоживание гипса и озоление углистого сланца производилось при температуре 800–820°.

зовано семь групп смесей; каждая группа при постоянном кремнеземном модуле рассчитывалась в принятых пределах на шесть значений глиноземного модуля. Таким образом были образованы сорок три портландцементные сырьевые смеси, каковые и подверглись исследованию.

Из указанного количества сырьевых смесей одна смесь являлась основной, как составленная лишь по KH ; остальные же смеси представляли собой основную смесь, откорректированную при различных значениях n и p .

Изучение диссоциации велось в токе газовой смеси, составленной из азота и незначительного объема кислорода (1%), пропускаемой в строго определенном количестве через реакционное пространство электрической печи сопротивления.

Температурный интервал изучения реакции разложения сернокислого кальция был принят в пределах от 800 до 1400°.

Степень диссоциации определялась по количеству сульфидной и сульфатной серы в обожженных таблетках (образцах).

Результаты изучения термической диссоциации сульфата кальция в гажевых портландцементных сырьевых смесях представлены на фигурах 1 и 2.

На фиг. 1 гажевые смеси представлены одной характерной кривой, показывающей процесс диссоциации CaSO_4 , происходящий в основной смеси.

Кривые диссоциации остальных сорока двух смесей идентичны и располагаются в непосредственной близости от приведенной кривой, по обе ее стороны (не приводятся во избежание загромождения графика).

Обращаясь к кривым на фиг. 1 прежде всего следует отметить высокую степень диссоциации сернокислого кальция в гажевых сырьевых смесях по сравнению с аналогичными смесями из чистых гипсов [2].

Разложение сульфата кальция в своей основной массе заканчивается при 1100° (без каких-либо следов оплавления). При этом хорошо заметное выделение сернистого газа при 900°, весьма усиливается при 1000°, переходя в бурное при 1100°. Подъем температуры до 1200° и выше дает, как правило, увеличение разложения всего на несколько процентов.

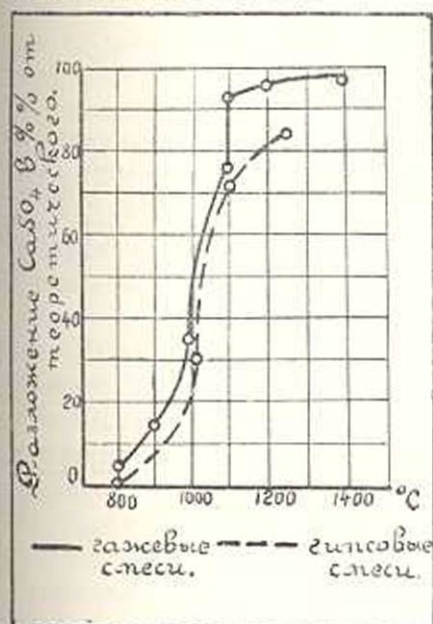
Дальнейшее рассмотрение тех же кривых показывает, что направление реакции разложения сульфата кальция в портландцементных сырьевых смесях из гаж, идентично таковой же реакции в аналогичных смесях, составленных на базе чистых природных гипсов [2].

Приведенное на фиг. 2 семейство кривых устанавливает зависимость степени разложения сульфата кальция гажевых портландцементных сырьевых смесей от значений их глиноземного модуля, при постоянных коэффициенты насыщения, кремнеземном модуле и

