

**RESEARCH OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF A MULTI-PURPOSE OVERLAPPING PLATE
MADE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE ON A POROUS FILLER FROM CARBON MINING WASTE
AND LOCAL RAW MATERIALS**¹Olimbek D, ²Bakhodir I, ³Bakhrom K¹Davronov Olimbek - Ph.D., Associate Professor, YOJU Technical Institute in Tashkent,
Uzbekistan, email: o.davronov@ytit.uz²Inamov Bakhodir - Senior Lecturer at YOJU Technical Institute in Tashkent,
Uzbekistan, email: b.inamov@ytit.uz³Khasanov Bakhrom - senior lecturer, Tashkent Institute of Architecture and Civil
Engineering, Tashkent, Uzbekistan, email: b.hasanov@mail.ru

The article provides calculations and analysis of the state of stress deformation of the coal mining industry waste and local raw materials made of porous filler, lightweight concrete slab in accordance with the requirements of QMQ 2.03.01-96.

Key words: Rational use, lightweight concrete, porous filler, porous aggregates, quartz porphyry, hollow-core slabs.

Рациональное использование минеральных природных ресурсов, наиболее полная утилизация отходов промышленности, снижение топливно-энергетических затрат и материалоемкости при производстве строительных материалов и изделий являются основными направлениями в развитии строительного комплекса Республики Узбекистан.

Одним из важных факторов развития современного строительства, особенно для сейсмических районов, является снижение массы возводимых объектов, за счет производства и применения эффективных строительных материалов к которым следует отнести пористые заполнители и легкие бетоны на их основе.

Применение легких бетонов приводит уменьшению массы железобетонных конструкций на 30-35%, что существенно снижает сейсмическую нагрузку на здания, позволяет уменьшить расходы стали и цемента, укрупнить элементы зданий, улучшить теплотехнические и акустические показатели, снизить транспортно-монтажные расходы и в конечном итоге, позволяет сократить расходы строительства. Поэтому, в последнее время особое внимание уделяется расширению производства легких бетонов и изготовлению из них железобетонных конструкций.

Однако, ограниченные сырьевые ресурсы не позволяют в полной мере обеспечить строительную индустрию необходимым объемом пористых заполнителей и соответственно, легким бетоном.

Для решения этой проблемы необходимо развивать научно-исследовательские работы направленные на изыскание более доступных и широко распространенных сырьевых материалов и отходов промышленности для производства искусственных пористых заполнителей и легких бетонов на их основе, изучению их физико-механических свойств, конструкционных особенностей, надежности и долговечности изделий изготовленных из этих

бетонов. В Ташкентском архитектурно-строительном институте на кафедре «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» на протяжении многих лет проводятся научно-исследовательские разработки по получению, пористых заполнителей с использованием местных минеральных сырьевых ресурсов и отходов различных производств республики и легких бетонов на их основе.

Разработанные составы легких бетонов полученных с использованием пористого заполнителя из кварцевых порфиров и зауглероженной каолиновой глины по своим физико-механическим свойствам, стойкости в агрессивных средах и деформативным характеристикам вполне удовлетворяют предъявляемым нормативными документами требованиям.

На строительном участке ООО «Курилиш-материалларинвест» по изготовлению пустотных плит перекрытий была изготовлена опытная партия многопустотных плит из легкого бетона, с крупным пористым заполнителем, полученного с применением местной горной породы-кварцевого порфира и зауглероженной каолиновой глины-отхода Ангренского месторождения угля.

В настоящей работе исследуется напряженно-деформированное состояние одного из этих многопустотных плит перекрытия.

Основные размеры плиты приведен на рисунке 1.

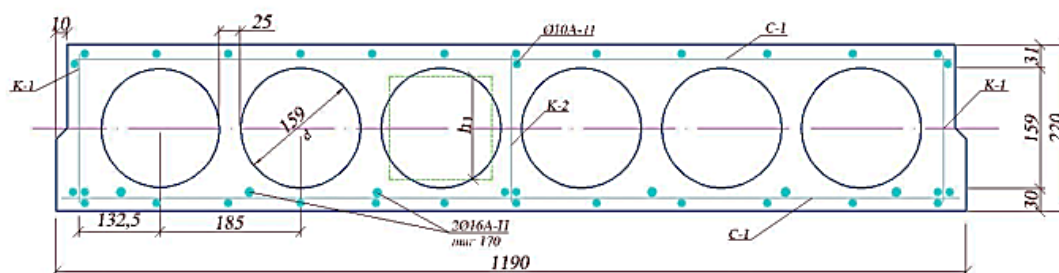


Рис.1 Расчетный пролет плиты принимается равным $l_0=5,88$ м.

