

## ОБ ИЗМЕНЕНИИ ОБЪЕМНОГО ВЕСА, ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ГАЗОКУКЕРМИТА В БЛОКАХ, ЗАЛИТЫХ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФОРМАХ

В. РАЙДНА,

кандидат технических наук

Х. ЭЭСОРГ

Свойства газокукермита \* в строительных деталях, залитых в вертикальных формах в случае значительного их размера в направлении заливки, могут существенно изменяться по высоте заливки. Кроме того, в процессе изготовления блоков газокукермита значительно уплотняется у стенок формы, что также может быть причиной изменения его прочности и деформативных свойств в деталях. Поэтому в газокукермитовых деталях, залитых в вертикальных формах, распределение величин объемного веса, прочности и модуля упругости материала блока может иметь достаточно сложную картину.

В 1962 г. в Институте строительства и строительных материалов проводилось исследование прочностных и деформативных свойств газокукермитовых блоков, залитых в вертикальных формах. Блоки были изготовлены на Ахтмеском комбинате строительных материалов. Размеры испытанных блоков представлены на рис. 1. Для определения объемного веса и прочности на сжатие материала блоков, из них высверливались цилиндры  $\varnothing = h = 5$  см, которые испытывались в высушенном состоянии. Места высверливания цилиндров показаны на рис. 1.

Изменение объемного веса  $\delta\gamma$ , прочности  $\delta R_{\text{ц}}$  и модуля упругости  $\delta H$  на один погонный метр длины в направлении заливки блока определены по формулам:

$$\delta\gamma = \frac{\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}}{c}; \quad \delta R_{\text{ц}} = \frac{R_{\text{н}} - R_{\text{в}}}{c}; \quad \delta H = \frac{H_{\text{н}} - H_{\text{в}}}{c}, \quad (1)$$

где

$\gamma_{\text{в}}$ ,  $R_{\text{в}}$ ,  $H_{\text{в}}$  — средние значения объемного веса, прочности на сжатие и модуля упругости цилиндров, высверленных в точках 1 и 2 (см. рис. 1);

$\gamma_{\text{н}}$ ,  $R_{\text{н}}$ ,  $H_{\text{н}}$  — средние значения объемного веса, прочности на сжатие и модуля упругости цилиндров, высверленных в точках 4 и 5 (см. рис. 1);

$c$  — расстояние между точками 1 и 4 или 2 и 5 в направлении заливки.

На основании испытаний 40 газокукермитовых блоков, с объемным весом  $800 \div 1100$  кг/м<sup>3</sup>, средние значения изменения объемного веса и прочности на сжатие были  $\delta\gamma = 186$  кг/м<sup>3</sup> и  $\delta R_{\text{ц}} = 64$  кг/см<sup>2</sup> на 1 погонный метр длины в направлении заливки блока.

\* Газокукермитом называется газобетон на сланцезольном вяжущем.

Для детального исследования неоднородности газокукермита в пределах блока высверливались из одного блока цилиндры, диаметром 5 см, длиной больше 15 см, шагом 20 см в направлении длины (направление  $z$  на рис. 1) и шагом 6 см в направлении ширины (направление  $y$  на рис. 1). На этих цилиндрах определялись значения динамического модуля упругости  $H$  на основании собственных поперечных колебаний образцов. После определения модуля упругости эти цилиндры распиливались на части длиной по 5 см, которые, после высушивания при температуре 105—110° С, взвешивались для определения объемного веса и испытывались на сжатие.

На рис. 2, 3 и 4 изображены линии постоянных значений объемного веса  $\gamma$ , прочности на сжатие  $R_{\text{ц}}$  и модуля упругости  $H$ . Из рисунков видно, что в верхней части блока в направлении заливки величины  $\gamma$ ,  $R_{\text{ц}}$  и  $H$  изменяются сравнительно медленно, а в нижней части блока изменение величин  $\gamma$ ,  $R_{\text{ц}}$  и  $H$  значительно больше. У торцов величины  $\gamma$ ,  $R_{\text{ц}}$  и  $H$  имеют значительно большие значения, чем в средней части блока. Резкое увеличение этих величин у торцов объясняется уплотнением газокукермита у стенок формы во время изготовления блоков. В направлении толщины блока также было заметно уплотнение газокукермита у боковых поверхностей блока.

