

УДК 624.016

DOI: 10.30838/P.СММ.2415.250918.243.160

СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕКРЫТИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

САВИЦКИЙ Н. В.¹, *д.т.н., проф.*,
ФРОЛОВ Н. А.², *аспирант.*

¹ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, 49600 Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, эл. почта: templatar1995@gmail.com

Постановка проблемы. Материалы, из которых возводят конструкции, обладают множеством недостатков. Так, монолитный бетон уязвим к погодным условиям и сезону строительства. Это требует финансовых вложений и человеческих ресурсов, что пагубно сказывается на скорости и стоимости строительства сооружения. В эпоху рассвета сборных железобетонных элементов, было отмечено в качестве достоинств стабильную прочность и независимость от погодных условий. Так же, сборные заводские элементы часто выполняются с армированием предварительного напряжения, что увеличивает прочность конструкции, а наличие пустот в конструкции плит перекрытия значительно облегчает вес каждой конкретной плиты и перекрытия в целом. Сборные элементы так же предоставляют высокую скорость монтажа сооружения за счет отсутствия необходимости в закреплении опалубки, и отсутствии технологических перерывов на твердение бетона. Сталежелезобетон – это композитная конструкция, состоящая из стального сечения, соединенного сдвиговыми коннекторами с бетоном, использующая сильные стороны как стали, так и бетона, и уменьшающая их недостатки. Из сталежелезобетона возведено множество сложных конструкций с высокой степенью ответственности. Как правило, такая прочность и выносливость используется в мостах, но при необходимости решения в сложных условиях, сталежелезобетон так же находит широкое применение. **Цель** исследования – изучение работы сталежелезобетонных перекрытий при больших пролетах, и проверка эффективности предложенного варианта конструкции, а так же сравнение различных вариантов сталежелезобетонных большепролетных перекрытий. **Результаты** показывают, что сталежелезобетонное перекрытие по сборным железобетонным плитам, использующимся в качестве несъемной опалубки, легче, прочнее, дешевле по материалу, и меньше деформируется по сравнению с традиционным сталежелезобетонным перекрытием по профилированному настилу. **Практическая значимость** данного исследования заключается в возможности максимизировать работу сечения и минимизировать экономические и временные затраты на строительство.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; сталежелезобетон; большепролетные конструкции; композитные сечения; перекрытия сооружений.

СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ ВЕЛИКОПРОЛЕТНІ КОНСТРУКЦІЇ ПЕРЕКРИТТЯ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

САВИЦЬКИЙ М. В.¹, *д.т.н, проф.*,
ФРОЛОВ М. О.², *аспірант.*

¹ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, 49600 Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, ел. пошта: templatar1995@gmail.com

Постановка проблеми. Матеріали, з яких зводять конструкції, мають безліч недоліків. Так, монолітний бетон вразливий до погодних умов і сезону будівництва. Це вимагає фінансових вкладень і людських ресурсів, що згубно впливає на швидкість і вартість будівництва споруди. В час розквіту збірних залізобетонних елементів, було відзначено як достоїнства їх стабільну міцність і незалежність від погодних умов. Також, збірні заводські елементи часто виконуються з армуванням попереднього напруження, що збільшує міцність конструкції, а наявність пустот в конструкції плит перекриття значно полегшує вагу кожної конкретної плити і перекриття в цілому. Збірні елементи також дозволяють високу швидкість монтажу споруди за рахунок відсутності необхідності в закріпленні опалубки, і відсутності технологічних перерв на твердіння бетону. Сталезалізобетон - це композитна конструкція, що складається з сталевого перетину, з'єднаного зсувними коннекторами з бетоном, що використовує сильні сторони як стали, так і бетону, і зменшує їх недоліки. З сталезалізобетонних зведено безліч складних конструкцій з високим ступенем відповідальності. Як правило, така міцність і витривалість використову-

еться в мостах, але при необхідності вирішення в складних умовах, сталезалізобетонних також знаходить широке застосування. **Мета дослідження** – вивчення роботи сталезалізобетонних перекриття при великих прольотах, і перевірка ефективності запропонованого варіанту конструкції. **Результати** вказують, що сталезалізобетонне перекриття по збірним залізобетонним плитам, що використовуються в якості незйомної опалубки, легше, міцніше, дешевше за матеріалом, і менше деформується в порівнянні з традиційним сталезалізобетонним перекриттям по профільованому настилу. **Практична значимість** даного дослідження полягає в можливості максимізувати роботу перетину і мінімізувати економічні та часові витрати на будівництво.

