

МЕЖСЛОЕВЫЕ СДВИГИ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛА И СТЕКЛОПЛАСТИКА

Ахтамбаев С.С.

ассистент Ферганский политехнический институт

Аннотация: В работе рассматривается межслоевые сдвиги двухслойных комбинированных плит на основе металла и стеклопластика. Также рассматривается влияние поперечного сдвига композитного слоя на прочность и деформативность двухслойной комбинированной плиты. Также рассматривается междуслоевые сдвиги плиты выполненная на основе металла и стеклопластика, отличающихся по толщине и физика механическими свойствами. Исследовано влияние НДС таких плит на их прочность и деформативность.

Ключевые слова: Двухслойная комбинированная плита, равномерно-распределенная нагрузка, перемещение срединной поверхности, функция сдвига, касательные напряжения, прогиб, поперечный сдвиг, прочность, податливость клевого шва деформативность, модуль сдвига.

INTERLAYER SHIFT OF TWO-LAYER COMBINED PLATES BASED ON METAL AND FIBERGLASS

Akhtambaev S.S.

assistant Fergana polytechnic institute

Abstract: The paper considers interlayer shifts of two-layer combined slabs based on metal and fiberglass. The influence of the transverse shear of the composite layer on the strength and deformability of a two-layer combined slab is also considered. We also consider interlayer shifts of a slab made on the basis

of metal and fiberglass, which differ in thickness and physico-mechanical properties. The influence of the stress-strain state of such plates on their strength and deformability has been studied.

Key words: Two-layer combined slab, uniformly distributed load, displacement of the middle surface, shear function, shear stresses, deflection, transverse shear, strength, compliance of the adhesive joint, deformability, shear modulus.

При эксплуатации слоистых плит и оболочек необходимо учитывать работу склеивающего шва, так как он позволяет создавать надёжную конструкцию в неблагоприятных производственных условиях [1,2,3], предохраняя их от нагрева и внешних давлений.

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

Продолжим 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 металла и стеклопластика по уточненной теории [3,4,5], позволяет оценить прочность и деформативность с достаточной высокой точностью при решении инженерных задач.

Рассмотрим 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 [3,6,7,8]: 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

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

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

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 металла;

$\Phi_i = \Phi_i(x, y)$ – 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 $-\frac{\delta}{2} \leq \gamma_1 \leq \frac{\delta}{2}$.

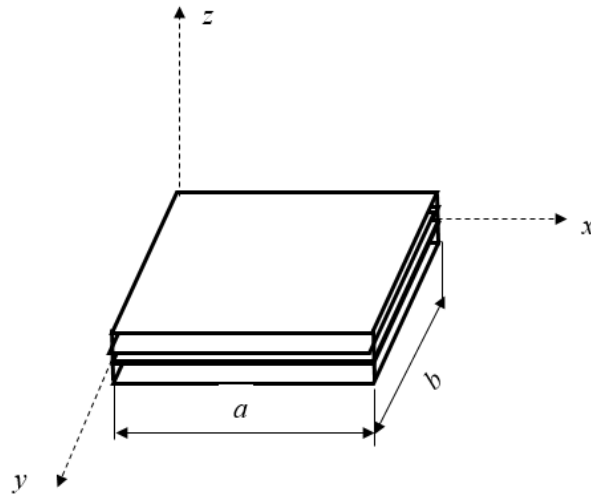


Рис.1. Соединение двухслойных ортотропных комбинированных плит.

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 $\gamma = -\frac{h}{2}$; $\varepsilon_{\text{ш}ik} = h_{\text{ш}}/G_{\text{ш}ik}$;

$h_{\text{ш}}, G_{\text{ш}ik}$ – 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

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

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

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

Деформации в слоях определяются известными соотношениями Коши

$$\varepsilon_x^{(i)} = \frac{\partial u^{(i)}}{\partial x};$$

$$\varepsilon_y^{(i)} = \frac{\partial v^{(i)}}{\partial y};$$

$$\varepsilon_{xy}^{(i)} = \frac{\partial v^{(i)}}{\partial x} + \frac{\partial u^{(i)}}{\partial y}, \quad (8)$$