Физико-механические характеристики легкого бетона приведены в таблице 1.

Возраст бетона к моменту испытания, сут	Физико-механические свойства		Модуль упругости $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа
	$R_{куб}$, МПа	$R_{пр}$, МПа	
7	16,3	12,5	14,6
14	16,7	13,7	14,8
28	17,3	13,9	15,0

Кубиковую и призмную прочность легкого бетона определяли на кубиках размером 15x15x15см. по 90 штук. Кубы испытывались в возрасте 7, 14, 28 суток, а также 6 и 12 месяцев. Скорость загрузки на прессе составляла 0,4-0,5 МПа в секунду. Результаты проведенных испытаний показали, что рост прочности бетона продолжается и после 28 суток, а это согласуется с выводами других исследователей. Прочность бетона на шестой месяц хранения увеличилась на 16%.

Плиту рассчитываем по первому и по второму предельным состояниям в соответствии с требованиями КМК 2.03.01-96 Бетонные и железобетонные конструкции. Плита номинальной шириной $B^H = 120$ см и высотой $h = 22$ см; Материалы: легкий бетон класса B25 ($R_b \gamma_{b1} = 13,9 \cdot 0,85 = 11,815$ МПа; $R_{bt} \gamma_{b1} = 0,93 \cdot 0,85 = 0,7905$ МПа); арматура класса A-II ($R_s = 280$ МПа, $R_{sw} = 225$ МПа).

Размеры сечения плиты. Высота сечения $h = 22$ см, рабочая высота $h_0 = h - a = 22 - 3 = 19$ см. Конструктивная ширина плиты $B = 1200 - 10 = 1190$ мм. Круглые пустоты диаметром 159 мм, наименьшее расстояние между которыми 25 мм. Расчетное количество пустот в плите: $n = 1180 / (25 + 159) = 6$ шт. что, совпадает с реальной плитой. Расстояние от пустот до наружной поверхности плиты $h_n = (220 - 159) / 2 = 30,5$ мм. Расчетное сечение плиты принимаем как тавровое с высотой $h = 220$ мм, толщиной полки $h'_f = 30,5$ мм. Ширина верхней полки тавра $b'_f = 1190 - 2 \cdot 10 = 1170$ мм (10 мм – размер боковых подрезок), ширина ребра $b = B - 2 \cdot 10 - 6 \cdot 159 = 1190 - 20 - 954 = 216$ мм.

Вычислим вес 1 м^2 плиты. Для этого по размерам плиты определим ее объем $V = 0,4619 \text{ м}^3$. Плотность бетона плиты $\gamma = 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Вес бетона плиты $0,4619 \cdot 1800 = 831,45$ кг. Вес расчетной арматуры $7\phi 16$ A-II с $A_s = 14,07 \text{ см}^2$ $7 \cdot 6 \cdot 1,58 = 66,36$ кг. Вес каркаса $\phi 10 = 44,5$ кг. Вес сетки 17 кг. Всего арматуры 133 кг. Общий вес плиты $831,5 + 133 = 964,5$ кг = 9462 Н. Вес 1 м^2 плиты $9462 : 7,2 = 1315 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

Нагрузки на 1 м^2 плиты перекрытия в соответствии с КМК приведены в таблице 2.

Нагрузка	Нормативная нагрузка, (н/м ²)	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, (н/м ²)
Постоянная:			
Собственный вес многопустотной плиты с круглыми пустотами	1315	1,1	1447
то же звукоизоляции из пенобетона $\delta = 50$ мм, $\rho = 400$ кг/м ³	200	1,2	240
то же шлакобетонной подготовки $\delta = 50$ мм, $\rho = 1200$ кгс/м ³	600	1,3	780
то же паркетного пола $\delta = 20$ мм, $\rho = 800$ кгс/м ³	160	1,1	176
Итого	275		2643
Временная	3500	1,2	4200
В том числе:			
длительная	2000	1,2	2400
кратковременная	1500	1,2	800
Полная нагрузка	5775	-	6843
В том числе:			

Постоянная и длительная		-	
кратковременная	4275	-	-
	1500	-	-

Расчетную схему плиты принимаем как свободно опертая балка на двух опорах (рис.2,а,б).

Расчетная нагрузка на 1м плиты с учетом коэффициента надежности по назначению здания $\gamma_n = 0,95$;

постоянная $g = 2,643 \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 3,013$ кН/м;

временная $v = 4,2 \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 4,788$ кН/м;

полная $g + v = 3,013 + 4,788 = 7,8$ кН/м

Нормативная нагрузка на 1м плиты с учетом коэффициента надежности
постоянная $g = 2,275 \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 2,594$ кН/м;

временная $v = 3,5 \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 3,99$ кН/м; полная $g + v = 2,594 + 3,99 = 6,584$ кН/м;

в том числе постоянная и длительная $4,275 \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 4,874$ кН/м.

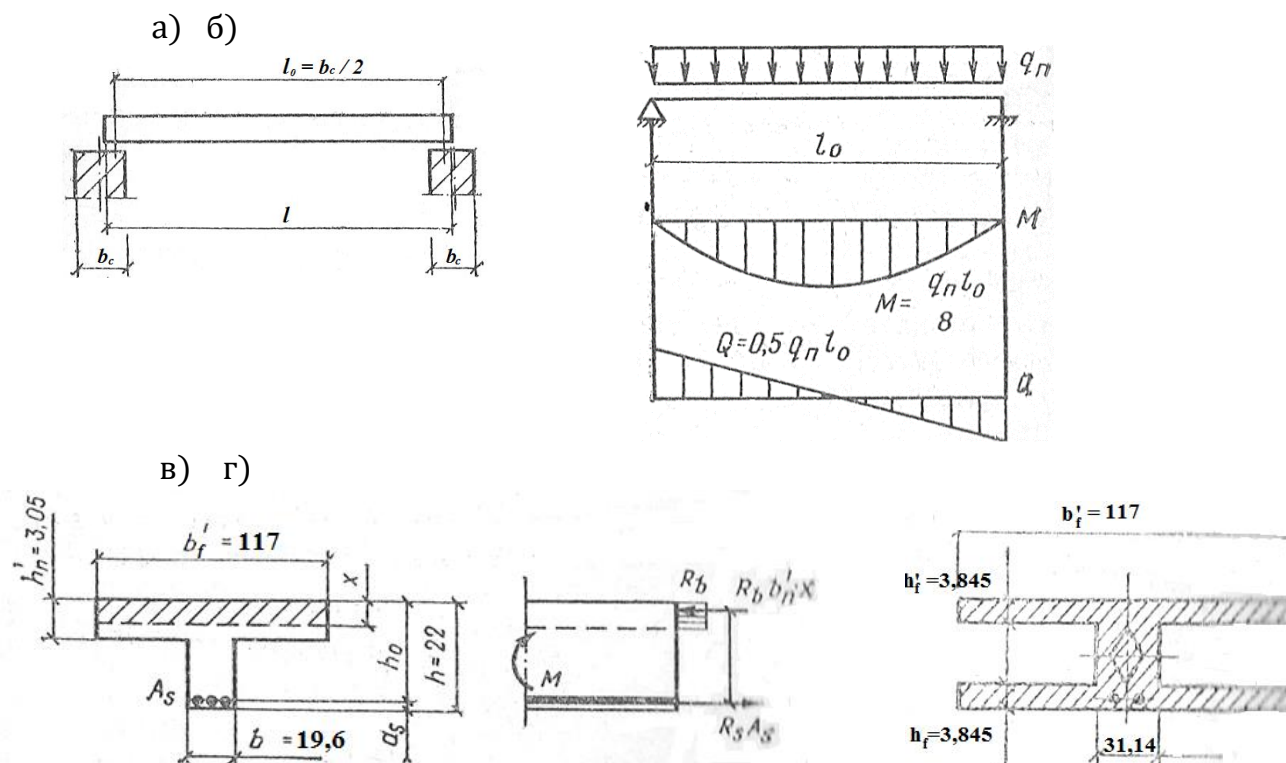


Рис.2

Усилия от расчетных и нормативных нагрузок. От расчетной нагрузки

$M = (g + v) l_0^2 / 8 = 7,8 \cdot 5,88^2 / 8 = 33,71$ кН·м; $Q = (g + v) l_0 / 2 = 7,8 \cdot 5,88 / 2 = 22,93$ кН.

От нормативной полной нагрузки

$M = 28,46$ кН·м; $Q = (g + v) l_0 / 2 = 19,36$ кН.

От нормативной постоянной и длительной нагрузок

$M = 21,06$ кН·м.

Плита армирована расчетной арматурой $7\emptyset 16$ А-II с $A_s = 14,07 \text{ см}^2$.
Определяем положение нейтральной оси (рис.2 в)

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{280 \cdot 10^6 \cdot 14,07 \cdot 10^{-4}}{11,815 \cdot 10^6 \cdot 216 \cdot 10^{-2}} = 1,544 \text{ см} < h'_f = 3,05 \text{ см}.$$

Нейтральная ось проходит в полке. Находим несущую способность таврового сечения

$$M = R_b b x (h_0 - 0,5x) = 71,83 \text{ кН} \cdot \text{м} > 33,71 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Прочность плиты по сечению, нормальному к продольной оси обеспечена.

Проводим проверку прочности наклонного сечения. В плите установлена три вертикальных каркаса с шагом поперечных стержней $s = 100$ мм из арматуры класса А-II $\emptyset 10$ с $A_{sw} = 0,785 \text{ см}^2$. Усилие в поперечных стержнях на единицу длины будет равен

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s} = 70,6 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 706 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

при этом

$$q_{sw} > \frac{R_{bt} b}{2} = \frac{0,7905 \cdot 10^6 \cdot 19 \cdot 10^{-2}}{2} = 7,5 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 75 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Определяем усилие, воспринимаемое бетоном и поперечными стержнями

$$Q_{sb} = 2\sqrt{2\gamma_{bt} R_{bt} b h_0^2 q_{sw}} = 174996 \text{ Н} = 175 \text{ кН} > Q = 22,93 \text{ кН}$$

Прочность наклонного сечения обеспечена.

Расчет плиты по второму предельному состоянию. Определяем геометрические характеристики приведенного сечения. Круглое очертание пустот заменим эквивалентной квадратной стороной $h = 0,9d = 0,9 \cdot 15,9 = 14,31$ см. Толщина полок эквивалентного двутаврового сечения $h'_f = h_f = (22 - 14,31) \cdot 0,5 = 3,845$ см. Ширина ребра $b = 117 - 6 \cdot 14,31 = 31,14$ см. (рис.2, г)

Отношение модулей упругости арматуры и бетона

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{210000}{15000} = 14.$$

Площадь приведенного сечения плиты

$$A_{red} = A + \alpha A_s = 1546,6 \text{ см}^2.$$

Расстояние от нижней грани до центра тяжести сечения $y_0 = 0,5h = 0,5 \cdot 22 = 11$ см;

Момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести $I_{red} = 82779,178 \text{ см}^4$. Момент сопротивления приведенного сечения по нижней зоне

$$W_{red} = 7525,38 \text{ см}^3, \text{ то же по верхней зоне } W'_{red} = 7525,38 \text{ см}^3.$$

Упругопластический момент сопротивления по растянутой зоне для двутаврового сечения $W_{pl} = \gamma W_{red} = 1,5 \cdot 7525,38 = 11288,07 \text{ см}^3$.

Вычисляем момент образования трещин

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} = 15238,9 \text{ Н} \cdot \text{м} = 15,24 \text{ кН} \cdot \text{м} < 32,82 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси. Предельная ширина раскрытия трещин: непродолжительная $a_{crc} = 0,4$ мм, продолжительная $a_{crc} = 0,3$ мм. Изгибающие моменты от нормативных нагрузок:

постоянной и длительной — $M = 21,06 \text{ кН} \cdot \text{м}$; полной — $M = 28,46 \text{ кН} \cdot \text{м}$;

Момент сопротивления сечения по растянутой арматуре

$$W_s = A_s \cdot z_1 = 14,07 \cdot (h_0 - 0,5h'_f) = 14,07 \cdot (19 - 0,5 \cdot 3,845) = 240,28 \text{ см}^3.$$

Напряжение в растянутой арматуре от действия постоянной и длительной нагрузок

$$\sigma_s = \frac{21,06 \cdot 10^2}{240,28} = 87,65 \text{ МПа.}$$

Напряжение в растянутой арматуре от действия полной нагрузки

$$\sigma_s = \frac{28,46 \cdot 10^2}{240,28} = 118,45 \text{ МПа.}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия полной нагрузки

$$a_{crc1} = 20(3,5 - 100\mu)\delta\eta\varphi_l \left(\frac{\sigma_s}{E_s}\right)^3 \sqrt{d} = 20 \cdot (3,5 - 100 \cdot 0,0024) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{118,45}{210000}\right)^3 \sqrt{16} = 0,0927 \text{ мм.}$$

$$\text{где } \mu = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{14,07}{31,14 \cdot 19} = 0,024$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянной и длительной нагрузок

$$a'_{crc1} = 20(3,5 - 100\mu)\delta\eta\varphi_l \left(\frac{\sigma_s}{E_s}\right)^3 \sqrt{d} = 0,0686 \text{ мм.}$$

Ширина раскрытия трещин от постоянной и длительной нагрузок

$$a_{crc2} = 20(3,5 - 100\mu)\delta\eta\varphi_l \left(\frac{\sigma_s}{E_s}\right)^3 \sqrt{d} = 0,0823 \text{ мм.}$$

Непродолжительная ширина раскрытия трещин

$$a_{crc} = a_{crc1} - a'_{crc1} + a_{crc2} = 0,0927 - 0,0686 + 0,0823 = 0,1064 \text{ мм} < [0,4 \text{ мм}].$$

Продолжительная ширина раскрытия трещин

$$a_{crc} = a_{crc2} = 0,0823 \text{ мм} < [0,3 \text{ мм}]. \text{ Условие удовлетворяется.}$$

Определяем кривизну оси плиты на участках с трещинами в растянутой зоне по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{h_0 z} \left(\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{0,9}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu} \right)$$

Кривизна от непродолжительного действия всей нагрузки $M = 28,46 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $\nu = 0,45$; $\varphi_{ls} = 1,1$; $A'_s = 2,36 \text{ см}^2$, площадь арматуры каркаса А-II 3Ø10 в сжатой зоне.

$$\varphi_m = \frac{R_{bt} \text{ ser } W_{pl}}{M} = \frac{135 \cdot 11288,07}{2846000} = 0,54; \psi_s = 1,25 - \varphi_{ls} \varphi_m = 0,656;$$

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b) h'_f + \frac{\alpha}{2\nu} A'_s}{b h_0} = 0,62;$$

$$\delta = \frac{M}{R_{bt} \text{ ser } b h_0^2} = 0,145; \lambda = \varphi_f \left(1 - \frac{h'_f}{2h_0}\right) = 0,557;$$

$$\xi = \frac{1}{\beta + \frac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu\alpha}} = 0,318; x = \xi \cdot h_0 = 6,42 \text{ см} > h'_f = 3,845;$$

$$z = h_0 \left[1 - \frac{\frac{h'_f}{h_0} \varphi_f + \xi^2}{2(\varphi_f + \xi)} \right] = 16,705 \text{ см.}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1 = 4,15 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{см}}$$

Аналогично вычисляем кривизну от непродолжительного действия постоянной и длительной нагрузок ($\nu = 0,45$, $\varphi_{ls} = 1,1$), и от продолжительного действия постоянной и длительной нагрузок ($\nu = 0,15$, $\varphi_{ls} = 0,8$). $M = 21,06 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $\varphi_m = 0,73$; $\psi_s = 0,45$; $\delta = 0,107$; $\lambda = 0,557$; $\xi = 0,324$; $x = 6,16 \text{ см} > h'_f = 3,845$; $z = 16,681$.

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = 2,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{см}}$$

$$\Psi_s = 0,666;$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = 6,26 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{см}}$$

Полная кривизна плиты будет равна

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 = 4,15 \cdot 10^{-5} - 2,6 \cdot 10^{-5} + 6,26 \cdot 10^{-5} = 7,81 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{см}}$$

Вычислим прогиб плиты

$$f = \frac{5l^2}{48r} = \frac{5 \cdot 588^2}{48} \cdot 7,81 \cdot 10^{-5} = 2,813 \text{ см} < \frac{l}{200} = \frac{588}{200} = 2,94 \text{ см. Условие}$$

выполняется.

Проведенное исследование напряженно – деформированного состояния многопустотной плиты изготовленного из легкого бетона, с крупным пористым заполнителем, полученного с применением местной горной породы-кварцевого порфира и зауглероженной каолининовой глины-отхода Ангренского месторождения угля, показывает, что плита отвечает всем требованиям предъявляемым КМК 2.03.01-96 «Бетонные и железобетонные конструкции» и может быть использовано в качестве плит перекрытия и покрытия для малоэтажных зданий. Применение таких плит намного улучшает энергоэффективность и сейсмическую надежность зданий вследствие более высоких теплотехнических свойств и меньшего собственного веса материала.

При увеличении нагрузок самым уязвимым местом полученного бетона является его жесткостные характеристики. Поэтому считаем необходимым проведение исследований по повышению жесткости легких бетонов путем добавления новых составляющих и изменения его структуры.

References:

1. QMQ-2.01.07-96. Loads and actions. Tashkent, 1996
2. QMQ 2.03.01-96. Concrete and won concrete construction. Tashkent, 1996
3. Baykov V.N., Sigalov E.E. Concrete construction. General course. Moscow, Stroyizdat, 1991.