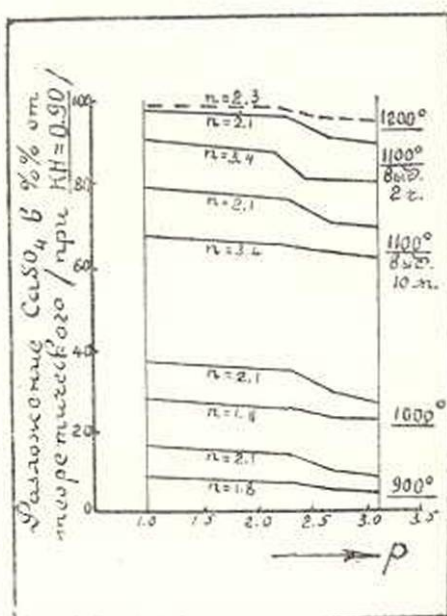
температуре. При этом каждая пара кривых для данной температуры является пограничной; кривые для остальных значений кремнеземного модуля (в принятых пределах) идентичны указанным пограничным кривым и не приводятся во избежание загромождения.

В данных исследованиях резче, чем при случаях с чистыми гипсами [2], выявилось благоприятное влияние окиси железа на разложение сульфата кальция в присутствии кремнезема, глинозема и углерода, причину чего следует искать в природе самой гаж.

Как уже отмечалось выше, последняя является естественной, весьма однородной и тонкодисперсной смесью гипса с глиной, в которой химические процессы диссоциации протекают более совершенно, чем в грубых, искусственно приготовленных механических смесях чистых гипсов с глиной.



Фиг. 1



Фиг. 2

Переходя к непосредственному рассмотрению кривых на фиг. 2, замечаем определенную закономерность: с увеличением величины глиноземного модуля уменьшается степень диссоциации сернокислого кальция в сырьевой смеси. При этом плавное понижение кривой, как правило, резко обрывается в интервале.

$$p \approx 2,3 \div 2,7.$$

Указанная закономерность обосновывает предложения ряда исследователей о необходимости обратить особое внимание на гаж, бедные гипсом [3].

Полученные в результате термического разложения гажевых портландцементных смесей твердые остатки реакции—клинкеры, мо-

гут быть охарактеризованы по своему химическому составу, петрографическому строению и физико-механическим свойствам, как нормальные, аналогичные получаемым на базе обычного цементного сырья.

Среднее значение (по 43 цементам) пределов прочности раствора в малых образцах месячного возраста составило:

при сжатии— 374 кг/см^2 ,
при растяжении— 24 кг/см^2 .

Максимальная прочность:

при сжатии— 540 кг/см^2 ,
при растяжении— 33 кг/см^2 .

Институт стройматериалов и сооружений
АН Армянской ССР

Поступило 24 VII 1952

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Циглер Б. С. Глиногипсы и их использование в строительстве. Ростов н/Д, 1949.
2. Рояк С. М., Гершман М. И. и др. Сб. Труды ВНИИ, вып. 10, Ленинград, 1935.
3. Будников П. П. и Мchedлов-Петросян О. П. ДАН СССР, том LIX, № 4, 1948.
4. Захаров Л. А. Известия АН Армянской ССР (серия ФМЕТ наук), том V, № 1, 1952.

Լ. Յ. Զախարով

ԿԱԼՑԻՈՒՄԻ ՍՈՒԼՖԱՏԻ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԴԻՍՈՑԻԱՑԻԱՆ ԳԱԶԻ ՊՈՐՏԼԱՆԴ-ՑԵՄԵՆՏԱՅԻՆ ՀՈՒՄՔԱՅԻՆ ԽԱՌՆՈՒՐԴՆԵՐՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգվածում քննարկվում է գաջի բազայի վրա կազմված պարականոցեմենտային հումքային խառնուրդներում կալցիումի սուլֆատի ջերմային դիսոցիացիայի հարցը:

Յույց է արված, որ՝

1. Գաջի հումքային խառնուրդներում կալցիումի սուլֆատի դիսոցիացիան բնթանում է ավելի լրիվ և ավելի ցածր ջերմաստիճանում, քան մաքուր դիսոցիացիայի համանման խառնուրդներում:

2. Երկաթօքսիդը սիլիկատի, կալցիումի և ածխածնի ներկայությամբ կալցիումի սուլֆատի քայքայման վրա գազային հումքային խառնուրդներում ավելի բարենպաստ է ազդում, քան բնական դիսոցիացիայի համանման խառնուրդներում:

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Л. Т. Кулоян

Исследование полевой сушки фрезеторфа
в климатических условиях Армянской ССР

1. *Цель и задачи исследования.* По данным главторфа [1], средняя товарная влажность фрезеторфа по основным торфопредприятиям страны за 1934—1944 гг. колебалась в пределах $W=47-51\%$.