Средние значения в блоке объемного веса  $\gamma$ , прочности  $R_{\text{ц}}$  и модуля упругости  $H$ , определенные как средние арифметические результатов испытания цилиндров, высверленных из блоков согласно схеме на рис. 1, обозначаем буквами  $\bar{\gamma}'$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}}'$  и  $\bar{H}'$ . Более точно средние значения величин  $\gamma$ ,  $R_{\text{ц}}$  и  $H$  характеризуются интегральными величинами  $\bar{\gamma} = \frac{1}{V} \int_V \gamma dV$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}} = \frac{1}{V} \int_V R_{\text{ц}} dV$ ,  $\bar{H} = \frac{1}{V} \int_V H dV$ , где  $V = abh$  — объем блока, интегрирование производится по целому объему блока. Так как нахождение величин  $\bar{\gamma}$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}}$  и  $\bar{H}$  обычно практически затруднено или совсем невозможно, возникает вопрос, как величины  $\bar{\gamma}'$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}}'$  и  $\bar{H}'$  характеризуют действительные средние значения объемного веса  $\bar{\gamma}$ , прочности  $\bar{R}_{\text{ц}}$  и модуля упругости  $\bar{H}$ .

Согласно распределению величин  $\gamma$ ,  $R_{\text{ц}}$  и  $H$ , изображенных на рис. 2, 3 и 4, значения этих величин являются следующими:  $\bar{\gamma} = 983 \text{ кг/см}^3$ ,  $\bar{\gamma}' = 961 \text{ кг/м}^3$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}} = 146 \text{ кг/см}^2$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}}' = 140 \text{ кг/см}^2$ ,  $\bar{H} = 51500 \text{ кг/см}^2$  и  $\bar{H}' = 49100 \text{ кг/см}^2$ . Следовательно, по результатам испытаний образцов, высверленных по схеме на рис. 1, вычисленные значения объемного веса, прочности и модуля упругости  $\bar{\gamma}'$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}}'$  и  $\bar{H}'$  хорошо характеризуют действительные средние значения этих величин  $\bar{\gamma}$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}}$  и  $\bar{H}$ , отличаясь от последних меньше чем на 5%.

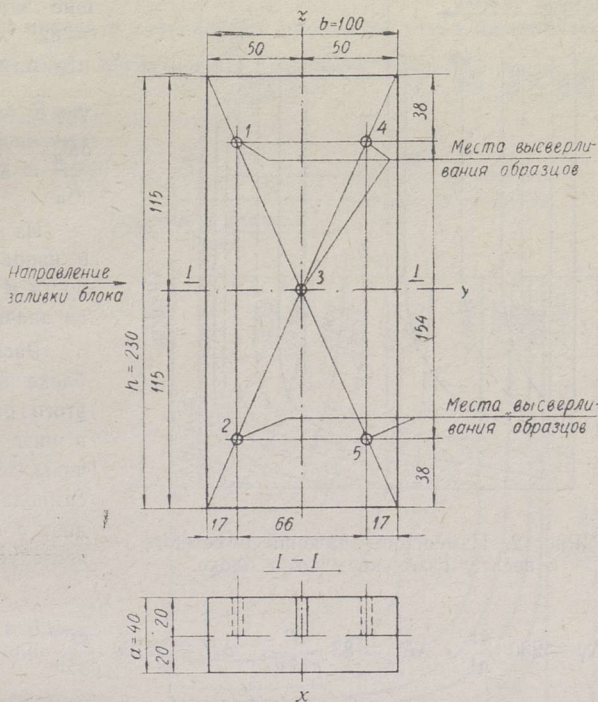


Рис. 1. Места высверливания образцов из блока и система координат на блоке.