Для напряжений в слоях имеем

$$\sigma_x^{(i)} = B^{(i)}_{11} \varepsilon_x^{(i)} + B^{(i)}_{12} \varepsilon_y^{(i)};$$

$$\sigma_y^{(i)} = B^{(i)}_{22} \varepsilon_y^{(i)} + B^{(i)}_{12} \varepsilon_x^{(i)};$$

$$\tau_{xy}^{(i)} = G^{(i)}_{11} \varepsilon_{xy}^{(i)}; \quad (9)$$

где

$$B^{(i)}_{11} = \frac{E^{(i)}_1}{1 - \mu_1 \mu_2};$$

$$B^{(i)}_{12} = \frac{\mu_1 E^{(i)}_2}{1 - \mu_1 \mu_2};$$

$$B^{(i)}_{22} = \frac{E^{(i)}_2}{1 - \mu_1 \mu_2};$$

$E^{(i)}_1, E^{(i)}_2$ – 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

$$u = \frac{1}{2} \iiint_S (\sigma_x^{(i)} \varepsilon_x^{(i)} + \sigma_y^{(i)} \varepsilon_y^{(i)} + \tau_{xy}^{(i)} \varepsilon_{xy}^{(i)}) + \\ + \frac{1}{2} \iint_S (\tau_1^2 \varepsilon_{11} + \tau_2^2 \varepsilon_{23} - 2qw) ds. \quad (10)$$

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.

Пример. Рассмотрим прямоугольную квадратную двухслойную плиту размером $a = b = 1.2$ м. Толщина первого и второго слоев соответственно $h = 1.5 \times 10^{-2}$ м. Упругие характеристики комбинированных плит приняты по работам [3,4].

$$E_1^{(1)} = 3.05 \text{ МПа}; \quad E_2^{(1)} = 1.88 \text{ МПа}; \quad \mu^{(1)} = 0.18 ;$$

$$E_1^{(2)} = E_2^{(2)} = 0.21 \times 10^2 \text{ МПа}; \quad \mu^{(2)} = 0.26 ;$$

$$G_{12}^{(1)} = 0.49 \text{ МПа}; \quad G_{13}^{(1)} = 0.31 \text{ МПа};$$

$$G_{23}^{(1)} = 0.35 \text{ МПа}; \quad G_{ik}^{(2)} = 81 \text{ МПа}; \quad q = 1.$$

Численные примеры показали, что модуль сдвига и толщина шва оказывают большое влияние на прочность и деформативность комбинированных двухслойных плит, если модуль сдвига склеивающего слоя значительно меньше модуля сдвига слоев. Если первый мощный слой состоит из композиционного материала, то влияние поперечного сдвига на напряженно-деформированное состояние комбинированных плит будет больше.

Следует заметить, что, чем меньше модуль, тем больше влияние податливости шва на деформативность слоистых комбинированных плит. Приняв для эпоксидного клея ($G_{шik} = 0.5 \times 10^{-2}$ МПа), увидим, что увеличение модуля сдвига шва в 10 раз уменьшает напряжение в стеклопластиковом слое, что составляет 4.45 % ($\sigma^{(1)}$), а в металлическом слое увеличивает его на 10 % . Изменение толщины склеивающего слоя в два раза (с $h_{ш} = 10^{-4}$ до 0.5×10^{-4} м) изменяет напряжение в стеклопластике по направлению к x на 4.1 % (см. рис. 2, 3), построенной для точки $x = 0.5a, y = 0.5b$.