Сжигание такого высоковлажного топлива сопряжено с большими тепловыми потерями. Брикетирование фрезеторфа при оптимальной влажности порядка $W=10-16\%$ осуществляется после искусственной тепловой досушки сырья, что значительно удорожает продукцию и связана с большими капитальными затратами. Так, например, на Ореховском торфобрикетном заводе, где сушка осуществляется в паровых сушилках, расход тепла на 1 кг влаги составляет 1500—1600 ккал, его удельный вес в себестоимости брикетов достигает до 30% [2].

Учитывая эти обстоятельства, автором была исследована возможность создания упрощенной технологии брикетирования, базирующейся на естественной сушке фрезеторфа в благоприятных климатических условиях Армении.

Исследование полевой сушки фрезеторфа было организовано для Гиллийского торфяника в 1951 и 1952 гг. Начальная толщина сохнущего слоя колебалась в пределах 5—50 мм. Цикл сушки в основном укладывался в один день и составлял 10,5 часов. Небольшое количество наблюдений было проведено с двухдневными циклами, при глубине фрезерования 30 мм и выше. Одновременно с исследованием полевой сушки фрезеторфа были изучены все основные климатические факторы района. Исследование сушки фрезеторфа базировалось на современной теории сушки твердых тел вообще (П. С. Коссович, А. В. Лыков) и на теории и практике сушки торфа в частности (Д. А. Бегак, В. Г. Горячкин, С. В. Курдюмов, С. А. Сидякин и др.).

II. *Результаты исследования полевой сушки фрезеторфа.* 1. Исследованием было установлено, что начальная влажность фрезеторфа колеблется в пределах 66—75%. Максимальные значения влажности были зафиксированы в дни, сопровождаемые заметными осадками (больше 1 мм). За период наблюдений уровень грунтовых вод

(считая от поверхности нетронутой залежи) колебался в пределах 60—100 см, причем не было обнаружено заметной связи между колебаниями уровня грунтовых вод и значением начальной влажности торфа.

Отчасти этим объясняется, что с увеличением глубины фрезеруемого слоя влажность заметно не повышается.

Результаты наблюдений дают основание полагать, что начальная влажность фрезеторфа будет колебаться от цикла к циклу в незначительных пределах и ее среднее значение возможно будет меньше 70%. Следует учесть, что уровень воды в водоприемнике торфяника постепенно снижается. Это обстоятельство окажет весьма благоприятное влияние, если только осушительная система будет улучшена и расширена.

В условиях полевых исследований оказалось трудным достаточно правильно оценить влияние влажности сохнущего слоя на интенсивность сушки.

На основании полевых наблюдений и лабораторных исследований, а также более обстоятельных исследований Лыкова [3, 4] и Бегака [5], можно прийти к заключению, что сушка фрезеторфа в подавляющей своей части протекает за период убывающей скорости (скорость сушки оказывается зависящей от влажности сохнущего материала).

2. Наблюдения на Гиллийском торфянике подтвердили степенной характер зависимости интенсивности сушки от толщины слоя [1].

Однако нас интересовало не столько абсолютное значение интенсивности сушки, сколько достижимые величины конечной влажности.

С увеличением толщины слоя интенсивность сушки растет, при этом увеличивается и требуемое количество удаляемой влаги для достижения заданной конечной влажности.

