

УДК 624.012.4-183.4; 624.94.014.2

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛИТ ИЗ ПЕНОБЕТОНА И ТОНКОСТЕННОГО ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО СТАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

А.П. Кремнев, Е.Г. Кремнева

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь
e-mail: kremnev_si@mail.ru, e.kremneva@psu.by

Приведены результаты испытаний композитных плит перекрытия, состоящих из тонкостенного С-образного стального профиля (ЛСТК) и пенобетона. Определена несущая способность плитных конструкций. Приведена картина трещинообразования, графики деформаций сжатой зоны. Построены эпюры деформаций сжатой и растянутой зон тонкостенного стального холоднодеформированного профиля. Подтверждено предположение о существенном влиянии на несущую способность и устойчивость изгибаемого тонкостенного стального профиля пенобетонной матрицы заполнения.

Ключевые слова: плиты, пенобетон, тонкостенный стального холоднодеформированный профиль, несущая способность, трещинообразование, эпюры деформаций, совместная работа.

LOAD-BEARING CAPACITY OF SLAB STRUCTURES MADE OF FOAM CONCRETE AND OF THE THIN-WALLED STEEL COLD-FORMED SECTION

A. Kremniou, A. Kremneva

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

The structure of foam concrete and of the thin-walled steel cold-formed section prototypes is considered. Load-bearing capacity of slab structures is determined. The picture of crack formation, the graphics of the compressed zone deformations are shown. The diagrams of deformations of the compression and tensile zones of the thin-walled steel cold-formed section are made. The fact of joint operation of foam concrete and steel profile in the slab structure is recorded.

Keywords: slabs, foam concrete, thin-walled steel cold-deformed profile, bearing capacity, cracking formation, deformations, joint work.

На сегодняшний день для строительной отрасли важным фактором является сокращение сроков строительства, применение инновационных технологий и материалов, современных методов расчета 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 следует выделить легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), отличающиеся небольшим весом, легкостью сборки и монтажа, и, в тоже время, высокой несущей способностью [2,4,5,6,7]. Применение таких конструкций позволяет существенно снизить нагрузки на фундамент, проводить работы в сложных стесненных условиях без привлечения тяжелой грузоподъемной техники. Поэтому преимущества таких конструкций в наибольшей степени проявляются при реконструкции зданий, когда необходима надстройка дополнительных этажей.

В качестве утеплителя для систем ЛСТК используются минераловатные, базальтовые маты или плиты, стекловата, эковата и другие изоляционные материалы [7]. Широкое распространение в качестве утеплителя при возведении ЛСТК, получил пенобетон, который представляет собой легкий пористый искусственный каменный материал на цементном вяжущем [8, 9]. В зданиях из ЛСТК, пенобетон, в основном, используется в ограждающих конструкциях стен, перегородок. В конструкциях покрытия и перекрытия ЛСТК и пенобетон на данный момент массового применения не имеют. Это связано с тем, что на сегодняшний день существующие методики расчета не позволяют с достаточной степенью достоверности определить их несущую способность, а также оценить совместную работу тонкого профиля и пенобетона [10]. Однако с учетом того, что изгибаемые конструкции, в виде плит, являются наиболее массовыми конструкциями зданий, задача является весьма актуальной. Данные исследования проводятся в России, Украине, Польше и др. странах [2,6,7]. В Белоруссии также проводятся научные исследования с применением легких бетонов и тонкостенных стальных конструкций.

Так, на базе Полоцкого государственного университета были проведены экспериментально-теоретические исследования несущей способности монолитных плитных конструкций из пенобетона и тонкостенного холоднодеформированного стального профиля. Цель исследования заключалась в оценке степени влияния пенобетонного заполнения на несущую способность металлических профилей при действии изгибающего момента, учете их совместной работы.

Для проведения эксперимента были выполнены две плитные конструкции с одинаковым С – образным холоднодеформированным оцинкованным профилем, установленным в центре плиты. Образцы отличались плотностью пенобетона, таблица 1.

Таблица 1. – Плитные конструкции для испытаний

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

Для создания эффекта сплошной монолитной плиты опытные образцы обжимались при помощи пружинных зажимов, которые плотно устанавливались на боковых гранях плит. Испытание плит 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 плиты. Общий вид стенда для испытания плит с конструкцией опытного образца показаны на рисунке 1.



Рисунок 1. – Общий вид стенда для испытания плит с конструкцией опытного образца

При проведении испытаний, характер трещинообразования в плитах отличался. 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 приведен на рисунке 2.