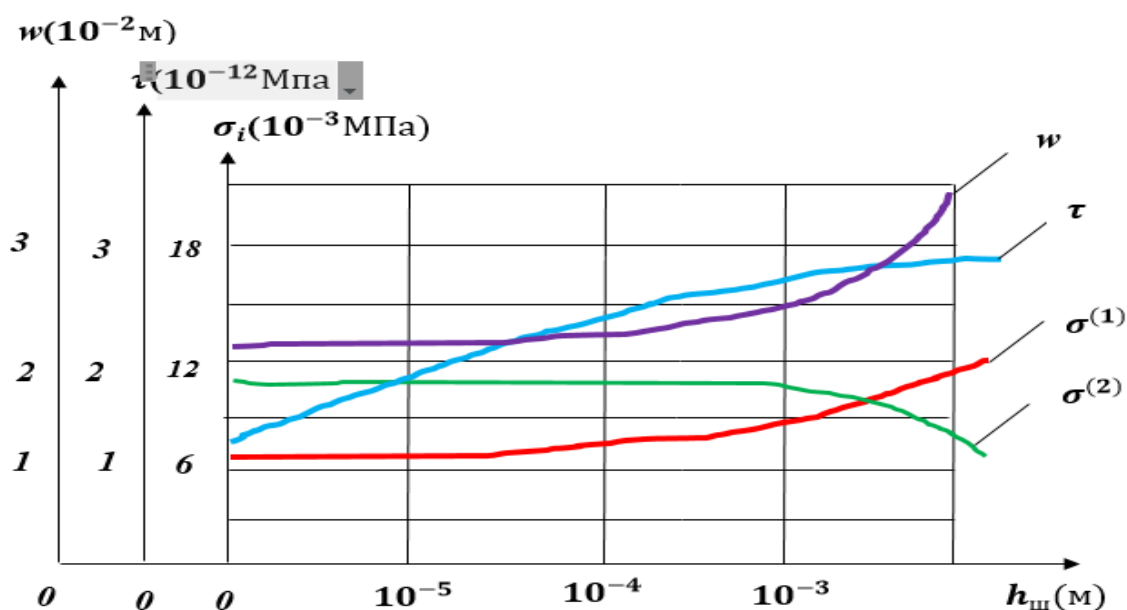


Рис. 2.

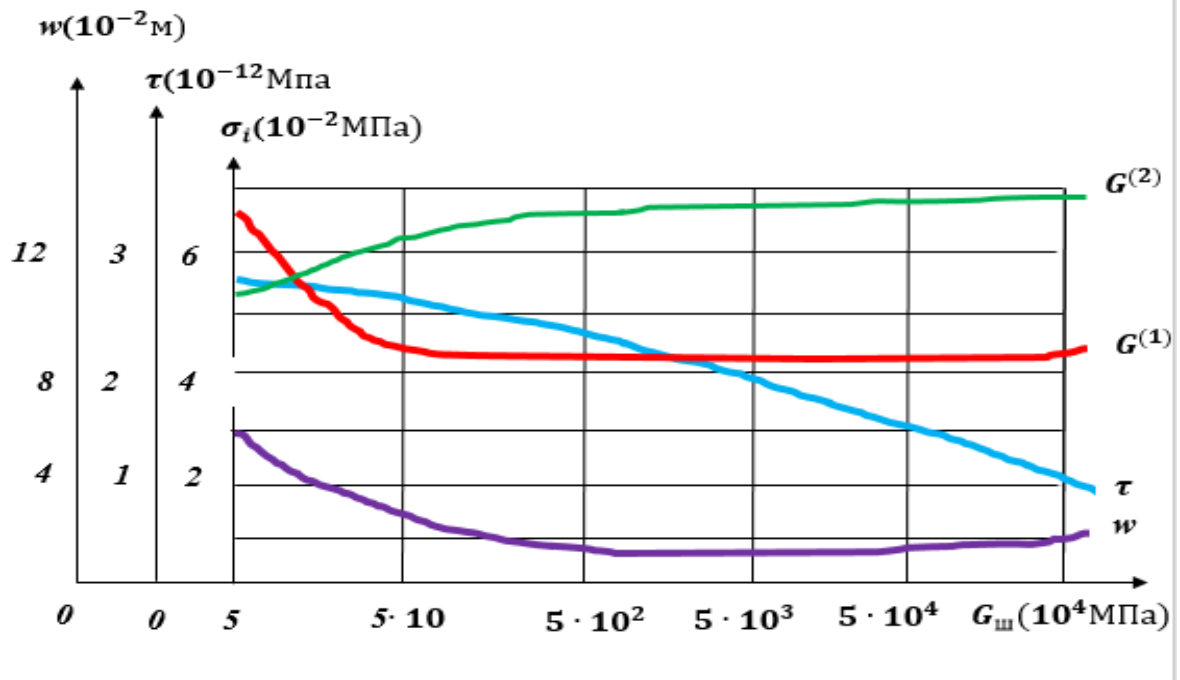


Рис. 3.

Таким образом, чем больше модуль сдвига шва, тем меньше его влияние на напряженно-деформированное состояние.