На фиг. 1. представлены кривые зависимости интенсивности сушки и количества удаляемой влаги от толщины слоя:

$$i = ch^n, \quad (1)$$

$$Q = kh, \quad (2)$$

где i — интенсивность сушки в $\text{см}/\text{см}^2$ сутки (или, что почти то же самое, — $\text{г}/\text{см}^2$ сутки),

h — толщина сохнущего слоя,

c и p — постоянные, зависящие от климатических условий наблюдений,

Q — количество удаляемой влаги для достижения заданной конечной влажности в $\text{г}/\text{см}^2$.

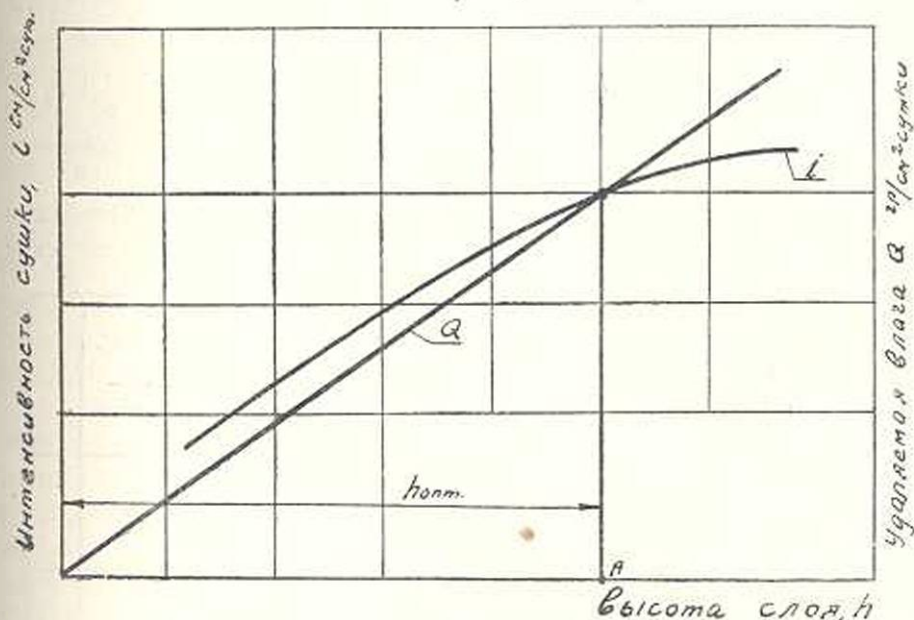
Абсцисса точки пересечения этих линий представляет оптимальную толщину слоя $h_{\text{опт}}$, при которой достигается заданная конечная влажность за цикл.

Если толщина слоя, т. е. глубина фрезерования $h > h_{\text{опт}}$, то

$Q > i$ и конечная влажность будет выше заданной, если же $h < h_{\text{опт}}$, то удаляемая влага будет меньше, чем это соответствует потенциальным возможностям сушки и последняя будет использована не рационально.

Оптимальное значение толщины слоя $h_{\text{опт}}$ можно найти совместным решением (1) и (2). Так как при $h = h_{\text{опт}}$, $i = Q$, то

$$h_{\text{опт}} = \sqrt[n-1]{\frac{k}{c}}.$$



Фиг. 1. Графический метод определения оптимальной высоты сохнущего слоя. Как показывают исследования, величина n всегда меньше единицы. Обозначая $m = n - 1$, получим:

$$h_{\text{опт}} = \sqrt[m]{\frac{c}{k}}. \quad (3)$$

Величину k можно определить из уравнения (2), полагая $Q = 1$ и $h = 1$, т. е. она представляет то количество влаги, которое подлежит удалению из единицы объема для достижения конечной влажности равной w_2 .

Нетрудно убедиться, что величина k может быть выражена формулой:

$$k = \frac{(w'_1 - w'_2) \gamma_0}{w'_1 + 100} \quad (4)$$

где γ_0 — вес единицы объема торфа при начальной влажности, w'_1 и w'_2 — начальная и конечная абсолютные влажности.