а



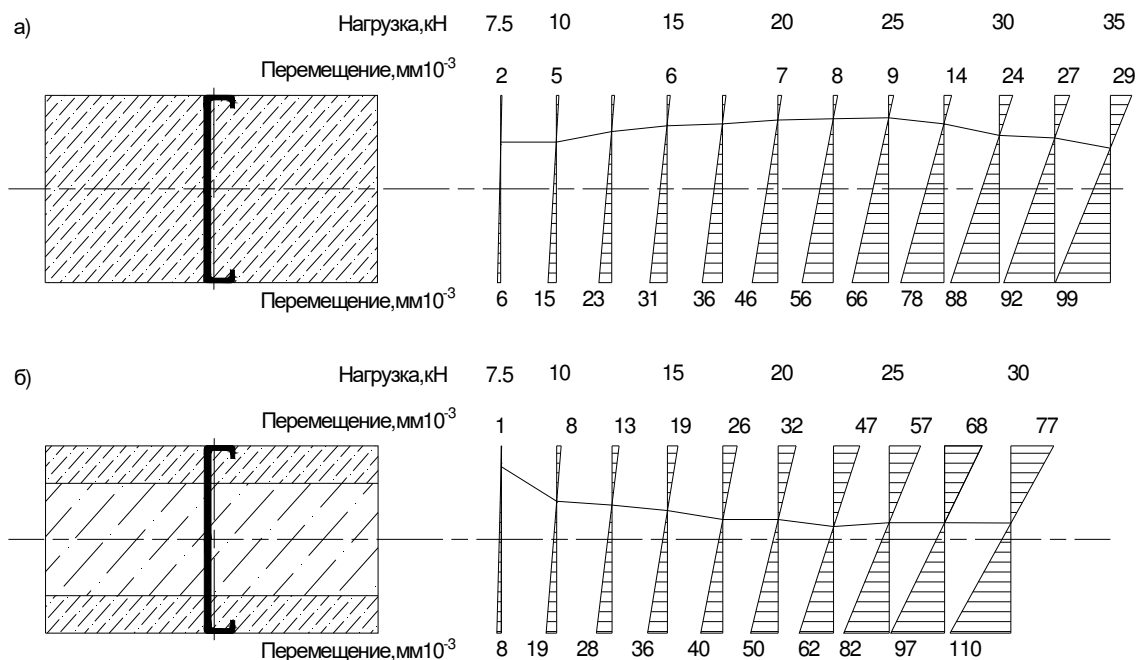
б



а – плита П-I; б – плита П- II

Рисунок 2. – Общий вид образцов плит после испытания

Для определения возможности совместной работы пенобетона и тонкостенного стального холоднодеформированного профиля были построены эпюры деформаций крайнего сжатого и растянутого волокна стального элемента, рисунок 3.



а – плита П-I; б – плита П-II

Рисунок 3. – Эпюры деформаций

Как видно из рисунка 3 при увеличении нагрузки положение нейтральной оси в образце П-I (D500) заметно отличалось от П-II (D200 и D500). Так, для плиты П-I до нагрузки 10 кН деформации растяжения нижних волокон тонкостенного стального профиля превышали деформации сжатия верхних волокон практически в три раза. При нагружении от 10 до 25 кН положение нейтральной оси постепенно перемещалось в сжатую зону, а превышение деформаций растяжения над деформациями сжатия составило более 7 раз. Такое распределение деформаций по высоте сечения П-I свидетельствует о совместной работе на сжатие пенобетонного заполнения и верхней зоны ЛСТК. Очевидно, что, снизив сжимающие напряжения в верхней зоне стальной балки мы, тем самым, отдаляем момент потери устойчивости тонкостенного стального профиля из плоскости действия изгибающего момента.

Схема распределения деформаций для плиты П-II (D200 и D500) была другой. При увеличении нагрузки положение нейтральной оси смещалось к середине сечения плиты, соответствующей геометрической оси тонкостенного стального профиля. И уже с нагрузки 20 кН ее положение практически не изменялось, что соответствует работе на изгиб обычных стальных балок. Такое распределение деформаций по высоте сечения П-II свидетельствует о работе только тонкостенного стального профиля. В данном случае, пенобетонное заполнение не оказало существенного влияния на характер работы композитной конструкции.

Для более детального анализа работы плит были построены графики изменения деформаций сжатой зоны тонкостенного стального профиля с увеличением нагружения, рисунок 4.