Анализ показал, что увеличение толщины склеивающего слоя, выполненного из эпоксидного клея К-147 ($G_{шik} = 0.5 \times 10^{-2}$ МПа), в 10 раз (с 10^{-4} до 10^{-3} м) увеличивает прогиб плиты на 21 %. При большом значении $G_{шik}$ порядка 0.81×10^2 МПа толщина шва на прогибы сказывается незначительно (меньше 1 %). Установлена закономерность, что, чем больше толщина несущего стеклопластикового слоя, тем меньше влияние модуля сдвига шва на напряжения и деформативность двухслойных комбинированных плит. Прогиб стеклопластиковых плит с внешним металлическим армированием по рассматриваемой теории [2], учитывающей межслоевой сдвиг при $h = 1.5 \times 10^{-2}$ м, $\delta = 0.2 \times 10^{-2}$ м, $h_{ш} = 0.5 \times 10^{-3}$ м и $G_{шik} = 0.5 \times 10^{-2}$ МПа, меньше на 64.64 % по сравнению с прогибом плиты без внешнего армирующего слоя.

Установлена закономерность, чем больше толщина несущего металлического слоя, тем меньше влияние модуля сдвига шва на напряжения и деформированность двухслойных комбинированных плит.

На основании приведенных расчетов можно сделать вывод, что возможно увеличение прочности двухслойных комбинированных плит с учетом сдвигов неметаллического слоя на 18-20% по сравнению с однослойными металлическими плитами.

Список литературы

1. Халилов, Ш. З., Ахтамбаев, С. С., & Халилов, З. Ш. (2020). Результаты исследования динамики сушки хлебной массы в широкополосных валках. Журнал Технических исследований, 3(2).
2. Ахтамбаев, С. С., & Тожибоев, Б. Т. (2022). Определение теплового состояния крышек цилиндров и вулканов. *Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali*, 2(4), 33-42.
3. Рахмонов, А. Т. У., & Ахтамбаев, С. С. (2021). Причины вибрации в станках и методы их устранения. *Scientific progress*, 2(6), 89-97.
4. Qo'chqarov, B. U., Tojiboyev, B. T., & Axtambayev, S. S. (2021). Experimental determination of the gas consumption sent to the device for wet dusting in the humid mode. *Экономика и социум*, (6-1), 226-229.
5. Dusmatovich, D. A., Urmonjonovich, A. A., Djuraevich, A. Z., & Sohibjonovich, A. S. (2021). The research influence of strained-deformed state of two-layers axially symmetrical cylindrical clad layers on their physicmechanical properties. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 8(10)
6. А.Д.Дусматов, Х.Ж.Эркабоев, А.У.Ахмедов. Междуслоевые сдвиги двухслойных комбинированных пластин и оболочек. Монография. *Classic 2021*. ,133с.
7. A.D.Dusmatov, A.U.Akhmedov. Interlayer shears of two-layer combined plates and shells. LAP LAMBERT Academic Publishing. Publishing

Department of FARPI «SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL», 2022. 134 pages.

8. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. Наука , гл, ред. Ф.М.Л, 1967 (с.24-51), с.266.
9. Ақтамбаев, С. (2022). ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА БАББИТНОЕ ПОКРЫТИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ В ПОДШИПНИКАХ. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(3), 898-904.
10. Касимов, И. И., Дусматов, А. Д., Хамзаев, И. Х., Ахмедов, А. У., & Абдуллаев, З. Д. (2020). Исследование влияния напряженно-деформированного состояния трехслойных комбинированных пологих оболочек на их физико-механические характеристики. Журнал Технических исследований, 3(2)
11. Дусматов Абдурахим Дусматович, Ахмедов Ахмедов Урмонжонович, Маткаримов Шухрат Адхамович, & Мамажонов Ботиржон Алижон Уғли (2022). Междуслоевые сдвиги двухслойных комбинированных бетоностеклопластиковых плит. Universum: технические науки, (1-1 (94)), 78-82
12. Касимов, И. И., Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. У., & Абдуллаев, З. Д. (2020). РАСЧЕТ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ. Журнал Технических исследований, 3(1).
13. Касимов, И. И., Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. У., & Абдуллаев, З. Д. (2019). ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. Техник тадқиқотлар журнали, (2).
14. Kasimov, I. I., Dusmatov, A. D., Akhmedov, A. U., & Abdullaev, Z. J. (2019). THE RESEARCH OF TWO LAYERS AXIALLY SYMMETRICAL CYLINDRICAL CLAD LAYERS ON THEIR PHYSIC MECHANICAL PROPERTIES. Журнал Технических исследований, (2).
15. Kasimov Ibrahim Irkinovich, Hamzaev Inomjon Hamzaevich, Dusmatov Abduraxim Dusmatovich, Akhmedov Axadjon Urmonjonovich. Strength and deformation conditions of large deformation-resistant asphalt slabs lying on an elastic base. Int J Agric Extension Social Dev 2020;3(2):13-19.
16. Qosimov Ibrokhim Erkinovich, Dusmatov Abdurakhim Dusmatovich, Akhmedov Akhadjon Urmonjonovich. The study of the effect of vehicles on the deformation of modified asphalt: Concrete coatings. Int J Agric Extension Social Dev 2020;3(2):06-08.
17. Дусматов, А. Д., Гаппаров, Қ. Ғ., Ахмедов, А. Ў., & Абдуллаев, З. Ж. (2021). ВЛИЯНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВО ДВУХСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК В