Величины c и m определяются экспериментальным путем. По нашим данным (фиг. 2), зависимость интенсивности сушки от толщины слоя изображается 2 кривыми.

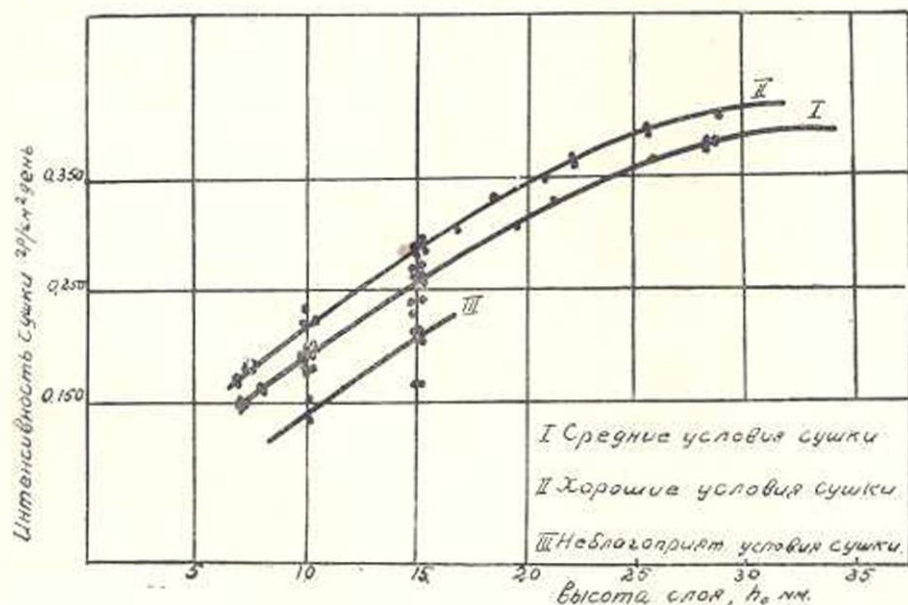
Первая соответствует средним условиям сушки и характеризуется величинами $p=0,6$ и $s=0,48 \div 0,5$, вторая — хорошим условиям сушки и характеризуется величинами $p=0,7$ и $s=0,46 \div 0,48$.

Экспериментальные точки, относящиеся к сентябрю или к дням, сопровождающимся осадками, оказались вне пределов этих кривых.

Значения p и s , полученные в результате обработки данных наблюдений, являются приближенными, так как сушка осуществлялась при различных состояниях влажности материала.

Среднее значение величины k при условии, что $w_1' = 233\%$ (т. е. $w_1' = 70\%$) и $w_2' = 17,6\%$ (т. е. $w_2' = 15\%$), составит 0,256. Для средних условий сушки оптимальная толщина, согласно формуле (3), будет равна 6 мм. В действительности конечная влажность $w_2 = 15\%$ была достигнута во всех тех опытах, где высота слоя равнялась 6—7 мм.

Очевидно, что значение $h_{\text{опт}}$ проще определить графическим методом. По опытным кривым $i = \varphi_1(h)$ для средних климатических



Фиг. 2. Интенсивность сушки фрезеторфа в зависимости от высоты сохнущего слоя.

условий данного массива, отдельно за каждый месяц, и прямым $Q = \varphi_2(h)$ для различных значений w_2 легко найти средние величины $h_{\text{опт}}$ для достижения заданной конечной влажности.

Указанным методом или уравнениями (3) и (4) можно решить и обратную задачу — определить конечную влажность при заданном $h_{\text{опт}}$.

Учитывая, что скорость сушки v выражается формулой

$$v = \frac{w_1' - w_2'}{\tau} \text{ процент/час,} \quad (5)$$

где τ — продолжительность сушки в часах, получим:

$$k = \frac{\tau v \gamma_0}{100 + w_1} \quad (6)$$

Из (3) и (6) можно определить также продолжительность сушки τ при заданных $h_{\text{от}}$ и v .