Ключові слова: *напружено-деформований стан, сталезалізобетон, великопрольотні конструкції, композитні перетини, перекриття споруд.*

STEELCRETE LONG-SPAN CONSTRUCTIONS OF SOCIAL BUILDINGS

SAVYTSKYI N.V.¹, D. Sc. (Tech.), Prof
FROLOV N. A.², Doctoral Student.

¹ Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, email: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, email: templat1995@gmail.com

Formulation of the problem. The building materials have many disadvantages. Thus, solid concrete is vulnerable to weather conditions and the construction season. This needs financial investments and human resources, which adversely affects the speed and cost of construction of the structure. Early, precast concrete elements stable strength and independence from weather conditions were noted as advantages. Also, prefabricated factory elements are often performed with prestressing reinforcement, which increases the strength of the structure, and the presence of voids in the construction of floor slabs greatly facilitates the weight of each concrete plate and the floor as a whole. The prefabricated elements also provide a high speed of installation of the structure due to the absence of the need to deploy the formwork, and the lack of technological breaks for the hardening of concrete. Steelcrete is a composite structure consisting of a steel section, connected by shear connectors to concrete, using the strengths of both steel and concrete, and reducing their drawbacks. From composite steel it was erected a lot of complex structures with a high level of responsibility. As a rule, such strength and endurance is used in bridges, but if necessary, solutions in difficult conditions, reinforced concrete also finds wide application. **The purpose** of the investigation is to study the work of composite floors on large spans, and to check the effectiveness of the proposed design. **The results** show that the composite slab with precast reinforced concrete slabs, what are used as fixed formwork, is lighter, stronger, material is cheaper, and less deformed compared to the conventional steel reinforced slab over profiled flooring. **The practical significance** of this study lies in the ability to maximize the work of the section and minimize the economic and time costs of construction.

Key words: *stress-strain state, composite material, large-span constructions, composite sections, floor slabs.*

Постановка проблемы

На сегодняшний день, совершенствование и адаптация методов расчета и реализации современных конструкций является приоритетной задачей. Существует множество методов расчета и возведения различных конструкций, но они все предназначены для стандартных материалов. Практически каждый метод сегодня это производная от базовых основ сопротивления материалов, подстроенная под один материал с множеством допущений и упрощений. Так же материалы, из которых возводят конструкции, обладают множеством недостатков. Так, монолитный бетон уязвим к погодным условиям и сезону строительства, сталь требует немедленное покрытие антикоррозионными средствами, иначе конструкция сразу начинает пусть не быстро, но терять свои качества. Любой из перечисленных недостатков требует финансовых вложений и человеческих ресурсов, что пагубно

сказывается на скорости и стоимости строительства сооружения. В эпоху расцвета сборных железобетонных элементов, было отмечено в качестве достоинств стабильную прочность и независимость от погодных условий. Так же, сборные заводские элементы часто выполняются с армированием предварительного напряжения, что увеличивает прочность конструкции, а наличие пустот в конструкции плит перекрытия значительно облегчает вес каждой конкретной плиты и перекрытия в целом. Так же нельзя не отметить, что сборные элементы так же предоставляют высокую скорость монтажа сооружения за счет отсутствия необходимости в закреплении опалубки, и отсутствии технологических перерывов на твердение бетона.

Сталезалезобетон – это композитная конструкция, состоящая из стального сечения, соединенного сдвиговыми коннекторами с бетоном, использующая сильные стороны как стали, так и бетона, и уменьшающая их недостатки. Первые работы над компо-

зитным бетоном появились около столетия назад. Спустя полвека были изобретены сдвиговые коннекторы, без которых было невозможно в достаточной мере обеспечить связь между сталью и бетоном. Как оказалось, перекрытие по ресурсу прочности композитного сечения значительно превосходит аналогичное, выполненное из расчета что работает только стальное сечение. Из сталежелезобетона возведено множество сложных конструкций с высокой степенью ответственности. Как правило, такая прочность и выносливость используется в мостах, но при необходимости решения в сложных условиях, сталежелезобетон так же находит широкое применение. Таким образом, вопрос применения сталежелезобетонного перекрытия и его эффективность является актуальной проблемой, требующей анализа и тщательного изучения.