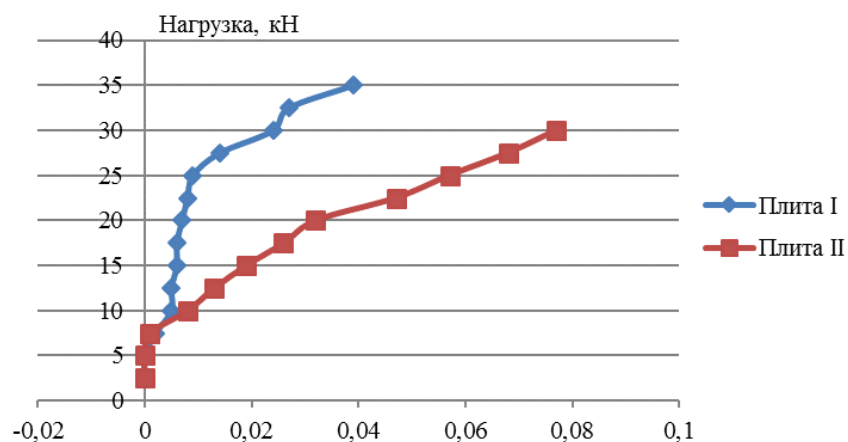


Рисунок 4. – Деформации сжатой зоны тонкостенного стального профиля

На графиках видны характерные участки развития деформаций: 1- практически вертикальные участки на самом начальном этапе загрузки для всех плит; 2- практически вертикальный участок до нагрузки 25кН только для плиты П-I; 3- пологие линейные участки. При сопоставлении деформаций сжатой зоны тонкостенного стального профиля с характером трещинообразования плит можно сделать вывод о том, что участок 1 соответствует работе плит без трещин, участок 2- работе плиты с развитием нормальных трещин в пролете. Участок 3 характеризуется нелинейным, скачкообразным развитием сжимающих деформаций верхних волокон профиля. При этом в бетоне плиты зафиксировано интенсивное развитие наклонных трещин. На графике для плиты П-II участок 2 практически отсутствует.

а



б



Рисунок 5. – Характер разрушения образцов в опорной зоне

Все плиты испытывались до полного разрушения. Для плиты П-I разрушающая нагрузка составила 62,5кН, а для плиты П-II 30кН. Разрушение образцов всех плит происходило вследствие потери устойчивости стенок и полок тонкостенного стального

профиля на опорах и сопровождалось образованием значительных наклонных трещин с раздроблением бетона в опорной зоне, см. рисунок 5.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что совместная работа тонкостенного стального холоднодеформированного оцинкованного профиля и заполнителя из пенобетона зафиксирована только для плиты П-I (D500).

В плите П-II (D200 и D500) с заполнением пенобетоном различной плотности, характер развития деформации сжатой и растянутой зоны в целом соответствовал работе стальной балке без заполнения легким бетоном. В тоже время, следует отметить, что пенобетонный заполнитель сыграл существенную роль в обеспечении общей устойчивости тонкостенного профиля, работающего на изгиб. В процессе испытаний плиты П-II вертикальность стенки стального профиля в пролете сохранялась до самого момента разрушения. Потери местной устойчивости полок профиля в местах приложения сосредоточенных сил зафиксировано не было.

Выводы:

1. Применение пенобетона в качестве заполнителя конструкций перекрытия, выполненных с применением тонкостенных стальных холоднодеформированных оцинкованных профилей, позволяет существенно повысить их несущую способность.

2. При плотности пенобетона D500 совместная работа пенобетона и тонкостенного стального профиля обеспечивалась практически до момента разрушения плиты П-I (D500).

3. Разрушение плит происходило за счет потери местной устойчивости профиля в опорных зонах. Разрушающая нагрузка для плиты П-I (D500) составила 62.5кН, для плиты П-II– 30кН. Разница в значениях разрушающей нагрузки связана тем, что в плите П-II с пенобетоном меньшей плотности (D200 в середине сечения и D500 по краям) пенобетон и стальной профиль не работали совместно.

4. Потеря общей устойчивости тонких стальных профилей и местная потеря устойчивости полок в местах приложения сосредоточенных нагрузок в пролете в плитах не были зафиксированы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстровозводимые здания: основные преимущества и недостатки [Электронный ресурс] // Журнал «Все просто». – Режим доступа: <http://vseprostoy.ru/byistrovozvodimyie-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. – С55–58.
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-istk-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.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : 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. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>