

УДК 624.012.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТ ИЗ ПЕНОБЕТОНА

А.П. Кремнев, Е.Г. Кремнева, А.И. Колтунов

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь
e-mail: kremnev_si@mail.ru, e.kremneva@psu.by, a.koltunov@psu.by

Приведены результаты испытаний плит перекрытия из тонкостенных С-образных стальных профилей (ЛСТК) с пенобетонным заполнителем и плит из пенобетона армированных арматурными стержнями. Определена предельная разрушающая нагрузка плитных конструкций. Приведена картина трещинообразования, графики прогибов. Получены данные о характере взаимодействия пенобетонного заполнения и тонкостенного стального профиля. Подтверждено предположение о повышении несущей способности изгибаемых тонкостенных металлических профилей, заземленных пенобетонным заполнителем.

Ключевые слова: *плиты, пенобетон, тонкостенный стальной холоднодеформированный профиль, гибкие арматурные стержни, несущая способность, трещинообразование, прогибы, совместная работа.*

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF FOAM CONCRETE SLABS

A. Kremniou, A. Kremneva, A. Koltunov

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus
e-mail: kremnev_si@mail.ru, e.kremneva@psu.by, a.koltunov@psu.by

The results of tests two series of slabs consisting of thin-walled C-shaped steel profile (LSTC) and foam concrete; flexible reinforcing bars and foam concrete are presented. The load-bearing capacity of slab structures are determined. The picture of crack formation, deflection graphs are shown. The assumption of a significant impact on the bearing capacity of slabs of the thin-walled steel profile, flexible reinforcing bars and foam concrete filling matrix are confirmed.

Keywords: *slabs, foam concrete, thin-walled steel cold-formed profile, flexible reinforcing bars, bearing capacity, cracking, deflections, joint work.*

На сегодняшний день для строительной отрасли в сфере жилищного строительства малоэтажных зданий важным фактором является сокращение сроков строительства, применение инновационных технологий и материалов, совершенствование методов расчета строительных конструкций. Благодаря быстровозводимым конструкциям строить можно гораздо быстрее и дешевле. Такие здания строятся с минимальными трудозатратами и в короткие сроки [1; 2; 3].

Среди наиболее быстровозводимых и легких конструкций гражданского строительства следует выделить легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), отличающиеся неболь-

шим весом, легкостью сборки и монтажа, и, в тоже время, высокой несущей способностью [2; 4; 5; 6; 7]. В тоже время для жилищного строительства в качестве утеплителя все чаще стал использоваться пенобетон [7]. Пенобетон завоевывает рынок строительных материалов и происходит это вполне закономерно, во многом благодаря его свойствам. Основными критериями, по которым выбирают материал для строительства дома являются: прежде всего экология, безопасность для здоровья, пожарная безопасность, долговечность, теплоизоляционные, звукоизоляционные свойства и простота строительства [8; 9].

В зданиях пенобетон, в основном, используется в ограждающих конструкциях стен, перегородок, а вот в конструкциях покрытия и перекрытия на данный момент массового применения не имеет. Обладая хорошими теплоизоляционными свойствами, пенобетон существенно уступает обычному бетону по прочности. При этом, чем выше теплоизоляционные свойства бетона, тем меньше его прочность.

На наш взгляд, пенобетон с плотностью D200-D500 в изгибаемых конструкциях наиболее рационально применять совместно со стальным профилем [10]. При этом стальной профиль (ЛСТК) выполняет роль несущего элемента, а пенобетон используется в качестве матрицы заполнения, дополнительно обеспечивающей повышение поперечной устойчивости гибких тонкостенных стальных профилей. Пенобетон с плотностью D600 может применяться в качестве материала для изгибаемых конструкций с традиционной схемой армирования в растянутой зоне.

Разработка методики расчета, учитывающей совместную работу ЛСТК и пенобетона, а также уточнение методики расчета плит, армированных по классической схеме, будет способствовать более широкому внедрению данных конструкций в практику строительства и в конечном итоге существенно снизит стоимость и расход материалов при изготовлении плитных конструкций.

Данные исследования проводятся в России, Украине, Польше и других странах [2; 6; 7]. В Беларуси также проводятся научные исследования с применением пенобетонов, где в качестве несущих элементов используются тонкостенные стальные профили и гибкие арматурные стержни [11–14].

На базе Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой были проведены экспериментально-теоретические исследования монолитных плитных конструкций из пенобетона, армированных в одном случае, тонкостенным холоднодеформированным стальным профилем, и гибкими арматурными стержнями – в другом.

Цели исследований заключались: в оценке степени влияния пенобетонного заполнения на несущую способность металлических профилей, учете их совместной работы; и в оценке возможности использования плит из пенобетона с гибкой стержневой арматурой для перекрытий жилых зданий, в соответствии с действующей для них нагрузкой.

