

Азизов Т.Н., д.т.н., проф., ORCID: [https://0000-0001-9621-9805](https://orcid.org/0000-0001-9621-9805),
taljat999@gmail.com

Уманский государственный педагогический университет имени Павла Тычины

Азизова А.Г., Полтавский национальный технический
университет имени Юрия Кондратюка

Sakr Al Ghadban Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ С ВЫСОКИМ ЭФФЕКТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ

Аннотация. В статье предложена конструкция сборно-монолитного железобетонного перекрытия, состоящего из балок полого треугольного сечения. Показано, что в таких перекрытиях эффект пространственной работы значительно выше аналогичного эффекта в традиционных перекрытиях, состоящих из П-образных или тавровых балок и плит. Приведена методика определения усилий взаимодействия отдельных балок в составе перекрытия. Методика основана на дискретно-континуальном методе, разработанном автором, которая адаптирована к расчету перекрытий из рассматриваемых балок. Приведена методика определения усилий между полкой и ребрами балки при ее изгибе, основанная на теории составных стержней. Приведен алгоритм расчета с учетом пространственной работы, а также принципы конструирования перекрытий, состоящих из балок полого треугольного сечения, с учетом изменения их жесткостей в результате образования трещин. Приведен подход к определению жесткости балок с нормальными трещинами при кручении, основанный на аппроксимации данных численного эксперимента.

Ключевые слова: перекрытие; пространственная работа; изгиб; кручение; жесткость; аппроксимация.

Azizov Taliat

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine

Azizova Anna Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

Sakr Al Ghadban Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa,
Ukraine

CONSTRUCTION AND CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE OVERLAP WITH A HIGH SPATIAL WORK EFFECT

Abstract. The article proposes the construction of a prefabricated monolithic reinforced concrete overlap consisting of beams hollow triangular section. It is shown that in such overlap the effect of spatial work is much higher than the analogous effect in traditional overlap that consists of U-shaped or T-beams and slabs. The technique of determining the forces of interaction of individual beams in the composition of the overlap is given. The technique is based on a discrete-continual method developed by the author, which is adapted to the calculation of overlaps that consist of considered beams. The technique of determining the effort between the shelf and the ribs of a beam during its bending is presented. It is based on the theory of compound rods. The algorithm of calculation taking into account the spatial work is presented as well as the principles of constructing overlaps consisting of beams hollow triangular section, taking into account the change in their rigidity as a result of cracks formation. An approach to the determination of the rigidity of beams with normal torsion fractures is given, based on the approximation of numerical experimental data.

Keywords: overlap; spatial work; bending; torsion; rigidity; approximation

Железобетонные перекрытия независимо от способа их изготовления, как правило, рассчитывают с учетом пространственной работы, под которой подразумевается наличие усилий и перемещений по направлению всех трех осей

координат в пространстве. Благодаря пространственной работе перекрытия, усилия между отдельными его элементами перераспределяются. Особенно ощутимо это проявляется при действии на перекрытия локальных нагрузок, распределенных только на какой-либо части перекрытия. Такими нагрузками могут быть нагрузки от оборудования, внутренних перегородок, помещений различного назначения и т.д. В статье показано, что чем больше проявляется пространственная работа, тем эффективнее используются отдельные элементы перекрытия и тем экономичнее и надежнее оказывается перекрытие.

Известно, что пространственная работа перекрытий зависит от изгибной и крутильной жесткости их элементов, а также от соотношения этих жесткостей. Применение в перекрытиях плит или балок, у которых большая изгибная жесткость, но малая крутильная жесткость приводит к уменьшению эффекта пространственной работы. Весьма распространенные плиты таврового и П-образного сечения имеют достаточно большую жесткость и прочность при изгибе, но малую крутильную жесткость. Как следствие перекрытие из таких плит обладает невысоким эффектом пространственной работы.

