

Г.Қ. Мұрсалиева¹, С.Х. Достанова²

^{1,2}Казахский научно-исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан

Информация об авторах:

Мұрсалиева Гүлмарал Қуанышқызы – магистрант, Казахский научно-исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7742-9989>, e-mail: Gulmaralmursalieva@mail.ru

Достанова Сауле Хажигумаровна – доктор технических наук, ассоц. профессор, Казахский научно-исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-2232-3068>, e-mail: s.dostanova@satbayev.university

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СВЯЗЕЙ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

Аннотация. В статье показано влияние конструктивных особенностей связей на напряженное состояние железобетонных плит перекрытий. Представлены разрешающие уравнения для расчета плит. Сделан численный расчет для нескольких вариантов закреплений гладких и ребристых плит и представлены графики изменения внутренних усилий в зависимости от жесткостных характеристик связей.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, гладкие и ребристые плиты перекрытий, жесткость, нормальные и касательные напряжения, конструктивная нелинейность.

Введение

Целью проектирования является обеспечение несущей способности и эксплуатационной пригодности несущих элементов конструкций на всех стадиях их жизненного цикла с требуемым уровнем надежности (возведение, эксплуатация, реконструкция, демонтаж). Расчет конструкции должен учитывать поведение конструктивных элементов на всех стадиях строительства с использованием соответствующей геометрии и свойств для каждой стадии, их взаимодействие с другими элементами с учетом возможной деформации и прочности соединений. В связи с этим проблема расчета несущих элементов конструкций с учетом действительных условий их взаимодействия является актуальной и требует совершенства их расчета [1-10].

Важнейшим видом несущих конструкций гражданских зданий являются перекрытия. Анализ проектных решений показывает, что в гражданских зданиях более 25-30% материалов расходуется на перекрытие. Перекрытия испытывают в реальных условиях длительные, а иногда – повторные нагрузки. Методы расчета, применяемые при проектировании изгибаемых элементов перекрытий и покрытий зданий, должны обеспечить рациональное расходование материалов в них, расчеты необходимо вести с учетом условий эксплуатации на длительные и повторные нагрузки.

Существующие методы расчета и проектирования железобетонных конструкций, в том числе используемые в наших и зарубежных нормативных документах не отражают особенностей поведения «гибких» железобетонных конструкций, применяемых в перекрытиях; не учитывают поведение железобетонных изгибаемых элементов в доэксплуатационный период, напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций на различные эксплуатационные нагрузки: повторно-статические, длительные воздействия», фактических прочностных и деформативных свойств стали и бетона, что в конечном итоге приводит к значительному расхождению между расчетом и опытом. В результате это приводит, в одних случаях, к перерасходу материалов и усложнению конструктивного решения, а в других – к недостаточной надежности проектируемых и реализуемых конструкций [1-10].

Материалы и методы

В статье рассматривается появление конструктивной нелинейности несущих элементов конструкции, вызванной изменением расчетной схемы при увеличении нагрузки или изменением направления усилия [10]. Эти изменения вызваны ослаблением жесткости связей в процессе эксплуатации в железобетонных плитах покрытий и перекрытий. Рассмотрены различные варианты соединений гладких и ребристых железобетонных плит под действием внешней поперечной нагрузки. Условно введен параметр λ , характеризующий изменение жесткости соединения плит перекрытий: $\lambda=1$ – жесткое соединение по всем краям; $\lambda=0,5$ – жесткое по длинным и шарнирное соединение по коротким краям; $\lambda=0,25$ – шарнирное соединение по всем краям; $\lambda=0,15$ – шарнирное соединение по длинным краям. Класс бетона – В25.

Расчетной схемой является срединная плоскость гладкой пластины (рис. 1) 3х6 м в плане, толщина 0,15 м, а для ребристой плиты толщина 0,05 м в плане. В качестве математической модели плиты покрытия рассматривается уточненная теория расчета плит с учетом усилий в срединной плоскости пластины. На рис. 1 представлены характерные точки, которые находятся вблизи краев (А, С) и в середине (В), для них приведены значения напряжений и прогибов [13].