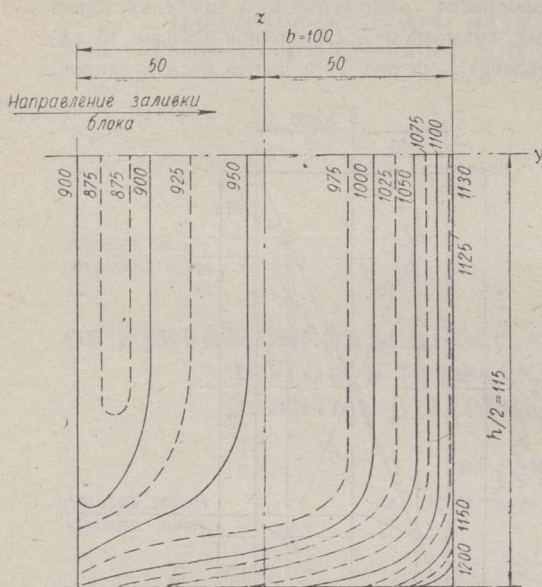


Рис. 2. Изменение значений объемного веса  $\gamma$  газокукермита в блоке.

$$\Delta\gamma = 230 \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}, \quad \Delta R_{\text{ц}} = 83 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \cdot \text{м}}, \quad \Delta H = 32700 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \cdot \text{м}} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta\gamma}{\gamma} = 23\%,$$

$$\frac{\Delta R_{\text{ц}}}{R_{\text{ц}}} = 57\% \quad \text{и} \quad \frac{\Delta H}{H} = 63,5\%.$$

Непостоянство величин модуля упругости газокукермита в направлении заливки блока оказывает влияние на распределение напряжений в блоке при его загрузении. При кратковременном загрузении запаренного газокукермита между напряжениями и деформациями существует приблизительно линейная зависимость

$$\sigma = H\varepsilon. \quad (2)$$

Предполагаем, что при загрузении поперечные сечения блока остаются плоскими; это значит

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 \xi + \varepsilon_2 \eta, \quad (3)$$

где  $\xi = \frac{x}{a}$ ,  $\eta = \frac{y}{b}$  — система координат (см. рис. 1),  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  — пока неизвестные параметры.

Используя распределение величин  $\gamma$ ,  $R_{\text{ц}}$  и  $H$ , изображенных на рис. 2, 3 и 4, по формулам (1) имеем следующие значения:  $\delta\gamma = 187 \text{ кг/м}^4$ ,  $\delta R_{\text{ц}} = 82 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{м}$ ,  $\delta H = 18700 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{м}$ , что в процентах от средних величин  $\bar{\gamma}$ ,  $\bar{R}_{\text{ц}}$  и  $\bar{H}$  составляет:  $\frac{\delta\gamma}{\gamma} = 19\%$ ;  $\frac{\delta R_{\text{ц}}}{R_{\text{ц}}} = 56\%$  и  $\frac{\delta H}{H} = 36\%$ .

Из вышеизложенного следует, что в направлении заливки значения прочности и модуля упругости увеличиваются значительно больше объемного веса

Распределение величин  $\gamma$ ,  $R_{\text{ц}}$  и  $H$  в блоке не является линейным; в силу этого разница значений величин верха и низа заливки (обозначаем эти величины, деленные на высоту заливки блока символами  $\Delta\gamma$ ,  $\Delta R_{\text{ц}}$  и  $\Delta H$ ) не совпадает с величинами  $\delta\gamma$ ,  $\delta R_{\text{ц}}$  и  $\delta H$ . Для исследуемого блока имеем

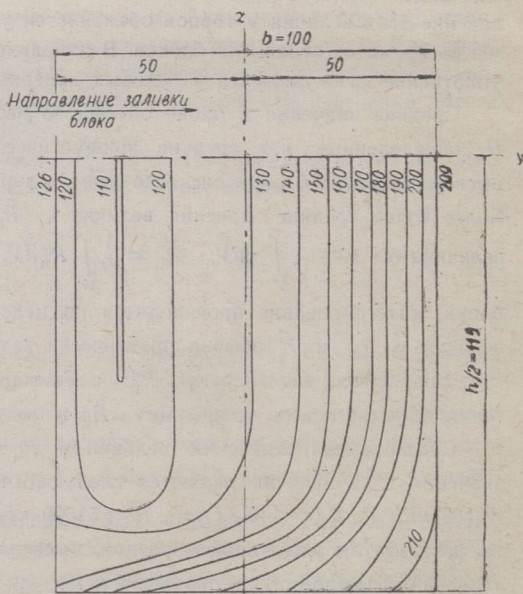


Рис. 3. Изменение значений прочности  $R_{\text{ц}}$  газокукермита в блоке.