Данные наших наблюдений показывают, что для достижения конечной влажности в однодневных циклах, порядка $w_2 = 15-20\%$, начальная толщина сохнущего слоя должна колебаться в пределах 6—10 мм, а скорость сушки — в пределах $4,4 \div 5,4\%$ час, в зависимости от начальной влажности торфа и метеорологических условий.

Результаты сушки для двухдневных циклов показывают, что при благоприятных климатических условиях конечная влажность достигает величины $w_2 = 20\%$ при начальной толщине слоя $h_0 = 20$ мм.

3. Сопоставление полученных результатов с основными метеорологическими факторами сушки показывает, что влияние последних на интенсивность или скорость сушки не выступает явной закономерностью, вследствие чего попытка составления каких-либо количественных связей эмпирического характера не приводит к положительным результатам.

Сложный характер связи, повидимому, обусловлен следующими причинами: а) из-за сравнительно невысокой начальной влажности сушка осуществлялась преимущественно в период убывающей скорости, характеризуемой более слабой зависимостью от названных метеорологических факторов [5], б) подавляющее большинство наблюдений было проведено в условиях солнечной сушки, что еще больше усугубляет сложность указанной зависимости.

Высокая интенсивность солнечной сушки сопровождается сложным и изменяющимся в течение суток тепловым балансом сохнущего материала.

Температура поверхности сохнущего материала в значительный период времени превышает температуру окружающего воздуха. Температура на поверхности торфяника может подняться до 50°C и даже выше, тогда как максимальная температура в приземном слое воздуха достигает до $30-32^\circ\text{C}$. Для исследуемых сезонов 1951—1952 гг. разность температур залежи и приземного слоя воздуха колебалась в пределах $8,7 \div 29,2^\circ\text{C}$ на поверхности и $1,1 \div 8,4^\circ\text{C}$ на глубине 5 мм.

Понятно, что для указанного периода времени дефицит влажности, рассчитанный по температуре сохнущей поверхности, не может являться мерилем интенсивности сушки.

Учитывая, что в условиях интересующего нас района достижение желаемой конечной влажности, порядка $w_2 = 15 \div 20\%$, можно ожидать в основном при радиационном режиме сушки, представляет известный интерес определение степени использования суммарной радиации.

Последняя, как известно, представляет собой отношение израсходованного тепла на сушку к поступившему количеству суммарной радиации солнца и выражается зависимостью:

$$K_c = \frac{Q' \tau}{I + i}, \quad (7)$$

где Q' — интенсивность сушки (испарения) в $\text{кг}/\text{см}^2 \text{ час}$,
 τ — полная теплота парообразования. Она может быть принята равным порядка 600 $\text{ккал}/\text{кг}$,

$I + i$ — интенсивность прямой и рассеянной радиации в $\text{ккал}/\text{см}^2 \text{ час}$.

В связи с тем, что по имеющимся у нас данным можно было определить лишь суточные суммы суммарной радиации, были получены усредненные величины K_c для однодневных циклов.

Как и следовало ожидать, коэффициент использования суммарной радиации оказывается тем меньше, чем тоньше слой.

Так, для слоя толщиной $h_0 = 6,5 \div 10 \text{ мм}$, $K_c = 24,5\%$, а при $h_0 = 14 \div 15 \text{ мм}$, $K_c = 35,5\%$.

