

## *Междуслоевые сдвиги двухслойных комбинированных пластин и оболочек с учетом усадки и неравномерного нагрева слоев*

*к.т.н., доц. Дусматов А.Д*  
*Ферганский политехнический институт*  
*кафедра. "БИҚ"*

**Аннотация:** При работе комбинированных двухслойных плит и оболочек возникающие поперечные сдвиги могут существенно изменить картину деформированного состояния. Особенно важно уметь правильно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) этого рода конструкций с учетом межслоевых сдвигов. Этим вопросам посвящены исследования, выполненные в настоящей работе.

**Ключевые слова:** НДС, внешних нагрузок, плит.

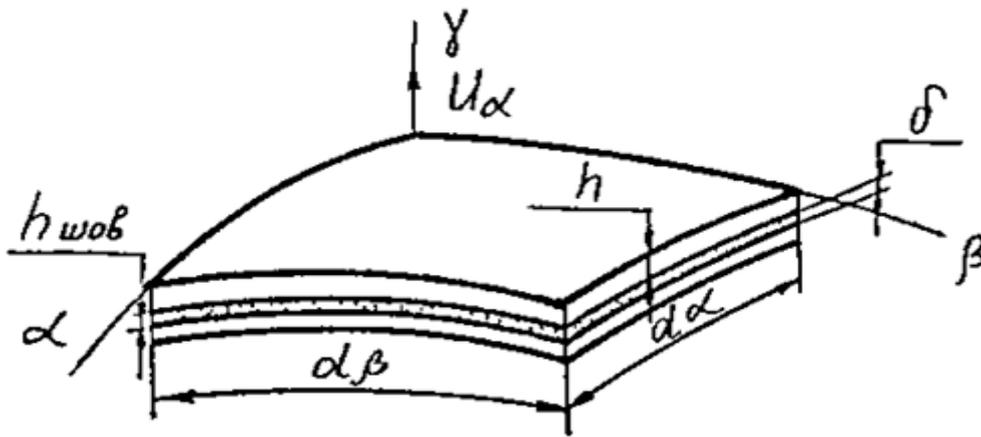
### **ВВЕДЕНИЕ**

При работе комбинированных двухслойных плит и оболочек возникающие поперечные сдвиги могут существенно изменить картину деформированного состояния. Особенно важно уметь правильно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) этого рода конструкций с учетом межслоевых сдвигов. Этим вопросам посвящены исследования, выполненные в настоящей работе.

Рассматривается комбинированная оболочка, состоящая из двух слоев, связанных между собой податливым тонким клеевым швом находящихся под действием внешних нагрузок. Система координат принимается согласно рис.1. Напряженно-деформированное состояние комбинированных оболочек будем определять при следующих допущениях:

- 1) толщины ортотропных слоев постоянные и оболочка работает только в упругой стадии;
- 2) толщина несущего слоя значительно больше армирующего ( $h > \delta$ );
- 3) касательные напряжения  $\tau_{\alpha\gamma}$ ,  $\tau_{\beta\gamma}$  или соответствующие им деформации  $e_{\alpha\gamma}$ ,  $e_{\beta\gamma}$  по толщине оболочки меняются по заданному закону
- 4) Нормальное к срединной поверхности оболочки перемещение не зависит от координаты  $\gamma$  [1];
- 5) давление между слоями отсутствует ( $\sigma_\gamma = 0$ ).





**Рис.1 Комбинированная двухслойная оболочка**

Касательные напряжения, действующие в этом слое, передаются на несущий и армирующий слои. Закон распределения этих напряжений в слоях может быть принят линейным так, чтобы удовлетворялись граничные условия для касательных напряжений на верхней и нижней поверхностях. (рис.2)

В связи с этим касательные напряжения имеют следующие аналитические выражения:

а) в несущем (первом) слое

$$\tau_{\alpha\gamma,(\beta\gamma)} = \tau_{1,(2)}(\alpha, \beta) \left( \frac{1}{2} + \frac{\gamma}{h} \right); \quad (1)$$

б) в армирующем слое

$$\tau_{\alpha\gamma,(\beta\gamma)} = \tau_{1,(2)}(\alpha, \beta) \left( \frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta_n} \right); \quad (2)$$