Для проведения эксперимента были изготовлены четыре плитные конструкции, по две в каждой серии. В первой серии П были выполнены плиты П-I и П-II с одинаковым С – образным холоднодеформированным оцинкованным профилем, установленным в центре плиты. Образцы отличались плотностью пенобетона, таблица 1. Во второй серии ПТМ были выполнены плиты ПТМ-1 и ПТМ-2, армированные продольными стержнями диаметром 10мм стали класса S500, и одинаковой плотностью бетона, таблица 2.

Таблица 1. – Плитные конструкции серии П для испытаний

Конструкция	Марка пенобетона по плотности и его размещение в конструкции	Стальной профиль
Плита П-I 300x600x3000мм	D500 (по всей высоте)	C300
Плита П-II 300x600x3000мм	D200 в средней части конструкции (180мм); D500 в сжатой и растянутой зонах (60мм)	C300

Таблица 2. – Плитные конструкции серии ПТМ для испытаний

Конструкция	Плотность пенобетона и его размещение в конструкции	Арматура*
ПТМ-1 262x600x3010мм	D600 (по всей высоте)	∅10 S500
ПТМ-2 279x600x3011 мм	D600 (по всей высоте)	∅10 S500

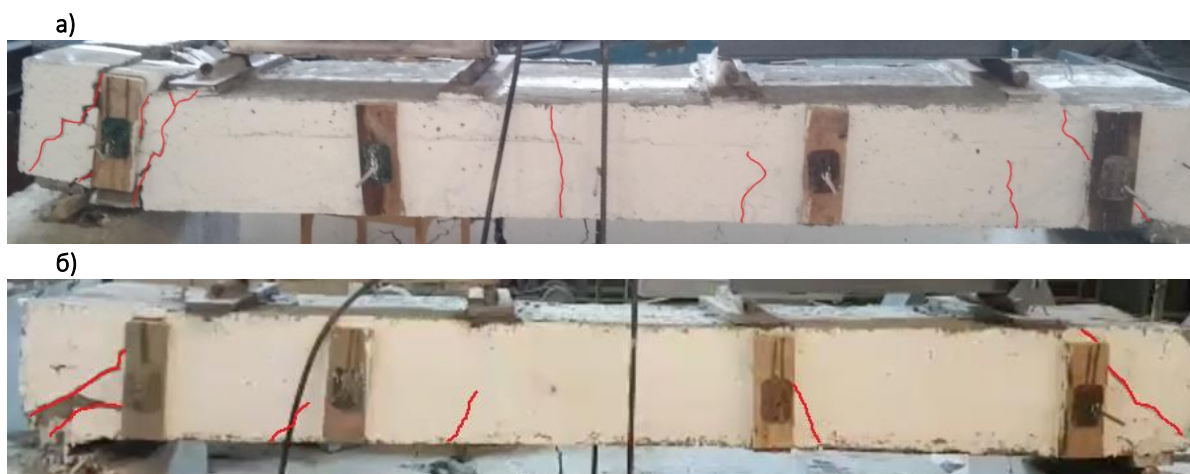
*фиксация с помощью вязальной проволоки

Испытание плит всех серий проводилось по балочной схеме с приложением сосредоточенных усилий в четырех точках. В процессе испытания измерялись деформации стальных тонкостенных профилей, прогибы конструкции, ширина раскрытия трещин и их развитие по высоте сечения плит.

При проведении испытаний, характер трещинообразования в плитах первой серии П и второй серии ПТМ отличался, причем в каждой серии характер трещинообразования также был различным.

Первая серия с плитами П-I и П-II. В процессе нагружения плиты П-I (D500) образовывались как нормальные, так и наклонные трещины. В процессе нагружения плиты П-II (D200 и D500) образовывались, в основном, наклонные трещины. Общий вид плит после разрушения приведён на рисунке 1.

Вторая серия с плитами ПТМ. В процессе нагружения плит ПТМ (D600) последовательно образовывались нормальные и наклонные трещины. Общий вид плит после разрушения приведен на рисунке 2.



а) плита П-I; б) плита П-II

Рисунок 1. – Общий вид плит серии П после испытания



а) плита ПТМ-1; б) плита ПТМ-2

Рисунок 2. – Общий вид плит серии ПТМ после испытания

Зависимости прогиба опытных плит от нагрузки показаны на рисунке 3.

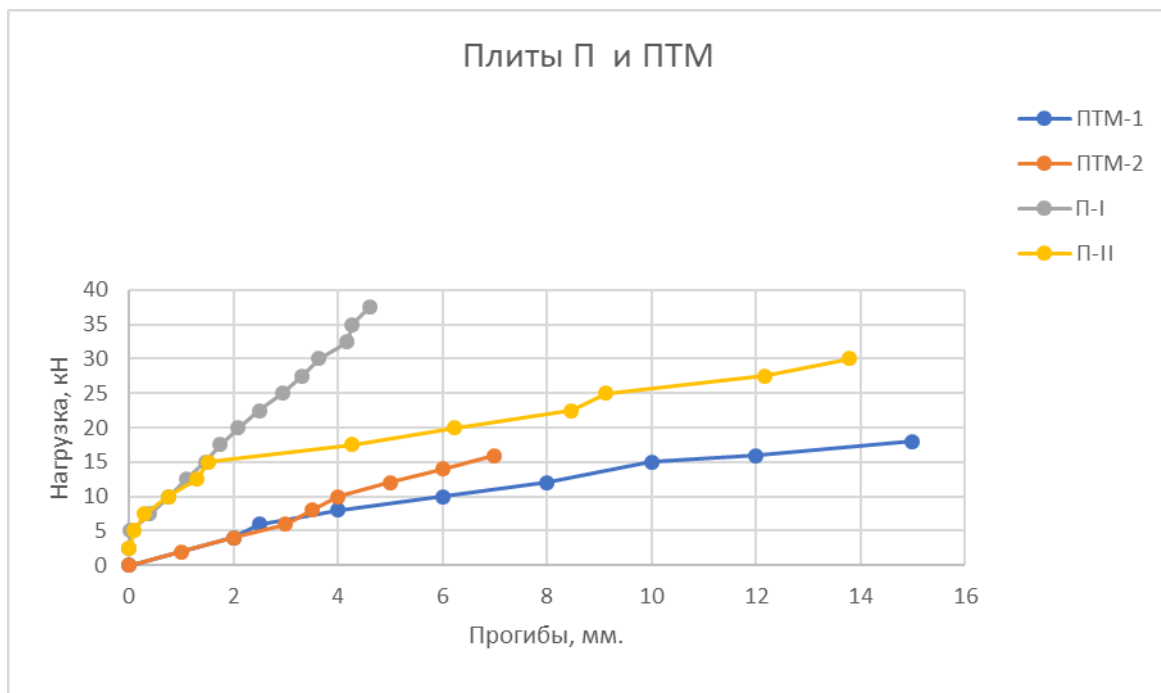
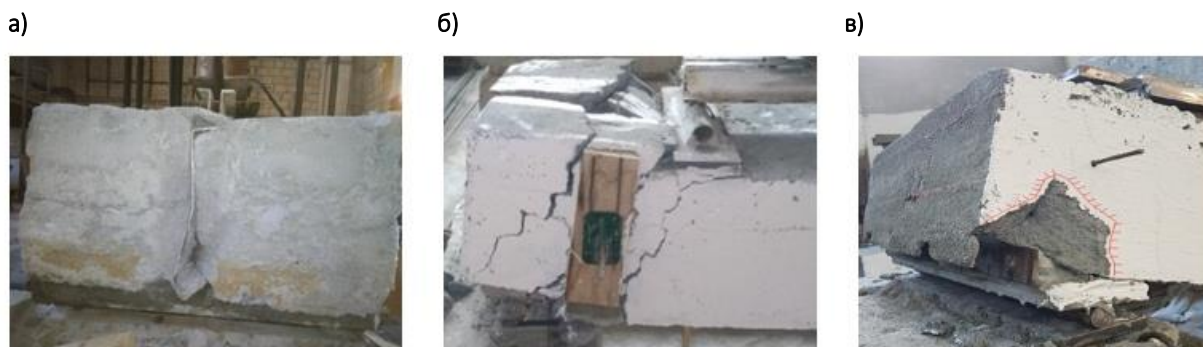


Рисунок 3. – Зависимость прогиба от нагрузки для плит серии П и ПТМ

Из графиков видно, что для плит серии П прогибы при одинаковых уровнях нагружения, по сравнению с плитами серии ПТМ, меньше. Так, при нагрузке 15кН прогибы плит со ставили: для П-I -1.46 мм, для П-II - 1.52, для ПТМ-10 мм, для ПТМ-2 - 6,5мм.

Все плиты испытывались до полного разрушения. Серия П - для плиты П-I разрушающая нагрузка составила 62,5кН, а для плиты П-II - 30кН. Разрушение образцов всех серии П происходило вследствие потери устойчивости тонкостенного стального профиля на опорах и сопровождалось образованием значительных наклонных трещин с раздроблением бетона в опорной зоне, рисунок 4 а и 4 б. Серия ПТМ - для плиты ПТМ -I разрушающая нагрузка составила 18.28 кН, а для плиты ПТМ-2 - 13.3кН. Разрушение плит серии ПТМ происходило: в плите ПТМ-1 за счет смятия пенобетона под опорным уголком в зоне анкеровки продольной арматуры, в ПТМ-2 - за счет раздробления бетона над вершиной наклонной трещины, рисунок 4 в.



а) и б) серия П; в) серия ПТМ

Рисунок 4. – Характер разрушения образцов

Заключение. На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1. По результатам проведённой работы и полученных данных подтвердилась возможность применения плит из пенобетона в качестве конструкций междуэтажных перекрытий и покрытий (серия П и ПТМ).
2. Применение пенобетона в качестве заполнителя конструкций перекрытия, выполненных с применением тонкостенных стальных холоднодеформированных оцинкованных профилей (серия П), позволяет существенно повысить их несущую способность.
3. Разрушение плит серии П происходило за счет потери устойчивости тонкостенного стального профиля на опорах. При этом поперечная устойчивость тонкостенных элементов на действие изгибающего момента надежно обеспечивалась пенобетонным заполнителем.
4. Разрушение плит серии ПТМ происходило за счет смятия пенобетона под опорным уголком в зоне анкеровки продольной арматуры в ПТМ1. Разрушение в ПТМ2 происходило за счет раздробления бетона над вершиной наклонной трещины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстровозводимые здания: основные преимущества и недостатки [Электронный ресурс] // Журнал «Все просто». – Режим доступа: <http://vseprostoy.ru/byistrovozvodimyye-zdaniya-osnovnyie-preimushhestva-i-nedostatki/>. – Дата доступа: 02.10.2017.
2. Пинскер, В.А. СТО 82866678-3.01.01-2013 / В.А. Пинскер, В.П. Вылегжанин, Н.О. Куликова – Санкт-Петербург: ООО «АНДРОМЕТА». – 2013. – 8 с.
3. Вербицкий, И.О. Применение металлического профилированного листа в качестве несущего элемента монолитных перекрытий из пенобетона / И.О. Вербицкий // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 55-58.
4. Быстровозводимые промышленные здания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dvutavr.com.ua/bmz/promyishlennyye-zdaniya>. – Дата доступа: 14.10.2017.
5. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК): описание, плюсы и минусы, технология строительства / А. Кирницкая // Режим доступа: <https://www.syl.ru/article/328996/legkie-stalnyie-tonkostennyye-konstruktsii-lstk-opisanie-plyusy-i-minusyi-tehnologiya-stroitelstva>. – Дата доступа: 28.11.2017.
6. Борзова, М.К. Конструкция каркасных зданий с применением монолитного пенобетона / М.К. Борзова, Н.И. Ватин, М.Р. Гарифуллин. – Санкт-Петербург: С.-Пб. политех. ун-т; сб. Строительство уникальных зданий и сооружений, 2015. – 77 с.
7. Калафат, К. Противопожарное проектирование легких стальных тонкостенных конструкций / К. Калафат, Л. Вахитова. – Киев: Украинский Центр Стального Строительства. – 19 с.

8. Лундышев, И.А. Почему пенобетон [Электронный ресурс] / И.А. Лундышев // Режим доступа: http://www.sovbi.ru/ru/penobeton/why_penobeton.php. – Дата доступа: 29.11.2017.
9. ЛСТК и монолитный пенобетон // Режим доступа: <http://www.profstaldom.ru/lstk-articles/lstk-i-monolitnyj-penobeton/>. – Дата доступа: 15.12.2017.
10. Рыбаков, В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций / В.А. Рыбаков. – Санкт-Петербург: С.-Пб. политех. ун-т, 2011. – 7 с.
11. Кремнев, А. П. Экспериментально-теоретические исследования плит из пенобетона и тонкостенного стального холоднодеформированного оцинкованного профиля / А. П. Кремнев, Е. Г. Кремнева, Р. А. Радкевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 16. – С. 37-42.
12. Колтунов, А.А. Прочность, жёсткость и трещиностойкость изгибаемых элементов из пенобетона. Анкеровка арматуры в пенобетоне. Магистерская диссертация на соискание степени магистра технических наук. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2021. – 57 с.
13. Кремнев, А. П. Опыт применения тонкостенных стальных конструкций и пенобетона при надстройке дополнительных этажей / А. П. Кремнев, Е. Г. Кремнева // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей III международной научной конференции, Новополоцк, 29–30 апр. 2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк, 2021. – С. 95-99.
14. Кремнев, А. П. Несущая способность плит из пенобетона и тонкостенного холоднодеформированного стального профиля / А. П. Кремнев, Е. Г. Кремнева // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – С. 136-142.