Из выражений (2) и (3) следует

$$\sigma = H(\xi, \eta) (\varepsilon_0 + \varepsilon_1 \xi + \varepsilon_2 \eta). \quad (4)$$

Пусть внешняя нагрузка приложена в направлении продольной оси  $z$  блока с эксцентриситетами  $e_x$ ,  $e_y$  или, используя безразмерные величины,  $\omega_\xi = \frac{e_x}{a}$ ,  $\omega_\eta = \frac{e_y}{b}$ .

Из условий равновесия внешних и внутренних сил следует система уравнений для нахождения параметров  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$

$$I_{00}\varepsilon_0 + I_{10}\varepsilon_1 + I_{01}\varepsilon_2 = \bar{\sigma},$$

$$I_{10}\varepsilon_0 + I_{20}\varepsilon_1 + I_{11}\varepsilon_2 = \omega_\xi \bar{\sigma},$$

$$I_{01}\varepsilon_0 + I_{11}\varepsilon_1 + I_{02}\varepsilon_2 = \omega_\eta \bar{\sigma},$$

где

$$I_{mn} = \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} \xi^m \eta^n H(\xi, \eta) d\xi d\eta$$

$$m, n = 0, 1, 2.$$

$$\bar{\sigma} = \frac{P}{ab} \text{ — среднее напряжение в блоке,}$$

$P$  — внешняя нагрузка.

Подставляя найденные из системы уравнений (5), величины  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  в выражение (4), находим распределение напряжений в поперечных сечениях блока.

На рис. 5 изображена зависимость  $\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}$  от  $\eta = \frac{y}{b}$ , при  $z = 0$ , при центральном сжатии ( $\omega_\xi = \omega_\eta = 0$ ). Эта зависимость найдена на основании формулы (4) с учетом значений модуля упругости, полученных по рис. 4. На том же рисунке нанесена зависимость  $\frac{R_u}{\bar{R}_u}$  от  $\eta$  для детально исследованного блока.

Призмная прочность материала блока —  $R_{np}$ , благодаря влиянию влажности и масштабного фактора, не является равной цилиндрической прочности  $R_u$ . Обозначаем отношение призмной прочности газокукермита к цилиндрической прочности  $R_u$  буквой  $k$ , тогда

$$R_{np} = k R_u. \quad (6)$$

Среднее значение призмной прочности газокукермита в блоке обозначаем символом  $\bar{R}_{np}$ , которая является равной  $k \bar{R}_u$ .

При блоках из однородного материала прочность блока  $R_{бл}$  считается равной ее призмной прочности  $\bar{R}_{np}$ . При блоках, в которых материал является неоднородным, прочность блока может отличаться от средней призмной прочности  $\bar{R}_{np}$ .

Так как  $\bar{R}_{np} = k \bar{R}_u$ , можем на основании формулы (6) написать  $\frac{R_{np}}{\bar{R}_{np}} = \frac{k R_u}{k \bar{R}_u} = \frac{R_u}{\bar{R}_u}$ , следовательно, на рис. 5 вместо отношения  $\frac{R_u}{\bar{R}_u}$ , можно рассматривать отношение  $\frac{R_{np}}{\bar{R}_{np}}$ .

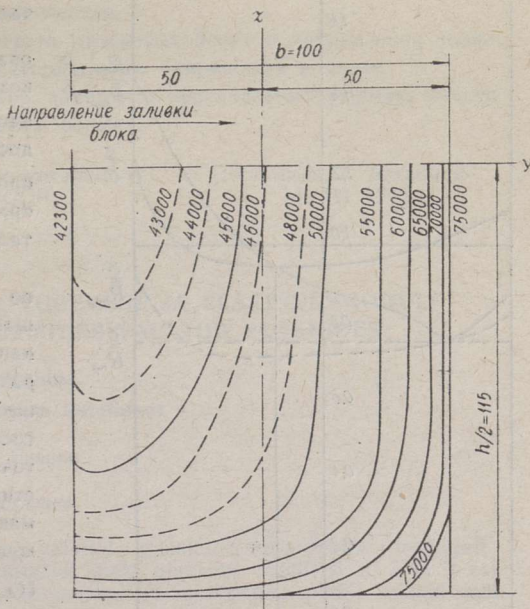


Рис. 4. Изменение значений модуля упругости  $H$  газокукермита в блоке.