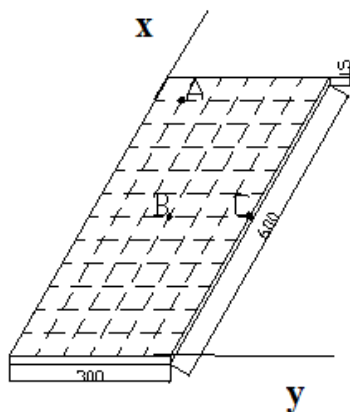


Рисунок 1 – Срединная плоскость пластины [материал автора]

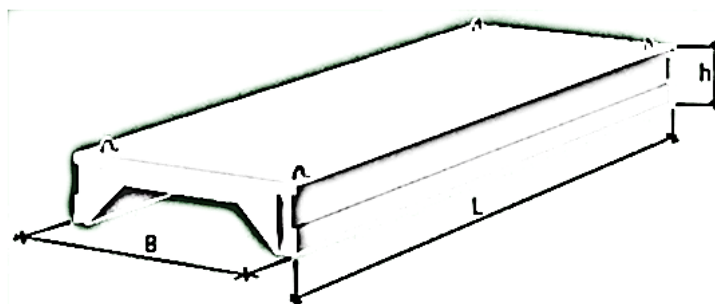


Рисунок 2 – Ребристая плита [материал автора]

Разрешающие уравнения для плит с учетом усилий в срединной плоскости пластины представлены в виде [11-12]:

$$D\Delta\Delta w - h\left(\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2\frac{\partial^2\Phi}{\partial y\partial x} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}\right) = q(x, y),$$

$$\Delta\Delta\Phi = E\left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}\right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right], \quad (1)$$

где Φ – функция напряжений, связанная с напряжениями в срединной поверхности пластины соотношением:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}, \quad \tau_{yx} = -\frac{\partial^2\Phi}{\partial y\partial x}. \quad (2)$$

Эти уравнения называются нелинейными уравнениями Кармана.

В результате рассмотрено 7 вариантов численного расчета плит с использованием метода конечных элементов и получены значения внутренних усилий для различных значений параметра λ :

- 1-вариант – гладкая плита при $\lambda=0, 15$;
- 2-вариант – гладкая плита при $\lambda=0, 25$;
- 3-вариант – гладкая плита при $\lambda=0, 5$;
- 4-вариант – гладкая плита при $\lambda=1$;
- 5-вариант – ребристая плита при $\lambda=0, 25$;
- 6-вариант – ребристая плита при $\lambda=0, 5$;
- 7-вариант – ребристая плита при $\lambda=1$.

Результаты и обсуждение

В таблицах 1-7 представлены для 7 указанных вариантов значения касательных и нормальных напряжений в характерных точках пластины, вызванные изгибными и мембранными усилиями, при различных значениях параметра λ , которые характеризуют жесткость связей.

Таблица 1 – Нормальные напряжения, вызванные M_x

Вариант плиты	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Напряжение в точке С
1	0,061	0,269	0,0972
2	0,23345	0,156	0,0665
3	-0,03798	0,28	-0,347
4	0,01506	0,811	0,0132
5	0,00802	0,0767	0,00841
6	0,01441	0,166	0,0353
7	0,00323	0,0344	0,00237

Таблица 2 – Нормальные напряжения, вызванные M_y

Вариант плиты	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Напряжение в точке С
1	1,143	3,77	3,84
2	-1,431	1,22	1,25
3	-0,04318	0,0816	-0,0655
4	0,02902	0,0471	0,0381
5	-0,02295	0,0274	0,0168
6	-0,05098	0,103	0,0522
7	-0,01628	0,00564	0,012

Таблица 3 – Касательные напряжения, вызванные M_{xy}

Вариант плиты	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Напряжение в точке С
1	0,275	0	0
2	-0,00533	0	0
3	0,06805	0	0
4	0,03045	0	0
5	0,03233	0,000383	0
6	0,06153	0	0
7	0,01625	0,00159	0

Таблица 4 – Касательные напряжения, вызванные Q_x

Вариант плиты	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Напряжение в точке С
1	0,04694	0	-0,149
2	-0,18949	0	-0,0915
3	0,1226	0	-1,09
4	0,03193	0,00488	-0,228
5	-0,00385	0	-0,23
6	-0,02708	0	-0,419
7	-0,00461	0,00587	-0,108

Таблица 5 – Касательные напряжения, вызванные Q_y

Вариант плиты	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Напряжение в точке С
1	-1,88	0	0
2	-2,15	0	0
3	-0,10073	0,00448	0
4	-0,10025	0	0
5	-0,13019	0	0
6	-0,12193	0	0
7	0,09269	0	0

Таблица 6 – Нормальные напряжения, вызванные N_x

Вариант плиты	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Напряжение в точке С
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-22,9	-110	-33,4
5	-10,5945	-111	-33,3
6	-4,225	-70,8	-22,3
7	-13,885	-107	-36,2

Таблица 7 – Нормальные напряжения, вызванные по N_y

Вариант плиты	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Напряжение в точке С
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	29,76	-29,8	-101
5	26,8925	-28,6	-105
6	17,55	-25,7	-85,3
7	29,1875	-30,3	-108

При проектировании и расчете плит покрытий и перекрытий необходимо учитывать возможное изменение жесткостных свойств креплений при возведении и длительной эксплуатации конструкции. Практика показывает, что жесткость связей ослабевает при увеличении внешней нагрузки и других изменений в работе конструкции. Это приводит к ослаблению несущей способности конструкции в целом и в отдельных элементах системы. Плиты покрытий и перекрытий являются несущими элементами, воспринимающими горизонтальные усилия, поэтому изменение из связей с ригелями и балками может привести к увеличению внутренних изгибных и мембранных усилий и, соответственно, к увеличению деформаций в срединной плоскости и прогибам. Поэтому необходимо дать оценку влияния связей на напряженное состояние плит покрытий и перекрытий.

Заклучение

В результате полученных значений для напряжений можно сделать следующие выводы:

1) в гладкой плите под действием нагрузки возникают незначительные продольные силы N_x и N_y , которыми можно пренебречь в сравнении с изгибными усилиями; с увеличением жесткости связей изгибные усилия уменьшаются, в направлении короткой стороны возникают наибольшие значения изгибных усилий;

2) в ребристой плите, наоборот, возникают значительные силы N_x и N_y , которые изменяются в зависимости от жесткости закрепления и конструктивных особенностей. Изгибные усилия значительно меньше в сравнении с гладкой плитой и в отличие от гладкой плиты в направлении длинной стороны возникают наибольшие значения изгибных усилий;

3) полученные результаты говорят о важности учета изменений жесткости связей плит перекрытий и покрытий при возведении и эксплуатации зданий и сооружений.

Литература:

1. Кумпяк О.Г. Расчет железобетонных плит на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении. Вестник ТГАСУ. 2012, 2, 107-111.
2. Кодыш Э.Н. Железобетонные конструкции. В 2-х ч. Ч.1 Расчет конструкций: учебник для вузов. М.: Издательско-полиграфическое предприятие ООО «Бумажник». 2018, 396с.
3. Кодыш Э.Н. Железобетонные конструкции. В 2-х ч. Ч.2 Проектирование зданий и сооружений: учебник для вузов. М.: Издательско-полиграфическое предприятие ООО «Бумажник». 2018, 348с.
4. Скорук Л.Н. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий. CADmaster. 2004, 3, 78-83.
5. Трекин Н.Н. Сопротивление сборных перекрытий неравномерным вертикальным нагрузкам. В сб. «Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса»: - Гомель, БелГУТ, 2001, 11.
6. Трекин Н.Н. Учет податливости узловых сопряжений в железобетонных конструктивных системах. Вестник ВНИИЖТ. 2003, 6, 114-123.
7. Эззи Х. Совместная работа сборно-монолитных стропильных конструкций с плитами покрытия промышленных зданий: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Эззи Хишам. 2016, 11-30.
8. Маркина Ю.Д. Расчет и армирование монолитной железобетонной плиты перекрытия в программном комплексе SCAD Office: учеб. пособие. Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Н.Новгород: ННГАСУ, 2020, 70.
9. Краснощеков Ю.В. Научные основы исследований взаимодействия элементов железобетонных конструкций. Омск, 2001, 345.
10. Достанова С.Х., Касымова Г.Т. Влияние податливости и жесткости стыков железобетонных конструкций на прочность и устойчивость несущих элементов каркаса зданий. Сб. докл. Международ. науч. конф. «Современные проблемы расчета и проектирования железобетонных конструкций многоэтажных зданий»: - М., изд. МИСИ-МГСУ, 2013, 74-79.
11. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высш. шк., 1990, 400.
12. Александров А.В., Потапов В.Д., Зылёв В.Б. Строительная механика: учебник для вузов. Часть 1. М.: Высшая школа. 2007, 703.
13. Достанова С.Х., Исаханов Е.А., Токпанова К.Е. Разрешающие уравнения ребристой плиты с учетом напряжений в срединной плоскости, Вестник КазАТК. 2004, 4(29) 4-8.

References:

1. Kumpyak O.G. Raschet zhelezobetonnyih plit na podatlivyih oporah pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzheni [Calculation of reinforced concrete slabs on malleable supports under short-term dynamic loading] Vestnik TGASU= Bulletin of the TSASU. 2012, 2, 107-111. (in Russ.)
2. Kodyish E.N. Zhelezobetonnyie konstruksii. V 2 ch. Ch.1 Raschet konstruksiy: uchebnik dlya vuzov [Reinforced concrete structures. In 2 h. h.1 Calculation of structures: textbook for universities] M.: Izdatelsko-poligraficheskoe predpriyatie OOO «Bumazhnik» = Publishing and printing enterprise LLC "Wallet". 2018, 396. (in Russ.)
3. Kodyish E.N. Zhelezobetonnyie konstruksii. V 2 ch. Ch.2 Proektirovanie zdaniy i sooruzheniy: uchebnik dlya vuzov [Reinforced concrete structures. In 2 h. h.2 Design of buildings and structures: textbook for universities] Izdatelsko-poligraficheskoe predpriyatie OOO «Bumazhnik» = Publishing and printing enterprise LLC "Wallet". 2018, 348. (in Russ.)
4. Skoruk L.N. Poisk effektivnyih raschetnyih modeley rebristyyih zhelezobetonnyih plit i perekryitiy [Search for effective computational models of ribbed reinforced concrete slabs and floors] CADmaster=CADmaste. 2004, 3, 78-83. (in Russ.)
5. Trekin N.N. Soprotivlenie sbornyyih perekryitiy neravnomernym vertikalnyim nagruzkam [Resistance of prefabricated floors to uneven vertical loads] V sb. «Aktualnyie problemyi razvitiya transportnyih sistem i stroitel'nogo kompleksa» = "Actual problems of development of transport systems and the construction complex": - Gomel, BelGUT, 2001, 11. (in Russ.)
6. Trekin N.N. Uchet podatlivosti uzlovyih sopryazheniy v zhelezobetonnyih konstruktivnyih sistemah [Consideration of the malleability of nodal junctions in reinforced concrete structural systems] Vestnik VNIIZhT= Bulletin of VNIIZhT. 2003, 6. (in Russ.)
7. Ezzi H. Sovmestnaya rabota sborno-monolitnyih stropilnyih konstruksiy s plitami pokryitiya promyshlennyih zdaniy [Joint work of prefabricated monolithic rafter structures with slabs covering industrial buildings]: dis. kand. tehn. nauk: 05.23.01. Ezzi Hisham. 2016, 11-30. (in Russ.)
8. Markina Yu. D. Raschet i armirovanie monolitnoy zhelezobetonnoy plityi perekryitiya v programnom komplekse SCAD Office [Calculation and reinforcement of a monolithic reinforced concrete floor slab in the SCAD Office software package] Ucheb. Posobie [textbook.] N.Novgorod: NNGASU, 2020, 70. (in Russ.)
9. Krasnoschekov Yu.V. Nauchnyie osnovy issledovaniy vzaimodeystviya elementov zhelezobetonnyih konstruksiy [Scientific bases of research on the interaction of elements of reinforced concrete structures] – Omsk: 2001, 345. (in Russ.)
10. Dostanova S.H., Kasyimova G.T. Vliyanie podatlivosti i zhestkosti styikov zhelezobetonnyih konstruksiy na prochnost i ustoychivost nesuschih elementov karkasa zdaniy [Influence of malleability and rigidity of joints of reinforced concrete structures on the strength and stability of load-bearing elements of the frame of buildings] Sb. dokl. Mezhdunarod. nauch. konf. «Sovremennyye problemyi rascheta i proektirovaniya zhelezobetonnyih konstruksiy mnogoetazhnyih zdaniy» = Collection of International reports. scientific conf. "Modern problems of calculation and design of reinforced concrete structures of multi-storey buildings": - M., ed. MISI-MGSUN № 2013, 74-79. (in Russ.)
11. Aleksandrov A.V. Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity] - M.: Vyssh. shk., 1990, 400. (in Russ.)
12. Aleksandrov A. V., Potapov V. D., Zyl'Yov V. B. Stroitel'naya mehanika: Uchebnik dlya vuzov. Chast 1. [Construction mechanics: textbook for universities. Part 1]- M. Vysshaya shkola, 2007, 703. (in Russ.)
13. Dostanova S.H., Isahanov E.A., Tokpanova K.E. Razreshayuschie uravneniya rebristoy plityi s uchetom napryazheniy v sredinnoy ploskosti [Resolving equations of a ribbed plate taking into account stresses in the median plane] Vestnik KazATK= Bulletin of KazATK. 2004, 4(29), 4-8. (in Russ.)