Пользуясь усредненными данными для величины K_c можно ориентировочно рассчитать ожидаемую среднедневную интенсивность солнечной сушки по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{для } h_0 &= 6,5 \div 10 \text{ мм} \\ Q' &= 4,1(I+i)10^{-4} \text{ г}/\text{см}^2 \text{ день}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{для } h_0 &= 14 \div 15 \text{ мм} \\ Q' &= 5,9(I+i)10^{-4} \text{ г}/\text{см}^2 \text{ день}. \end{aligned} \quad (9)$$

III. *Среднее вероятное количество циклов в сезоне.* Таким образом, при тонкослойном фрезеровании конечная влажность в однодневных циклах достигает значения порядка $w_2 = 15 - 20\%$, что приемлемо с точки зрения последующего брикетирования такого сырья без искусственной сушки.

Однако для обеспечения сезонного сбора фрезеторфа такой влажности необходимо установить вероятное, т. е. ожидаемое количество однодневных циклов в сезоне. С этой целью мы пытались использовать предложенные различными авторами „Погодные“ коэффициенты, суммарно характеризующие влияние комплекса метеорологических факторов на операцию сушки. Они оказались не совсем приемлемы для наших целей в силу того, что характеризовали сушку кускового торфа [5] или фрезеторфа сравнительно высокой влажности [6].

Следует отметить также, что в основу наиболее распространенного „погодного“ коэффициента МТИ принят дефицит влажности воздуха, что не совсем правильно и неоднократно подвергалось критике [7 и др.]. Для радиационного режима сушки, что является доминирующим в рассматриваемых нами условиях, использование

упомянутого коэффициента тем более не целесообразно. Метод, предложенный Степановым („по типам погоды“ [6]), хотя и не встречает каких-либо возражений, но для наших целей он слишком громоздкий.

Все это заставило нас попытаться определить вероятное количество циклов сушки в течение сезона путем непосредственного сопоставления значений основных метеофакторов исследованных периодов с их многолетними данными.

Для сравнения со средними многолетними данными были использованы те „предельные“ значения метеорологических факторов, при которых были достигнуты желаемые результаты сушки в исследованных нами сезонах.

Предельные значения метеофакторов не могут играть роль критериев сушки как в силу недостаточности наблюдаемых сезонов, так и главным образом отсутствием четкой связи между значениями этих факторов и интенсивностью сушки.

Было установлено, что солнечная радиация обеспечит желаемую конечную влажность при тонкослойном фрезеровании торфа в течение всего сезона сушки, кроме первой половины мая и второй половины сентября.

Наблюдения показывают, что благоприятных результатов солнечной сушки можно ожидать на всем протяжении сезона за исключением пасмурных дней и дней сопровождавшихся осадками. Известно также, что осадки в пределах не больше 0,5 мм в сутки могут даже благоприятно влиять на результаты сушки [5].

Исходя из изложенного, вероятное количество дней сушки R можно определить согласно зависимости

$$R = A_1 + A_2 - B_1 \quad (10)$$

где A_1 — среднее многолетнее значение числа дней без осадков,
 A_2 — среднее многолетнее значение числа дней со среднесуточными осадками $\leq 0,5$ мм,

B_1 — среднее многолетнее значение числа пасмурных дней.

Для исследуемого торфомассива ожидаемое количество однодневных циклов по (10) вполне достаточно для обеспечения сезонного сбора сырья.

Есть основание полагать, что отрицательное влияние осадков на следующий день сушки будет иметь место при среднесуточном количестве их 5 мм и более.

По дефициту влажности воздуха, вероятность положительных результатов для слоя фрезеторфа толщиной $h_0 = 5 \div 7$ мм по месяцам сезона составляет (в процентах):

май	июнь	июль	август	сентябрь
5,3	35	75	85	50

т. е. благоприятных результатов можно ожидать в течение 62 дней сезона сушки.

Анализ всех полученных нами данных показывает почти полную сходимость результатов для средних месяцев сезона и значительное расхождение для крайних месяцев (май и сентябрь). Более обстоятельное исследование потенциальных возможностей сушки этих месяцев показывает, что:

а) несмотря на высокое значение среднемесячной суммарной радиации солнца в мае, последний является наиболее неустойчивым периодом для сушки. Температурные условия, влажность воздуха и осадки исключают возможность эффективной сушки в первой половине месяца,

б) из-за низкой среднесуточной радиации вряд ли может быть использована вторая половина сентября.