Из рис. 5 видно, что при достижении среднего напряжения  $\bar{\sigma}$  в блоке, величины  $\bar{R}_{пр}$  в части блока, где  $\eta < 0,12$ , напряжения  $\sigma$  больше призмочной прочности материала блока  $R_{пр}$ , так как линия, изображающая зависимость  $\frac{R_{пр}}{\bar{R}_{пр}}$ , находится в этой

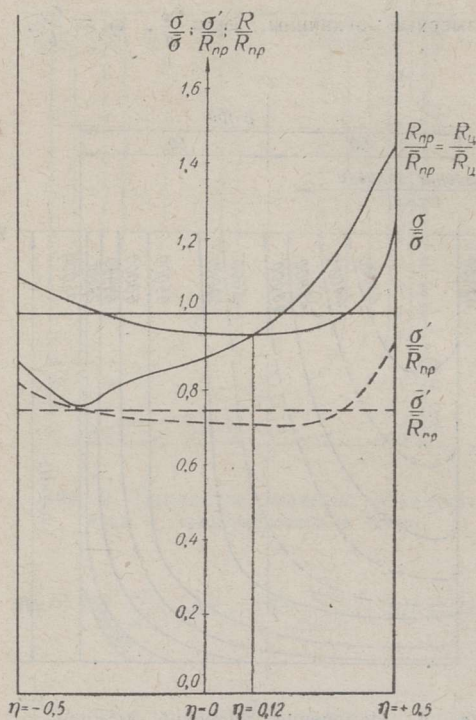


Рис. 5. Распределение напряжений  $\sigma$  и прочностей  $R_u$  в поперечном сечении блока, при  $z = 0$ .

жесткий  $\bar{\sigma}' = \frac{P'}{ab} = 0,74 \bar{R}_{пр}$  возникает опасность разрушения блока.

При медленном нагружении прочность блока может оказаться несколько больше вышеуказанной, так как перед разрушением возникают пластические деформации и в блоках можно ожидать перераспределения напряжений.

На основании испытания 40 газокермитовых блоков, залитых в вертикальных формах, коэффициент  $m = \frac{R_{бл}}{R_u}$  имеет значение 0,40, что примерно на 20% меньше величины этого коэффициента для газокермитовых блоков, залитых в горизонтальных формах. По данным Таллинского политехнического института<sup>2</sup>, для блоков, залитых в горизонтальных формах, коэффициент  $m$  имеет значение примерно 0,5.

## Выводы

1. В газокермитовых блоках заводского изготовления, залитых в вертикальных формах, материал в блоках не является однородным. Согласно данным исследований 1962 г., объемный вес и прочность блока в направлении заливки изменились в среднем  $186 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  и  $64 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$  на 1 логонный метр высоты заливки.

<sup>2</sup> См. научно-технический отчет: Gaaskukermiidist suurplokkide tugevuse kaudne määramine. Teostajad: K. Ollik, O. Roots, H. Remma, O. Vahelaid, TPI, Tallinn 1959. a.

части блока ниже линии  $\frac{\sigma}{\sigma'}$ . Следовательно, опасность разрушения этой части блока возникает раньше, чем среднее значение напряжений  $\bar{\sigma}$  при центральной нагрузке достигнет величины средней призмочной прочности материала блока  $\bar{R}_{пр}$ , которую при блоке из однородного материала считали прочностью блока  $R_{бл}$ .

Если в блоке сжимающие напряжения по абсолютной величине нигде не превышают прочности  $R_{пр} = k R_u$ , то в таком напряженном состоянии блок, вероятно, не разрушается. Можно ожидать, что разрушение блока начинается при напряженном состоянии, когда в одной или некоторых точках блока сжимающие напряжения достигнут величины  $R_{пр}$ . Обозначаем сжимающие напряжения в блоке в этом напряженном состоянии функцией  $\sigma' = \sigma'(\xi, \eta)$ .