Г.Қ. Мұрсалиева¹, С.Х. Достанова²

^{1,2}Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ғылыми-зерттеу техникалық университеті,
Алматы, Қазақстан

*Тілші автор: *s.dostanova@satbayev.university*

Авторлар туралы мәліметтер:

Мұрсалиева Гүлмарал Қуанышқызы – магистрант, Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ғылыми-зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

email: *Gulmaralmursalieva@mail.ru*

Достанова Сауле Хажигумаровна – техника ғылымдарының докторы, ассоц. профессор, Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ғылыми-зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, email: *s.dostanova@satbayev.university*

ТЕМІРБЕТОНДЫ ҚАБАТ АРАЛЫҚ ЖАБЫН ТАҚТАЛАРЫНЫҢ КЕРНЕУЛІК КҮЙІНЕ БАЙЛАНЫСТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІНІҢ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Мақалада темірбетонды қабат аралық жабын тақталарының кернеулі күйіне байланыстардың құрылымдық ерекшеліктерінің әсері көрсетілген. Тақталарды есептеуге арналған шешуші теңдеулер берілген. Тегіс және қырлы тақталарды бекітудің бірнеше нұсқалары үшін сандық есептеу жүргізіледі және байланыстардың қаттылық сипаттамаларына байланысты ішкі күштердің өзгерістерінің графиктері ұсынылған.

Түйін сөздер: кернеулі-деформациялық күй, тегіс және қырлы қабат аралық жабын тақталары, қаттылық, тік және жанама кернеулері, құрылымдық сызықсыздық.

G.K. Mursalieva¹, S.Kh. Dostanova²

^{1,2} Kazakh Research Technical University named after. K.I. Satpaeva, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: *dostanova0109@mail.ru*

Information about authors:

Mursaliyeva Gulmaral Kuanyskyzy – master's student, Kazakh Research Technical University named after K.I. Satpaeva, Almaty, Kazakhstan email: *Gulmaralmursalieva@mail.ru*

Dostanova Saule Khazhigumarovna – Doctor of Technical Sciences, Assoc. Professor, Kazakh Research Technical University named after. K.I. Satpaeva, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, e-mail: *s.dostanova@satbayev.university*

INFLUENCE OF DESIGN FEATURES OF RELATIONSHIPS ON THE STRESS STATE OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS

Abstract. The article shows the influence of the design features of the bonds on the stress state of reinforced concrete floor slabs. Resolving equations for the calculation of plates are presented. A numerical calculation is made for several variants of fixing smooth and ribbed plates and graphs of changes in internal forces depending on the stiffness characteristics of the bonds are presented.

Keywords: stress-strain state, smooth and ribbed floor slabs, stiffness, normal and shear stresses, structural non-linearity.