В статье предложено использование в перекрытиях балок и плит полого треугольного сечения. Такие балки (плиты) обладают высокими как изгибными, так и крутильными жесткостями. Предложен способ изготовления балок полого треугольного сечения в сборно-монолитном варианте. При этом основные части балки бетонируют в плоском виде на полу цеха, а затем трансформируют их в пространственную балку полого треугольного сечения с последующим омоноличиванием стыков. Ввиду неоднородности такой конструкции ее расчет на действие изгибающих и крутящих моментов имеет свои особенности, которые рассмотрены в статье.

При расчете перекрытия, состоящего из балок полого треугольного сечения одной из основных задач является определение усилий взаимодействия смежных балок друг с другом. Для такого расчета использован модифицированный метод автора статьи, в котором учтены не все усилия взаимодействия, возникающие по линиям расчленения перекрытия на отдельные балки. Действующие по краям балки в общем случае горизонтальные продольные усилия и горизонтальные силы распора ввиду относительно малой высоты балок не учтены. Ввиду большой жесткости балок полого треугольного сечения в поперечном направлении, а также в случае, когда балки соединены между собой с помощью сварки закладных деталей, влияние поперечных моментов также пренебрегается. На каждую выделенную из перекрытия i -тую балку в таком случае действуют только вертикальные усилия $P_i(x)$ слева и $P_{i+1}(x)$ справа. Для определения этих усилий приведена система дифференциальных уравнений. После определения этих усилий взаимодействия каждая балка рассматривается как статически определимый изгибаемый элемент, на который действуют усилия взаимодействия по краям и собственная внешняя нагрузка.

Усилия взаимодействия балок по линиям их стыковки между собой способны оторвать полку балки от ее наклонных ребер. Для определения усилий взаимодействия полки балки полого треугольного сечения и ее наклонных ребер балка представлена в виде двухслойного составного стержня, в котором верхний стержень имитирует работу полки, а нижний – работу наклонных ребер. В результате получена схема составного стержня и рассмотрено решение системы дифференциальных уравнений для определения вертикальных $S(x)$ и горизонтальных $T(x)$ погонных усилий между полкой и наклонными ребрами балок полого треугольного сечения.

В статье также приведен алгоритм полного расчета перекрытия, состоящего из балок полого треугольного сечения. При этом использованы внешние итерации, при которых определяются усилия взаимодействия балок друг с другом и внутренние итерации, при которых определяются жесткости полки и наклонных ребер, а также жесткости балок в целом в зависимости от образования в них трещин.

Рассмотрены способы конструирования перекрытий, состоящих из балок полого треугольного сечения. Ввиду сложности бетонирования таких балок в монолитном варианте предложено их изготовление в два этапа. Предложены различные варианты

устройства перекрытий из таких сборно-монолитных балок.

Так как перераспределение нагрузки между балками в перекрытии зависит практически одинаковым образом, как от изгибной, так и от крутильной жесткостей отдельных элементов, то в статье рассмотрен вопрос определения крутильных жесткостей балок при наличии в них нормальных трещин. Показано, что, не смотря на важность вопроса определения крутильной жесткости, большинство расчетов при проектировании различных сооружений, включая и известные мощные программные комплексы, такие как Ansys, Abacus, Liga, проводится без учета изменения крутильной жесткости в результате образования нормальных трещин. В статье предложено несколько инновационных методов определения крутильной жесткости железобетонных элементов, в том числе элементов полого треугольного сечения, при наличии в них нормальных трещин. Показано, что учет этого фактора позволяет существенно уточнить расчеты различных железобетонных перекрытий.

Для сравнения эффекта пространственной работы перекрытий, состоящих из балок (плит) полого треугольного сечения, с перекрытиями из Т-образных и П-образных плит приведены результаты расчетов фрагментов перекрытий. При этом для корректности сравнения принят одинаковый расход материалов на плиты полого треугольного сечения, плиты таврового и П-образного сечений. Результаты такого сравнения показали, что эффект пространственной работы в перекрытиях из плит полого треугольного сечения значительно выше. Как результат прогибы плит полого треугольного сечения, а также усилия в их полках при локальных нагрузках значительно меньше аналогичных показателей для перекрытий из П-образных и Т-образных ребристых плит.