Анализ публикаций

Были построены различные структуры, опубликованы многочисленные пособия. Тем не менее, европейская практика по-прежнему не включает многочисленные работы, выполненные нашими учеными. В Украине многие ученые занимаются вопросом сталежелезобетона. Существуют так же нормы, регламентирующие расчет, конструирование, и использование сталежелезобетона [2]. Есть множество отечественных ученых, которые посвятили этому большое количество своего времени. Это Л. И. Стороженко, ПолтНТУ, который активно рассматривает проблемы сталежелезобетонных конструкций [3], В. Я. Бабиченко из ОГАСА и другие. После анализа некоторой литературы, было замечено что европейская практика не применяет в сталежелезобетонных перекрытиях в качестве опалубки ничего кроме профилированного стального листа [5], хоть и существуют определенные наработки в области использования сборных плит [6]. Это связано с традицией использования монолитного бетона, и малой применимостью сборных конструкций. В нашей стране уже были попытки применения в сталежелезобетоне тонкостенных железобетонных плит в качестве опалубки [1], и более того, использования многупустотных сборных плит в перекрытиях [4]. В отличие от системы, которую разработала К. С. Топоркова, в предложенном варианте используются сборные круглопустотные плиты перекрытия, и гибкие упоры на несущих балках. Так же, в выше упомянутом варианте пролет всего 12 метров, против 23.1 метра в предлагаемой конструкции, что на 11.1 метра больше.

Цель исследования

Изучить поведение сталежелезобетонных конструкций перекрытия различных типов, проверить возможность использования сборных плит в качестве опалубки, и доказать их экономичность и надежность.

Основной материал

Предлагаемый дизайн нового перекрытия используется в качестве фиксированной опалубки сборную железобетонную круглопустотную плиту и небольшой слой монолита для выравнивания пола.

Этот тип перекрытия будет использоваться в здании Международного выставочного центра в Киеве. Были проведены предварительные расчеты такого типа перекрытий. Эти расчеты показали, что на таких пролетах сборные плиты обладают определенным экономическим преимуществом. Кроме того, использование сборных элементов ускоряет возведение здания.

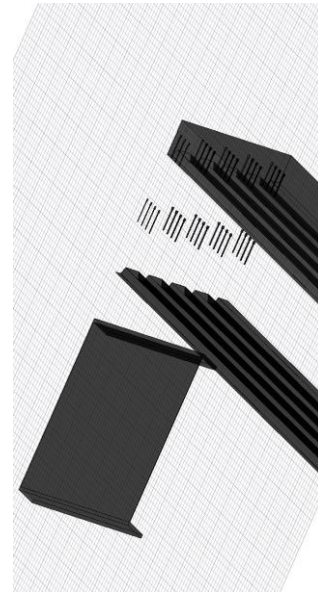


Рис. 1. Элементы модели сталежелезобетонного перекрытия по профилированному настилу с гибкими упорами. / Elements of the model of composite reinforced concrete slab along profiled flooring with flexible stops.

С точки зрения безопасности, сталежелезобетонные конструкции лучше полностью стальных, ввиду наличия бетонных элементов, которые не так уязвимы к воздействию огня при пожаре, и несколько уступают полностью бетонным, тем не менее представляя в несущих конструкциях определенный период пластики, что препятствует мгновенному обрушению.

Математическая модель была создана с использованием программного обеспечения ANSYS. Программное обеспечение ANSYS использует метод конечных элементов. Этот метод позволяет с высокой точностью определить усилия, напряжения, и деформации практически в любой точке исследуемого объекта. Ввиду некоторой сложности создания геометрической модели в среде ANSYS, геометрическая модель была создана в AutoCAD и импортирована в ANSYS. Элементы модели традиционного перекрытия показаны на рис. 1. Элементы модели предлагаемой конструкции показаны на рисунке 2. Модель была упрощена для ускорения процесса расчета. Упрощенная модель представляет собой один пролет

композитного перекрытия длиной 23,1 метра. Ширина упрощенной модели составляет 1 метр.