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ. *Scientific progress*, 2(8), 528-533

18. 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.
19. Оқйўлов К. Р. Ў., Абдуқодиров Н. Ш. Ў. Деталларни юзаларини кимёвий-термик ишлаш усули орқали қаттиқлигини ошириш муаммолари // *Scientific progress*. – 2021. – Т. 2. – №. 8. – С. 237-242.
20. Yunus, M., Sobitjon, A., Nurzod, A., & Gulnoza, J. (2021). RESEARCH OF PARAMETERS AT THE APPEARANCE OF SHEARING FORCES IN THE COMPOUND TENSION ROLLER OF TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL MACHINES. *Universum: технические науки*, (11-6 (92)), 5-1.
21. Обичаев, И. В. Ў., Абдуқодиров, Н. Ш. Ў., & Оқйўлов, К. Р. Ў. (2021). Котель ва бошқа оловли технологиялар учун нефт шламларни тоза ёқилғи сифатида қўллаш. *Scientific progress*, 2(6), 918-925.
22. Abduqodirov, N. S. O. G. L., Oqyo'lov, K. R. O. G., & Jalilova, G. X. Q. (2021). Paxta xomashyosini quritish va tozalash. *Scientific progress*, 2(1), 857-861.
23. Oqyo, K. R. O. G. L., Abduqodirov, N. S. O. G. L., O'G'Li, A. T. L., & G'Azaloy, G. (2021). Mashina va mexanizmlarning ish jarayonida vujudga kelgan vibratsiya sabablari va so'ndirish qurilmalari. *Scientific progress*, 2(6), 576-579.
24. Abduqodirov, N. S. O., Oqyolov, K. R. O., Jalilova, G. X. Q., & Nishonova, G. G. (2021). Causes and extinguishing equipment of vibrations occurred by machinery and mechanisms. *Scientific progress*, 2(2), 950-953.
25. Abduqodirov, N. S. O. G. L., Oqyo, K. R. O. G. L., Omonov, A. A. O. G. L., & Raimjonov, Q. R. O. (2021). Xom paxtani quritish va tozalash uchun regressiya modelini qurish. *Scientific progress*, 2(1), 687-693.
26. Abducodirov, N., & Okyulov, K. (2021). Improvement of drum dryer design. *Экономика и социум*, (4-1), 13-16.
27. Oqyo'lov, K. R. O. G. L., & Abduqodirov, N. S. O. G. L. (2021). Kartoshka tuganaklarini saralash mashinalarining samaradorlik asoslari. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(10), 189-196.
28. Tojiev R. J. Drying glass feed stock in drum drier for manufacturing glass products // *Scientific-technical journal*. – 2019. – Т. 22. – №. 3. – С. 137-140.
29. Мансуров Мухторжон Тоҳиржонович, Ахунбаев Адил Алимович, & Абдуқодиров Нурзод Шавкатжон Ўғли (2022). Барабанли қуритгичда материалнинг бўйлама аралаштириш жараёнини тадқиқ қилиш. *Механика и технология*, 4 (9), 90-96.
30. Mansurov Muxtorjon Tohirjonovich, Tojiyev Rasul Jumaboyevich, & Abduqodirov Nurzod Shavkatjon O'G'Li (2022). Qishloq xo'jaligida donlarni barabanli qurutgichda quritish. *Механика и технология*, 2 (7), 177-182
31. АХТАМБАЕВ, А., ЖАЛИЛОВА, Г., ОКЙУЛОВ, К., & АБДУКОДИРОВ, Н. *ЭКОНОМИКА И СОЦИУМ. ЭКОНОМИКА*, (10), 506-512.