Принимая во внимание принятые гипотезы, имеем:

$$e_\gamma = 0; U_\gamma = \omega(\alpha, \beta); \quad (3)$$

Деформации сдвига несущего слоя можно записать в виде:

$$\begin{aligned} e_{\alpha\gamma} &= 0,5 \left( \frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_1(\alpha, \beta) + \left( 0.5 - \frac{\gamma}{h} \right) \frac{\tau_1(\alpha, \beta)}{G_{13}^{(1)}}, \\ e_{\beta\gamma} &= 0,5 \left( \frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_2(\alpha, \beta) + \left( 0.5 - \frac{\gamma}{h} \right) \frac{\tau_2(\alpha, \beta)}{G_{23}^{(1)}}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$e_{\beta\gamma} = 0,5 \left( \frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_2(\alpha, \beta) + \left( 0.5 - \frac{\gamma}{h} \right) \frac{\tau_2(\alpha, \beta)}{G_{23}^{(1)}}$$

Деформации сдвига армирующего слоя

$$\begin{aligned} e_{\alpha\gamma}^{(2)} &= \left( \frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta} \right) \frac{1}{G_{13}^{(2)}} \tau_1(\alpha, \beta) \\ e_{\beta\gamma}^{(2)} &= \left( \frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta} \right) \frac{1}{G_{23}^{(2)}} \tau_2(\alpha, \beta) \end{aligned} \quad (5)$$

В более мощном (первом) несущем слое полагаем наличие сдвигом, возникающих за счет действия поперечной силы и определяемых функциями:

$\Phi_1(\alpha, \beta), \Phi_2(\alpha, \beta)$ .

Здесь  $h, \delta$  – толщина несущего и армирующего слоев;

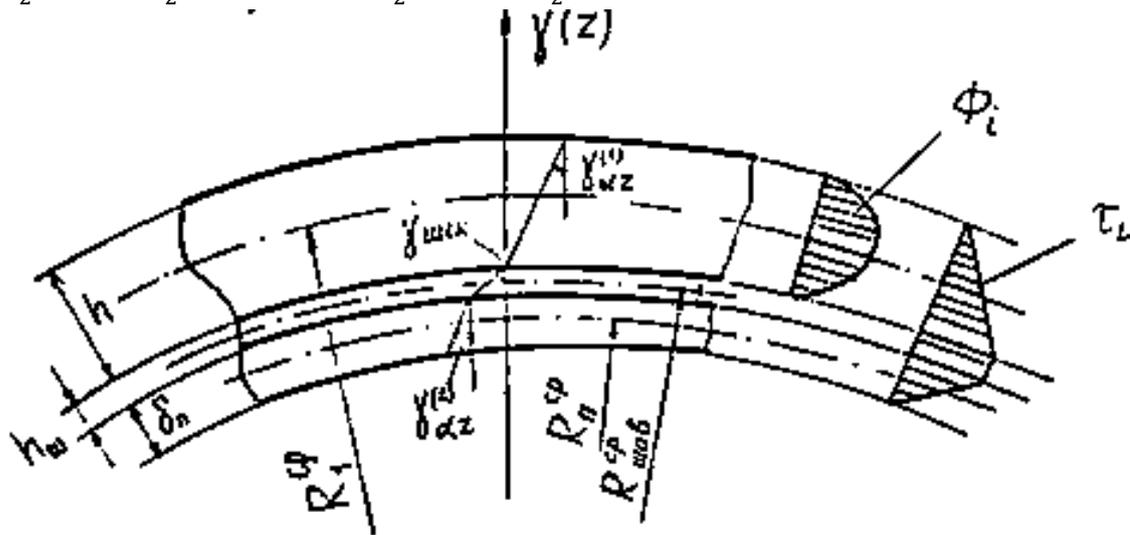
$\Phi_i = \Phi_i(\alpha, \beta)$  – произвольные искомые функции сдвига;

$\tau_i = \tau_i(\alpha, \beta)$  – искомые касательные напряжения;

$G_{ik}^{(1)}, G_{ik}^{(2)}$  – модули сдвигов первого и второго слоев ( $i=1,2; K=3$ ).



Координаты  $\gamma$  имеют следующие границы изменения: для первого слоя - -  
 $-\frac{h}{2} \leq \gamma \leq +\frac{h}{2}$ ; для второго  $-\frac{\delta}{2} \leq \gamma_1 \leq +\frac{\delta}{2}$ .



**Рис.2** Распределения функций  $\Phi_i, \tau_i$  по толщине оболочки

В работе задача термоупругости двухслойных пластин (плит) и оболочек решается с использованием уточненной теории С.А. Амбарцумяна. При этом считается, что второй стеклопластиковый армирующий слой имеет значительно меньшую толщину, чем первый. При решении данной задачи справедливы гипотезы, принятые в [1,2-30]. Построение уточненной теории в работе основано на энергетических соображениях [1,6-23].

Тепловое воздействие оказывает существенное влияние на поведение конструкционного материала. При нагреве в комбинированных конструкциях существенно изменяются напряжения в склеивающем и стеклопластиковом слоях. Температура сильно влияет на все механические свойства композитного слоя комбинированных слоистых плит и оболочек.

Считается, что тепловой поток действует в поперечном направлении. Из решения задачи теплопроводности получено такое распределение температуры в слоях: в первом слое

$$T_1 = T_1^0 + \theta_1 \gamma \quad \text{во втором слое} \quad T_2 = T_2^0 + \theta_2 \gamma_1$$

При этом 
$$-\frac{h}{2} \leq \gamma \leq +\frac{h}{2};$$

$\theta_1, \theta_2$  – Температурные градиенты в слоях;

$T_1^0, T_2^0$  – Температуры срединных плоскостей слоев.

Принимая как обычно для полных деформаций:

$$\varepsilon_{пол} = \varepsilon^y + \varepsilon_T + \varepsilon^{yc}, \quad (6)$$

Где:  $\varepsilon^y$  – упругие деформации системы,

$\varepsilon^T$  – деформации слоев от температурных нагрузок,

$\varepsilon^{yc}$  – деформации слоев от усадки слоев.

Для получения основных уравнений равновесия комбинированных двухслойных упругих оболочек с податливыми швами воспользуемся вариационным принципом Лагранжа, который открывает естественный путь для сведения трехмерной задачи механики сплошной среды к одномерным и двумерным задачам. Следует отметить, что рассматриваемый принцип одновременно позволяет получить и соответствующие естественные граничные условия для



каждого выбранного искомого неизвестного, а также служит основой для различных приближенных методов в том числе для решения комбинированных ортотропных плит и оболочек с межслоевыми сдвигами. [4,5,7-30]

Согласно вариационному принципу Лагранжа, потенциальная энергия упругой системы в положении равновесия принимает стационарное значение. Она складывается из потенциальной энергии упругой деформации слоев клеевого шва, температурных нагрузок, от усадки неметаллического (композитного) слоя и работы внешней нагрузки.

В качестве примера для анализа влияния податливости склеивающего слоя на НДС двухслойную цилиндрическую оболочку с учетом поперечных сдвигов. Расчет произведен при следующих параметрах.

$$E_1^{(1)} = E_2^{(1)} = 2.02 \cdot 10^5; \mu_{12}^{(1)} = \mu_{21}^{(1)} = 0,285; E_1^{(2)} = 0,471 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_1^{(2)} = 0,49 \cdot 10^5 \text{ МПа}, G_{12}^1 = G_{13}^1 = G_{23}^1 = 7,87 \cdot 10^4 \text{ МПа}; G_{12}^2 = 5.5 \cdot 10^3 \text{ МПа}, G_{13}^2 = 4,2 \cdot 10^3 \text{ МПа}, G_{23}^2 = 0,35 \cdot 10^3 \text{ МПа}. \mu_{12}^{(2)} = \mu_{21}^{(2)} + 0,385, R_M = 10.40 \text{ см}, R_n = 10.30 \text{ см};$$

Где  $\tau_1$  – касательная напряжения первого несущего слоя,

$W$  – прогиб,  $U_0$  – перемещения срединной поверхности несущего слоя

Если учесть только усадку стеклопластикового слоя ( $q=0, T^0=0^0\text{C}$ ), при  $\beta_{2x} = \beta_{2y} = 0,4 \cdot 10^{-6}$  при  $h_{ш} = 0,01$  ММ изменение модуля сдвига шва в 100 раз (от  $5 \cdot 10^2$  МПа до  $5 \cdot 10^4$  МПа) приводит к изменению напряжений в стеклопластиковом слое  $\delta_\alpha^{(2)}$  и  $\delta_\beta^{(2)}$  на 0,05 и 0,02 %, прогиб также увеличивается незначительно (лишь на 0,03% .) А если одновременно учесть усадку и неравномерный нагрев ( $T_{нар} = 20^0\text{C}, T_{вн} = 200^0\text{C}, T_{шов} = 68^0\text{C}, q = 0$ ), то увеличение  $G_{шк}$  в 100 раз (при  $\alpha = \frac{l}{6}$ ) от  $G_{шik} = 5 \cdot 10^2$  МПа до  $5 \cdot 10^4$  МПа приводит

а) к уменьшению прогиба на 6.5%;

б) уменьшению  $U_0$  на 2,8%;

в) уменьшению  $\tau_1$  на 25%;

г) увеличению  $\phi_1$  на 45%; (см,рис.3.8)

Эпюры  $U_0, \tau_1, \phi_1$  и  $W$  вдоль оси  $\alpha$  показаны на рис. 3.