Как показывают наблюдения положительных результатов можно ожидать и в условиях теневой сушки за июль и август месяцы.

Неблагоприятные дни сентября могут быть компенсированы "хорошими" днями теневой сушки в июле и августе.

Расчеты показывают, что среднее вероятное количество однодневных циклов обеспечит сезонный сбор сырья для работы брикетного завода средней мощности.

В ы в о д ы

1. В метеорологических и гидрологических условиях Гиллийского торфяника можно достичь конечной влажности фрезеторфа порядка $w_2 = 15 - 20\%$ при тонкослойном фрезеровании ($h_0 = 6 - 10$ мм) и однодневных циклах сушки.

2. На основании детального анализа всех основных метеорологических факторов в свете результатов исследования полевой сушки в сезонах 1950—1951 гг., вероятное количество однодневных циклов обеспечит сбор сырья для работы брикетного завода средней мощности.

3. Для построения технологического процесса тонкослойного фрезерования рекомендуется организовать трехсменную работу в течение сезона с тем, чтобы в целях полного использования солнечной радиации, уборка просушенного торфа и фрезерование залежи осуществлялись в вечерние и ночные часы суток.

4. Получены зависимость и дан графический метод для определения оптимальной глубины фрезерования. Получены также уравнения для определения среднедневной интенсивности солнечной сушки.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 24 X 1952

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Варенцов В. С. Фрезерный торф. Госэнергоиздат, 1947.
2. Прохоров Н. И. Брикетирование торфа на заводах малой мощности. Изд. ММТП РСФСР, 1947.

3. Лыков А. В. Процесс сушки торфа. „Торфяное дело“, № 7, 1934.
4. Лыков А. В. Динамика процесса сушки торфа. „За торф. индустрию“, № 7, 1935.
5. Бегак Д. А. Основы расчета процесса полевой сушки торфа. ГОНТИ, 1939.
6. Степанов М. Р. Определение количества циклов фрезеторфа в зависимости от погодных условий. „За торф. индустрию“, № 9, 1935.
7. Тополянский Н. М. Методы метеорологических исследований на полях сушки торфа. М.—Л., 1951.

Լ. Տ. Ղուլոյան

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՍՍՌԻ ԿԼԻՄԱՏԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՖՐԵԶԵՏՈՐՖԻ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ԶՈՐԱՑՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգովածում քննության է տանված Հայաստանի բարենպաստ կլիմայական պայմաններում ֆրեզետորֆի բնական չորացման վրա հիմնված՝ նրա բրիկեացման ավելի պարզ տեխնոլոգիա ստեղծելու հնարավորությունը:

Հետազոտությունը տվել է հետևյալ հիմնական արդյունքները:

1. «Գիլի» տորֆադաշտի կլիմայական և հիդրոլոգիական պայմաններում չորացման միօրյա ցիկլի ընթացքում և բարակաշերտ ֆրեզետորֆի դեպքում ($H_0 = 6 - 10$ մմ) ֆրեզետորֆի խոնավությունը կարելի է հասցնել մինչև 15 — 20 տոկոսի:

2. Արտածված են ֆորմուլաներ և տրված է գրաֆիկ եզանակ՝ ֆրեզետորֆի օգտիմալ խորությունը որոշելու համար: Ստացված են ֆորմուլաներ արեգակնային չորացման օրական միջին ինտենսիվությունը որոշելու համար:

3. Հետազոտության տվյալների և հիմնական օգերևութաբանական գործոնների համեմատական վերլուծության հիման վրա՝ միօրյա ցիկլերի հավանական քանակը միջին հզորության բրիկետային գործարանը կապահովի անհրաժեշտ հումքով:

