

МЕЖСЛОЕВЫЕ СДВИГИ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛА И СТЕКЛОПЛАСТИКА

*к.т.н.доцент ДУСМАТОВ АБДУРАХИМ¹, к.т.н.доцент НАБИЕВ.М²,
магистр ХУРСАНБОВЕВ ТЕМУРБЕК³*

Аннотация: В строительных конструкциях встречаются двухслойные плиты и оболочки, многослойные цилиндры, комбинированные конструкции, созданные на основе бетона и композиционных материалов.

Ключевые слова: оболочек, двухслойные плиты, стеклопластиковый.

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации слоистых плит и оболочек необходимо учитывать работу склеивающего шва, так как он позволяет создавать надёжную конструкцию в неблагоприятных производственных условиях [1-16], предохраняя их от нагрева и внешних давлений.

В строительных конструкциях встречаются двухслойные плиты и оболочки, многослойные цилиндры, комбинированные конструкции, созданные на основе бетона и композиционных материалов.

Рассмотрим исследования напряженно-деформированного состояние плит и оболочек с учетом податливости клеевого шва и различных механических характеристик отдельных слоев. Напряженно-деформированное состояние комбинированных двухслойных плит с учетом межслоевых сдвигов, построенных на основе бетона и стеклопластика по уточненной теории [2-27], позволяет оценить прочность и деформативность с достаточной высокой точностью при решении инженерных задач.

Соединение двухслойных ортотропных комбинированных плит (рис.1), считая, что первый несущий (стеклопластиковый) слой значительно отличается от второго (металлического) армирующего.

Полагаем, что применительно к плитам, рассматриваемым в данном случае, справедливы принятые гипотезы по уточненной теории [2-9]: толщины первого и второго слоя постоянные; первый слой значительно мощнее, чем второй. Поэтому примем приближенно $e_{zz} = 0$; $w = w(x, y)$. Здесь e_{zz} – относительное удлинение деформации по координате z ; w – прогиб.

Деформации сдвига первого слоя

$$e_{xz} = 0,5\left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2\right)\Phi_1 + \left(0,5 - \frac{\gamma}{h}\right)\frac{\tau_1}{G^{(1)}_{13}};$$



$$e_{xz} = 0,5\left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2\right)\Phi_2 + \left(0,5 - \frac{\gamma}{h}\right)\frac{\tau_2}{G^{(2)}_{23}}. \quad (1)$$

Деформации сдвига второго слоя

$$e^{(2)}_{xz} = \left(0,5 + \frac{\gamma_1}{\delta}\right)\frac{\tau_1}{G^{(2)}_{13}};$$

$$e^{(2)}_{yz} = \left(0,5 + \frac{\gamma_1}{\delta}\right)\frac{\tau_2}{G^{(2)}_{23}}, \quad (2)$$

где h, δ – толщина слоев стеклопластика и бетона;

$\Phi_i = \Phi_i(x, y)$ – произвольные искомые функции сдвига координат x, y ;

$\tau_i = \tau_i(x, y)$ – искомые касательные напряжения;

$G^{(1)}_{ik}, G^{(2)}_{ik}$ – модулы сдвигов первого и второго слоя ($i=1,2; k=3$).

Координаты γ имеют следующие границы изменения;

для первого слоя $-\frac{h}{2} \leq \gamma \leq \frac{h}{2}$;

для второго слоя $-\frac{\delta}{2} \leq \gamma_1 \leq \frac{\delta}{2}$.

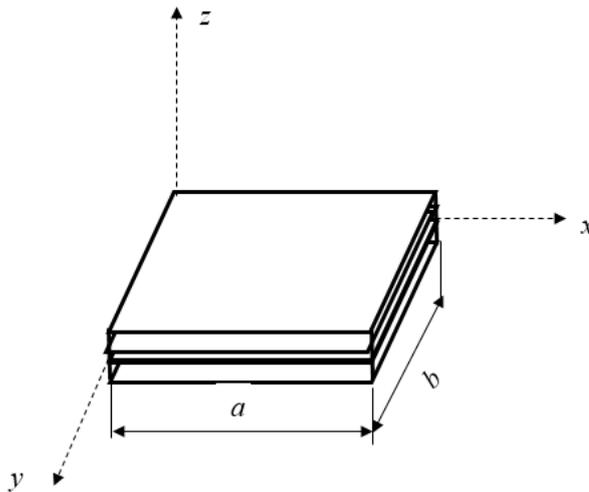


Рис.1. Соединение двухслойных ортотропных комбинированных плит.

Перемещения стеклопластикового слоя выводим, используя соотношения теории упругости [2]:

$$u^{(1)} = u_0 - \gamma \frac{\partial w}{\partial x} + \left(\frac{\gamma h^2}{8} - \frac{\gamma^3}{6}\right)\Phi_1 + \gamma\left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{2h}\right)\frac{\tau_1}{G^{(1)}_{13}};$$

$$v^{(1)} = v_0 - \gamma \frac{\partial w}{\partial y} + \left(\frac{\gamma h^2}{8} - \frac{\gamma^3}{6}\right)\Phi_1 + \gamma\left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{2h}\right)\frac{\tau_1}{G^{(1)}_{13}}. \quad (3)$$

Аналогично для металлического слоя:

$$u^{(2)} = u_0 - \gamma_1 \frac{\partial w}{\partial x} + \gamma_1\left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma_1}{2\delta}\right)\frac{\tau_1}{G^{(2)}_{13}};$$

$$v^{(2)} = v_0 - \gamma_1 \frac{\partial w}{\partial y} + \gamma_1\left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma_1}{2\delta}\right)\frac{\tau_2}{G^{(2)}_{23}}. \quad (4)$$



где $u_0 = u_0(x, y)$, $v_0 = v_0(x, y)$ – искомые тангенциальные перемещения соответствующей точки срединной поверхности первого слоя.

Тангенциальные перемещения $u^{(1)}$, $u^{(2)}$, $v^{(1)}$, $v^{(2)}$ – какой-либо точки плиты, формулы (3), (4) в отличие от классической теории зависят от γ нелинейно, во втором слое – от γ_1 линейно. Это связано с различием в толщине слоев и с учетом поперечного сдвига в более мощном первом.

Соблюдая условия непрерывности перемещений клеевого шва, находим связь между перемещениями первого и второго слоя.

$$\begin{aligned} u_{\text{ш}} &= u^{\text{B}}_{\text{ш}} - \gamma \frac{\tau_1}{G^{(1)}_{\text{ш13}}}; \\ v_{\text{ш}} &= v^{\text{B}}_{\text{ш}} - \gamma \frac{\tau_2}{G^{(1)}_{\text{ш23}}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Запишем условия контакта слоев

$$\begin{aligned} u_{\text{ш}(\gamma=-\frac{h}{2})} - \tau_1 \varepsilon_{\text{ш13}} &= u_{\text{ш}(\gamma_1=+\frac{\delta}{2})}; \\ v_{\text{ш}(\gamma=-\frac{h}{2})} - \tau_2 \varepsilon_{\text{ш23}} &= v_{\text{ш}(\gamma_1=+\frac{\delta}{2})}; \end{aligned} \quad (6)$$

где $u^{\text{B}}_{\text{ш}}$, $v^{\text{B}}_{\text{ш}}$ – перемещения шва при $\gamma = -\frac{h}{2}$; $\varepsilon_{\text{шik}} = h_{\text{ш}}/G_{\text{шik}}$;

$h_{\text{ш}}$, $G_{\text{шik}}$ – толщина и модуль сдвига шва.

Соблюдая условия (6), после необходимых преобразований перемещения второго слоя запишем

$$\begin{aligned} u^{(2)} &= u_0(\xi_2 - \gamma_1) \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{h^3}{24} \Phi_1 + \left[\left(\frac{\gamma_1}{2} + \frac{\gamma_1^2}{2\delta} \right) \frac{1}{G_{13}^{(2)}} - SH_{13} \right] \tau_1; \\ v^{(2)} &= v_0(\xi_2 - \gamma_1) \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{h^3}{24} \Phi_2 + \left[\left(\frac{\gamma_1}{2} + \frac{\gamma_1^2}{2\delta} \right) \frac{1}{G_{23}^{(2)}} - SH_{23} \right] \tau_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \xi_2 &= 0,5(h + \delta); \\ \xi_{413} &= \frac{3}{8} \left(\frac{h}{G_{13}^{(1)}} + \frac{\delta}{G_{13}^{(2)}} \right); \\ \xi_{423} &= \frac{3}{8} \left(\frac{h}{G_{23}^{(1)}} + \frac{\delta}{G_{23}^{(2)}} \right); \end{aligned}$$

$$SH_{13} = \xi_{413} + \varepsilon_{\text{ш13}};$$

$$SH_{23} = \xi_{423} + \varepsilon_{\text{ш23}}.$$

Деформации в слоях определяются известными соотношениями Коши

$$\begin{aligned} \varepsilon_x^{(i)} &= \frac{\partial u^{(i)}}{\partial x}; \\ \varepsilon_y^{(i)} &= \frac{\partial v^{(i)}}{\partial y}; \\ \varepsilon_{xy}^{(i)} &= \frac{\partial v^{(i)}}{\partial x} + \frac{\partial u^{(i)}}{\partial y}, \end{aligned} \quad (8)$$



Для напряжений в слоях имеем

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(i)} &= B^{(i)}_{11}\varepsilon_x^{(i)} + B^{(i)}_{12}\varepsilon_y^{(i)}; \\ \sigma_y^{(i)} &= B^{(i)}_{22}\varepsilon_y^{(i)} + B^{(i)}_{12}\varepsilon_x^{(i)}; \\ \tau_{xy}^{(i)} &= G^{(i)}_{11}\varepsilon_{xy}^{(i)};\end{aligned}\quad (9)$$

где

$$\begin{aligned}B^{(i)}_{11} &= \frac{E^{(i)}_1}{1-\mu_1\mu_2}; \\ B^{(i)}_{12} &= \frac{\mu_1 E^{(i)}_2}{1-\mu_1\mu_2}; \\ B^{(i)}_{22} &= \frac{E^{(i)}_2}{1-\mu_1\mu_2};\end{aligned}$$

$E^{(i)}_1, E^{(i)}_2$ – модуль упругости слоев;
 μ_1 и μ_2 – коэффициент Пуассона для различных слоев;
 $i = 1, 2$ – для первого слоя.

Уравнение деформирования плиты получим с помощью вариационного принципа, приняв в качестве функционала полную энергию плиты. Функционал имеет вид

$$\begin{aligned}u &= \frac{1}{2} \iint_S (\sigma^{(i)}_x \varepsilon_x^{(i)} + \sigma^{(i)}_y \varepsilon_y^{(i)} + \tau^{(i)}_{xy} \varepsilon_{xy}^{(i)}) + \\ &+ \frac{1}{2} \iint_S (\tau_1^2 \varepsilon_{11} + \tau_2^2 \varepsilon_{33} - 2qw) ds.\end{aligned}\quad (10)$$

Используя вариационное уравнение Эйлера, получаем систему дифференциальных уравнений четвертого порядка в частных производных относительно неизвестных $w, u_0, v_0, \Phi_1, \Phi_2, \tau_1, \tau_2$. Из-за громоздкости систему дифференциальных уравнений, коэффициенты и граничные условия не приводим.

Для исследования влияния межслоевого сдвига берем плиту, свободно спертую по контуру. Применяя метод Навье, предположим, что плита несет равномерно распределенную нагрузку q . Решением системы дифференциальных уравнений равновесия, удовлетворяющей граничным условиям, служит двойной тригонометрический ряд [7-30].

В качестве примера (по 1 варианту) выполнен расчет двухслойной бетонной плиты со стеклопластиковым армирующим слоем, шарнирно опертой по контуру и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой.

Расчет произведен при следующих параметрах:

- модули упругости бетона и стеклопластика

$$E_1^B = 1,08 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2, E_2^B = 0,81 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2, E_1^П = 3,05 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2,$$

$$E_2^П = 1,88 \cdot 10^5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

- коэффициенты Пуассона бетона и стеклопластика $\mu_{12}^{(2)} = \mu_{21}^{(2)} = 0,18$ - размеры плиты (рис. 2) $a = b = 300$ см,

- толщина бетонного слоя $h = 8$ см,

- толщина стеклопластикового слоя $\delta_n = 0,1$ см,

- толщина шва $h_{ш} = 0,25$ см (варьировалась от 0 до 1 мм).

Модули сдвига шва $G_{ш13}$ и $G_{ш23}$ варьировались в пределах от 1 до 5000.



Из полученных зависимостей видно, что чем меньше величина модуля сдвига шва по сравнению со слоем ($G_{шik} < G_{ik}^{(1)}, G_{шik} < G_{ik}^{(2)}$), тем влияние податливости шва на НДС двухслойных плит сказывается больше (см. рис. 2). Увеличение модуля сдвига шва в 10 раз, соответственно для клеев К147 и К134 изменит напряжение в бетоне на 3,1%, а в армирующем (стеклопластиковом) слое на 25,7%. А если принять модуль сдвига шва значительно больше чем эпоксидных клеев К147 и К134 (например $G_{ш13} = 0,31 \cdot 10^4$ МПа, $G_{ш23} = 0,35 \cdot 10^4$ МПа), то увеличение модуля сдвига шва в 100 раз изменяет прогиб лишь на 0,02% , а $G^{(2)}$ на 0,87%

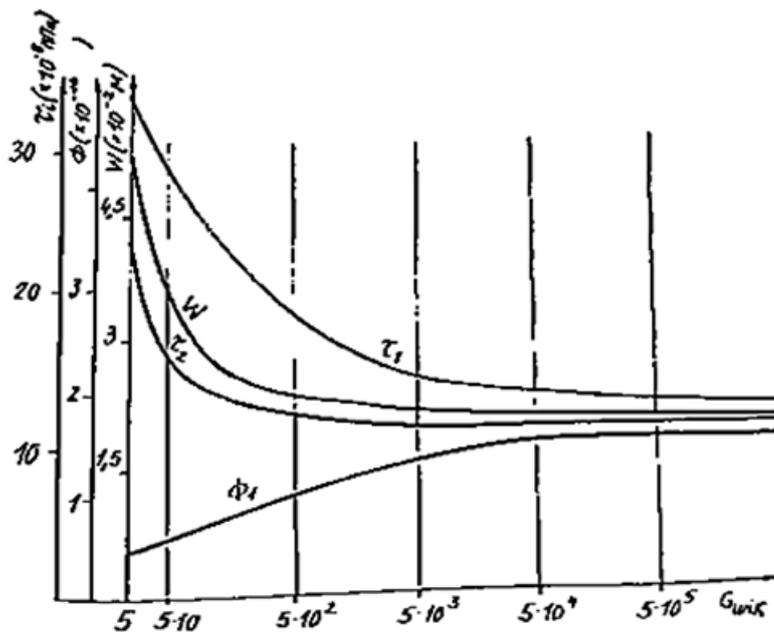


Рис.2.

При увеличению толщины стеклопластикового слоя с 0,1 см до 0,5 см изменение толщины и модуля сдвига шва (при $G_{шik} > 50$ МПа) значительно меньше влияет на $\sigma_x^{(2)}$ и $\sigma_y^{(2)}$ (см. рис. 2.9, 2.10).

При малых сдвиговых жесткостях увеличение модуля сдвига склеивающего шва оказывает существенное влияние на напряжения в слоях. Так, например, изменение модуля сдвига шва с 0,5 МПа до 5 МПа ($h_{ш}=0,1$ см) увеличивает напряжения $\sigma_x^{(2)}$ и $\sigma_y^{(2)}$ на 22,05% и 16,13% соответственно, при этом напряжения $\sigma_x^{(1)}$ и $\sigma_y^{(1)}$ в бетонном слое уменьшаются на 3,6% и 16,3%.

Список литературы:

- [1]. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек Изд-во «Наука», гл.ред. Ф.М.Л., Москва, 1974г.
- [2]. Дустматов А.Д. Прочность и деформативность двухслойных плит с податливыми клеевыми швами. Деп. ВНИИИС.Р.Ж. Строительство и архитектура, серия 8, выпуск 7, М.,1982.
- [3]. Дустматов А.Д. Исследование трёхслойных металлических оболочек с композиционными слоями. Экономика и социум выпуск. 2022г.



- [4]. Дусматов А.Д. Влияние поперечного сдвига композитного слоя на прочность и деформативность двухслойной цилиндрической комбинированной оболочки. *Международный научно-практический журнал „ Экономика и социум”* Вып= 03.(106) 2023, стр-12 17.03.2023г.
- [5]. Дусматов А.Д. Бахромов.М. Маликов.С.С Strength And Deformabilitu Of Metal Glass-Plastic Shells Taking Into Account Shear Rigidity. *The PeerianJournal*.Volume 12, November, 2022. ISSN(E): 2788-0303.
- [6]. Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. Ў., & Абдуллаев, З. Ж. (2021). Температурная задача двухслойных цилиндрических оболочек с композиционными защитными слоями. *Scientific progress*, 2(7), 343-348.
- [7]. Дусматов А.Д, Исследование прочности и деформативности и создание второго армирующего слоя двухслойной комбинированной цилиндрической оболочки, *ФерПИ ИТЖ*, 2023. 27 спец, вип №11 стр.71-77.
- [8]. Goncharova, N., Abobakirova, Z., Davlyatov, S., Umarov, S., & Mirzababayeva, S. (2023, September). Capillary permeability of concrete in aggressive dry hot climate. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 452, p. 06021).
- [9]. Abobakirova, Z., Umarov, S., & Raximov, R. (2023, September). Enclosing structures of a porous structure with polymeric reagents. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 452, p. 06027).
- [10]. Management of Innovative Working Behavior, Lesnikova, E.P., Jakhongirov, I.J., Sadykova, K.V., Zakharova, T.I., Santalova, M.S. *Lecture Notes in Networks and Systems* Эта ссылка отключена., 2021, 198, страницы 1008–1016.
- [11]. Y Karimov, I Musaev, S Mirzababayeva, Z Abobakirova, S Umarov, Land use and land cover change dynamics of Uzbekistan: a review, *E3S Web of Conferences* 421, 03007
- [12]. Akramov, X., Davlyatov, S., Umarov, S., & Abobakirova, Z. (2023). Method of experimental research of concrete beams with fiberglass reinforcement for bending. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 365, p. 02021). EDP Sciences.
- [13]. Goncharova, N., Abobakirova, Z., Davlyatov, S., Umarov, S., & Mukhamedzanov, A. (2023). Polymer reagent in construction practice. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 365, p. 02024). EDP Sciences.
- [14]. Mirzababayeva, S., Abobakirova, Z., Umarov, S. Crack resistance of bent concrete structures with fiberglass reinforcement, *E3S Web of Conferences*, 2023, 452, 06023.
- [15]. Abobakirova, Z., Umarov, S., Raximov, R. Enclosing structures of a porous structure with polymeric reagents *E3S Web of Conferences*, 2023, 452, 06027
- [16]. Strength and uniformity of composite reinforced columns, [Akramov, K.](#), [Davlyatov, S.](#), [Kimsanov, B.](#) *E3S Web of Conferences*, 2023, 452, 06012.
- [17]. Smart-City Ecosystem Using Block-Chain Technology [Davlyatov, S.](#) *2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering, ICACITE 2023*, 2023, страницы 1077–1080
- [18]. Artificial Intelligence Techniques: Smart Way to Smart Grid, [Davlyatov, S.](#) *2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication, AISC 2023*, 2023, страницы 838–842
- [19]. Salimov, O. M. (2020). Abduraxmanov UA Rare Devonbegi Madrasah in Samarkand (restoration and repair) *Architecture. Construction. Design Nauchno-prakticheskiy journal. Tashkentskiy arxitekturno stroitelnye Institute*, 1.).
- [20]. Comparison of current and expired norms for the development of methods for checking and monitoring the seismic resistance of buildings. Shodiljon Umarov, Khusnitdin Akramov,



- Zebuniso Abobakirova and Saxiba Mirzababayeva, E3S Web Conf., 474 (2024) 01020, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447401020>.
- [21]. Abobakirova Z. A., Bobofozilov O. Ispolzovanie shlakovykh vyajushchix v konstruktsionnykh solestoykix betonax //international conferences on learning and teaching. – 2022. – T. 1. – №. 6..
- [22]. Abobakirova Z. A., Bobofozilov O. Remont betonnoho pola–vidy povrejdeniy i меры po ix ustraneniyu //international conferences on learning and teaching. – 2022. – t. 1. – №. 10. – s. 32-38..
- [23]. Abobakirova, Z. A. (2021). Regulation Of The Resistance Of Cement Concrete With Polymer Additive And Activated Liquid Medium. The American Journal of Applied sciences, 3(04), 172-177.
- [24]. Asrorovna A. Z. Effects Of A Dry Hot Climate And Salt Aggression On The Permeability Of Concrete //The American Journal of Engineering and Technology. – 2021. – T. 3. – №. 06. – S. 6-10.
- [25]. Abobakirova Z. A. Regulation Of The Resistance Of Cement Concrete With Polymer Additive And Activated Liquid Medium //The American Journal of Applied sciences. – 2021. – T. 3. – №. 04. – S. 172-177.
- [26]. Akhrarovich A. X., Mamajonovich M. Y., Abdugofurovich U. S. Development Of Deformations In The Reinforcement Of Beams With Composite Reinforcement //The American Journal of Applied sciences. – 2021. – T. 3. – №. 5. – S. 196-202.
- [27]. Goncharova N. I., Abobakirova Z. A., Kimsanov Z. Technological Features of Magnetic Activation of Cement Paste" Advanced Research in Science //Engineering and Technology. – 2019. – T. 6. – №. 5.
- [28]. Kimsanov Z. O., Goncharova N. I., Abobakirova Z. A. Izuchenie texnologicheskix faktorov magnitnoy aktivatsii sementnogo testa //Molodoy uchenyy. – 2019. – №. 23. – S. 105-106.
- [29].Goncharova N. I., Abobakirova Z. A. RECEPTION MIXED KNITTING WITH MICROADDITIVE AND GELPOLIMER THE ADDITIVE //Scientific-technical journal. – 2021. – T. 4. – №. 2. – S. 87-91
- [30].Goncharova N. I., Abobakirova Z. A., Mukhamedzanov A. R. Capillary permeability of concrete in salt media in dry hot climate //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2020. – T. 2281. – №. 1. – S. 020028.