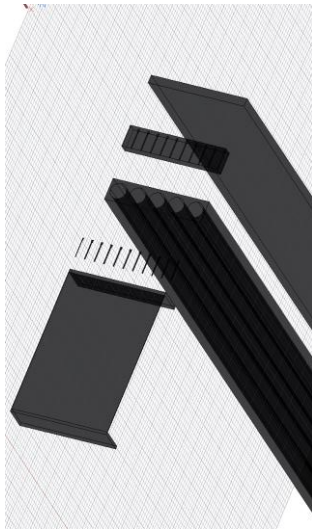


Рис. 2. Элементы модели сталежелезобетонного перекрытия по сборной железобетонной плите с гибкими упорами. / Elements of the model of composite reinforced concrete slab along reinforced slab with flexible stops.

Были назначены необходимые ограничения, ограничивающие перемещения и вращения для моделирования окружающего перекрытия.

Свойства материалов были взяты из библиотеки программного обеспечения ANSYS. Чтобы применить метод конечных элементов, модель была разбита сеткой с шагом 0,1 метра.

Было проведено сравнение моделей, и анализ предварительных результатов показал уменьшение прогиба примерно на 10%, а снижение напряжения более 15%.

Заключение

Можно утверждать, что предложенный вариант перекрытия обладает требуемой надежностью, и по предварительным оценкам экономичнее традиционного. Благодаря полученным результатам, данная тема исследований была одобрена как актуальная, и принята для дальнейшего развития и изучения. В данный момент проводятся работы по уточнению модели и проверке погрешности при использовании участка метровой ширины вместо полного пролета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабиченко В. Я. Применение железобетонной тонкостенной несъемной опалубки в гидротехнических сооружениях / В. Я. Бабиченко, С. В. Кирилюк, Л. А. Черепашук // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - 2015. - Вип. 58. - С. 60-64.
2. ДБН В.2.6-160: 2010 // Сталеалізобетонні конструкції. Основні положення Мінбуд України, К. - 2010
3. Стороженко Л. І. Проблеми дослідження, проектування й будівництва сталеалізобетонних конструкцій / Л. І. Стороженко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 4(39). Т.1 - 2013.- ПолтНТУ
4. Топоркова К. С. Ефективне сталеалізобетонне покриття. / К.С. Топоркова // Науковий вісник будівництва, Т. 89, №3, 2017.
5. R.P.Jhonson. Composite Structures of Steel and Concrete. Beams, slabs, columns, and frames for buildings. Blackwell Publishing, 2004, 230p
6. Y. Yardim. Performance of Precast Thin Panel as Permanent Formwork for Precast Composite Slabs[Conference Paper]/ Y. Yardim // 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, 2013.

REFERENCES

1. Babychenko V. YA. Prymenenye zhelezobetonnoy tonkostennoy nes"emnoy opalubky v hydrotekhnicheskyykh sooruzheniyakh / V. YA. Babychenko, S. V. Kyrylyuk, L. A. Cherepashchuk // Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury. - 2015. - Vyp. 58. - S. 60-64.
2. DBN B.2.6-160: 2010 // Stalezalizobetonni konstrukcii. Osnovni polojennya Minbud Ukrainy, K. - 2010
3. Storozhenko L. I. Problemy doslidzhennya, proektuvannya y budivnytstva stalezalizobetonnykh konstruktsiy / L. I. Storozhenko // Zbirnyk naukovykh prats' (haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo). Vyp. 4(39). T.1 - 2013.- PoltNTU
4. Toporkova K. S. Efektyvne stalezalizobetonne perekryttya. / K.S. Toporkova // Naukovyy visnyk budivnytstva, T. 89, №3, 2017.
5. R.P.Jhonson. Composite Structures of Steel and Concrete. Beams, slabs, columns, and frames for buildings. Blackwell Publishing, 2004, 230p
6. Y. Yardim. Performance of Precast Thin Panel as Permanent Formwork for Precast Composite Slabs[Conference Paper]/ Y. Yardim // 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, 2013.

Надійшла до редколегії 07.10.2018 р.