На рис. 5 изображена зависимость  $\frac{\sigma'}{\bar{R}_{пр}}$  от  $\eta$ . Среднее значение напряжений  $\sigma'$  обозначаем символом  $\bar{\sigma}'$ . При этом, если распределение модулей упругости материала имеет вид, изображенный на рис. 4, то  $\bar{\sigma}' = 0,74 \bar{R}_{пр}$ . Следовательно, в конкретном случае уже при среднем значении напря-

2. У торцовых поверхностей блока линии постоянных значений объемного веса, прочности и модулей упругости расположены плотнее, чем в середине блока.

3. Изменение величин объемного веса, прочности и модуля упругости в направлении заливки блока нелинейное: изменение этих величин по низу заливки больше, чем по верху заливки.

4. Средние значения объемного веса, прочности и модуля упругости материала блока можно определить на образцах, высверленных из блока по схеме, показанной на рис. 1, найдя потом их средние арифметические.

5. Изменение значения модуля упругости материала блока в направлении заливки оказывает существенное влияние на распределение напряжений в блоке.

6. Прочность газокукермитовых блоков, залитых в вертикальных формах, меньше прочности блоков, залитых в горизонтальных формах.

Институт строительства и строительных материалов  
Государственного комитета СМ ЭССР  
по делам строительства

Поступила в редакцию  
14. III 1963

## GAASKUKERMIIDI MAHUKAALU, TUGEVUSE JA ELASTSUSMOODULI MUUTUMINE VERTIKAALVORMIDES VALATUD PLOKKIDES

V. Raidna,

tehnikateaduste kandidaat

H. Eesorg

Resümee

Artiklis vaadeldakse vertikaalvormides valatud gaaskukermiitplokkide materjali tugevuse ja deformatiivsete omaduste muutumist plokki ulatuses. Joonistel 2, 3 ja 4 esitatakse mahukaalu  $\gamma$ , tugevuse  $R_d$  ja elastsusmooduli  $H$  muutumine plokis nende suuruste samaväärsusjoonte kaudu. Ploki materjali elastsusmooduli muutus plokis põhjustab erineva pingete jaotuse, kui see on samal koormisel töötavas homogeensest materjalist plokis. Eeldusel, et plokki materjali puhul kehtib Hooke'i seadus ja põiklõigete tasapinnalisuse hüpotees, saab pingete jaotuse leida avalduse (4) kaudu, kus parameetrid  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_1$  ja  $\epsilon_2$  leitakse lineaarvõrrandite süsteemist (5). Pingete jaotus plokki keskpunkti läbi viis põiklõikes, mille puhul elastsusmoodulite jaotus vastab joonisel 4 esitatule, on toodud joonisel 5.

Eesti MN Riikliku Ehituskomitee  
Ehituse ja Ehitusmaterjalide Instituut

Saabus toimetusse  
14. III 1963

## ALTERNATION OF SPECIFIC WEIGHT, STRENGTH AND MODULUS OF ELASTICITY IN OIL SHALE FLY ASH GAS CONCRETE BLOCKS CAST IN VERTICAL MOULDS

V. Raidna, H. Eesorg

Summary

The authors present data on the alternation of properties of oil shale fly ash gas concrete in blocks cast in vertical moulds. In figs. 2, 3 and 4 are given equal values lines of specific weight, strength and modulus of elasticity of gas concrete in blocks. Alternation in the values of modulus of the elasticity of gas concrete causes an alternation of stress distribution in blocks. Supposing Hooke's law and the hypothesis of plain cross-sections be valid, the stress distributions can be found in formula (4), where parameters  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_1$  and  $\epsilon_2$  are found from the system of linear equations (5). According to the distribution of the modulus of elasticity shown in fig. 4, the stress distribution in blocks by axial compression is given in fig. 5.

Institute of Building and Building Materials  
of the State Building Committee on Construction  
of the Council of Ministers of the Estonian S.S.R.

Received  
March 14th, 1963