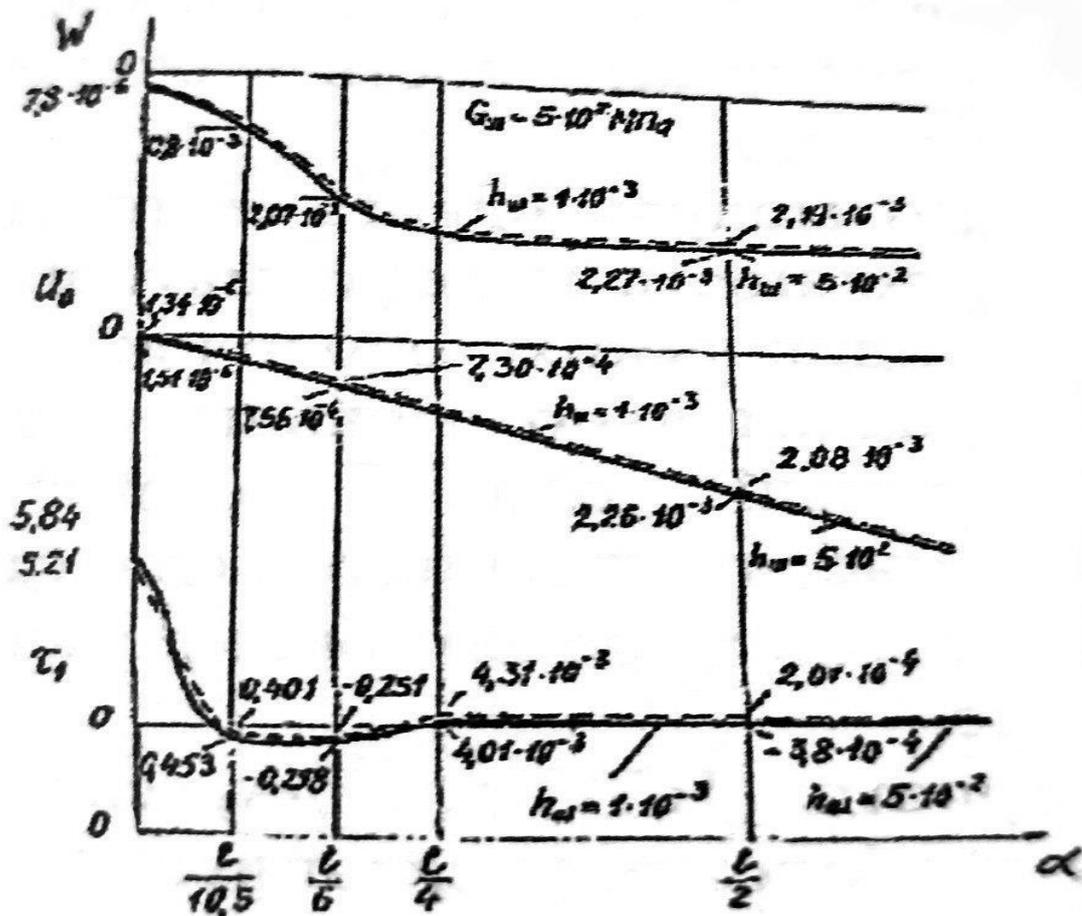


Рис.3. Распределения  $\tau_i$ ,  $U_0$  и  $W$  по длине оболочки

При малых сдвиговых жесткостях увеличение толщины склеивающего шва оказывает существенное влияние на деформативность оболочки. Так, например, увеличение  $h_{ш}$  от  $1 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-2}$  см (при  $\alpha = \frac{l}{2}$ ) приводит к увеличению  $W$  на 3,6% а также к увеличению  $U_0$  на 7,96%.

Следует заметить что чем меньше модуль сдвига, тем больше влияние податливости шва на деформативность слоистых комбинированных цилиндрических оболочек.

Численные примеры показали, что модуль сдвига и толщина шва оказывают большое влияние на прочность и деформативность комбинированных двухслойных цилиндрических оболочек, если модуль сдвига склеивающего слоя значительно меньше модуля сдвига слоев.

#### 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]. Дустматов 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. Ё., & 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 комбиринованной цилиндрической оболочки, ФерПИИ 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 SystemsЭта 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 vyajujicix 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.