В выводах по статье приведены научные и практические результаты.

1. Предложенная в статье методика расчета перекрытия, состоящего из балок полого треугольного сечения, позволяет без труда и без использования мощных программ определять усилия взаимодействия между отдельными балками.

2. Методика расчета балок на изгиб, основанная на теории составных стержней позволяет без труда определить усилия между полкой и наклонными ребрами рассмотренных балок.

3. Приведенный в статье алгоритм расчета перекрытия, состоящего из предложенных авторами балок, позволяет провести полный расчет как перекрытия, так и отдельных балок с учетом изменения жесткостей от образования в балках трещин.

4. Предложен подход к определению крутильной жесткости балок полого треугольного сечения с нормальными трещинами, в результате которого можно получить базу аппроксимационных функций для простого определения жесткости элементов любого сечения с трещинами при кручении. Эта база в свою очередь существенно облегчает расчет перекрытий с учетом изменения жесткостей от образования трещин.

5. В статье приведены принципы конструирования сборно-монолитных перекрытий из рассматриваемых балок, что позволяет создать жесткий диск перекрытия.

6. Приведенное в статье сравнение перекрытий, состоящих из предложенных балок, и перекрытий из традиционных тавровых и П-образных балок (плит), показывает, что максимальные усилия и прогибы в них сильно отличаются в пользу предложенных перекрытий. Это позволяет рекомендовать такие перекрытия в практику строительства.

Литература

1. ACI 318-11, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318M-11)*, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2011.
2. Azizov, T. *Effect of torsional rigidity of concrete elements with normal cracks onto special work of bridges and floorings* / T. Azizov // *International science Ukrainian edition*. – USA – December, 2010. – P.55-59.
3. Azizov T.N. *Ekonomichniye konstruktsii pokritiy I perekritiy* / T.N. Azizov.- Uman: Almi, 2002. 64 p.

4. Azizov T.N. *Prostranstvennaya rabota zhelezobetonnyh perekrytij. Teoriya i metody rascheta* [Spatial work of concrete overlaps. The theory and techniques for calculation], 2006.
5. Baikov V.N. *Precast reinforced concrete slabs under longitudinal strip loads* // *Indian concrete Journal*. – 1963. – August. – P.302-305
6. Cowan H.J., *Kruchenie v obychnom i predvaritel'no napriazhennom zhelezobetone* [Torsion in the ordinary and prestressed reinforced concrete], *Strojizdat, Moscow*, 1972.
7. *EN 1992: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings*. – Brussels, 2002. – 230 p.
8. Kalenchuk-Porkhanova A.A. *Paket programm approksimatsii funktsiy* / A.A. Kalenchuk-Porkhanova // *Kompyuterni zasobi, merezhi ta sistemi*. — 2008. — № 7. — P. 32-38.
9. Karpenko N.I. *Obshnye modeli mekhaniki zhelezobetona* / N.I. Karpenko. – Moskva, 1996. – 416 p.
10. Luis L.F.A. *Behaviour of concrete beams under torsion: NSC plain and hollow beams*// Bernardo L.F.A., Sérgio M. R. Lopes. *Materials and Structures*. July 2008, Volume 41, Issue 6, pp. 1143-1167.
11. M. Knauff, A. Golubińska, P. Knyziak, *Tablice i wzory do projektowania konstrukcji zelbetowych z przykladami obliczen*, *Wydanie II, Wydawnictwo Naukowe PWN*, 2014.
12. Pierre Lutrin, Christian Delvaux. *Resultates de recherches sur des elements de plancher en beton precontraint pour betiment* // *Annales de l'institut Technique du Betiment et des Travaux Publics*. – 1977. – Octobre. – № 354. – 54-74 p.
13. Wight, James K. *Reinforced concrete : mechanics and design* / James K. Wight, F.E. Richart, Jr., James G. Macgregor. - NJ, 2012. - 1157 p.