

Петрова Е.А., Калмыков О.А., Лугченко Е.И.

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗРУШАЮЩИХ НАГРУЗОК ДЛЯ ОБРАЗЦОВ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ СЕРИИ «АЛЮТЕРМ»

1. Введение

В настоящее время отмечается интенсивное развитие отечественного рынка сэндвич-панелей. Многослойные конструкции на основе металлических обшивок и легкого заполнителя получили широкое распространение в практике как гражданского, так и промышленного строительства. Сэндвич-панели активно используются в качестве ограждающих конструкций и покрытий зданий различного назначения. Однако при этом нашей стране до нынешнего момента не появились государственные нормативные документы, которые бы регламентировали производство сэндвич-панелей как обособленных строительных конструкций.

На сегодняшний день украинское нормативное поле лишено собственной законодательной документации на проектирование и расчет трехслойных сэндвич-панелей. Имеющаяся нормативная база включает в себя отдельные документы, регламентирующие требования к тем или иным теплоизоляционным материалам и их характеристикам. Среди главных нормативных документов в этой сфере следует отметить ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкции зданий и сооружений. Тепловая изоляция зданий», ДБН В.2.6 - 33:2008 «Конструкции зданий и сооружений. Конструкции внешних стен с фасадной теплоизоляцией. Требования к проектированию, устройству и эксплуатации» и некоторые другие [1,2]. Определенную ценность представляют технические условия, разрабатываемые предприятиями-изготовителями сэндвич-панелей, однако, они предназначены исключительно для внутреннего использования. В то же время, в Европейском Союзе нормативные документы, посвященные сэндвич-панелям, существуют уже более 20 лет: Предварительные европейские рекомендации по

проектированию и тестированию сэндвич-панелей были опубликованы еще в 1991 году. Принятый же несколько лет назад Еврокод о сэндвич-панелях [3] содержит подробное описание конструктивных решений, методов проектирования и расчета, требований к огневым, акустическим, прочностным испытаниям сэндвич-панелей и многое другое.

С практической точки зрения особый интерес представляют вопросы исследования деформирования и разрушения сэндвич-панелей. Основываясь на ГОСТ 23486-79 [4], который предоставляет методику определения разрушающих нагрузок для сэндвич-панелей с пенополиуретановым заполнителем, на базе лаборатории железобетонных конструкций Харьковского национального университета строительства и архитектуры были проведены экспериментальные исследования образцов сэндвич-панелей с пенополистирольными и минераловатными заполнителями по [4]. В ходе исследований устанавливались критические нагрузки для образцов сэндвич-панелей и производилась оценка их деформирования и разрушения в соответствии с четырьмя группами предельных состояний, регламентируемых в [3].

2. Основные определения

Целью исследования являлось установление экспериментальным путем разрушающей нагрузки для образцов сэндвич-панелей серии «Алютерм» с пенополистирольными и минераловатными заполнителями при поперечном изгибе по ГОСТ 23486-79.

Объект исследования – образцы сэндвич-панелей серии «Алютерм» с пенополистирольными и минераловатными заполнителями, отобранные в соответствии с требованиями ГОСТ 23486-79.

Предмет исследования характер деформирования и разрушения образцов

сэндвич-панелей «Алютерм» при действии сосредоточенной нагрузки.

3. Конструктивные особенности исследуемых образцов

Трехслойная сэндвич-панель серии «Алютерм» [5] представляет собой многослойную конструкцию, которая состоит из внешних металлических обшивок и легкого заполнителя. Обшивки панели – гладкий стальной оцинкованный лист толщиной 0,5 мм. Металлические обшивки имеют защитный антикоррозионный слой красящего покрытия из полиэстера, нанесенный на горячекатаную поверхность выходного листа. Продольные кромки панелей выполнены в виде элементов замкового соединения, которое обеспечивает герметичность соединения панелей. Заполнитель панели – минераловатные плиты на основе базальтового волокна, разрезанные на отдельные ламели, или пенополистирол. Объединение слоев между собой производится при помощи полиуретанового двухкомпонентного клея. Модульная ширина панели серии «Алютерм» составляет 1000 мм. Поперечное сечение исследуемых панелей приведено на рис. 1.

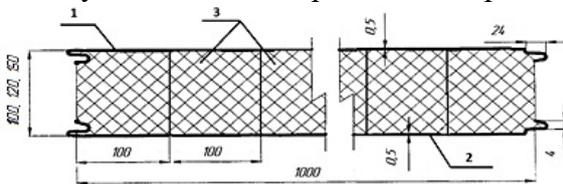


Рис. 1. Поперечное сечение исследуемых панелей. Позициями обозначено: 1 – верхняя обшивка, 2 – нижняя обшивка, 3 – ламели утеплителя.

Образцы для испытания на поперечный изгиб в соответствии с требованиями ГОСТ 23486-79 вырезаются из серийной панели «Алютерм» фрезами, предварительно срезав продольные кромки панелей шириной не менее 100 мм (пунктир на рис. 2). Схема мест вырезки образцов для панелей, изготавливаемых на линиях непрерывного действия, приведена на рис. 2.

Для определения разрушающей нагрузки при поперечном изгибе панели в соответствии с ГОСТ 23486-79 были предоставлены образцы длиной 1100 мм и шириной 250 мм. Общее количество образцов - 15 штук, из них:

- 6 образцов панелей с металлическими обшивками и пенополистирольным наполнителем толщиной 100 мм;

- 6 образцов панелей с металлическими обшивками и минераловатным наполнителем толщиной 120 мм;

- 3 образца панелей с металлическими обшивками и минераловатным наполнителем толщиной 150 мм.



Рис. 2. Схема мест вырезки образцов панелей, где цифрой 1 обозначена часть панели для испытания ее прочности при поперечном изгибе.

Образцы, поступившие для испытания, были выдержаны в помещении при температуре $18 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60% на протяжении 24 часов. Испытания проводились при тех же условиях.

4. Последовательность испытаний

Схема испытания образцов панелей на поперечный изгиб приведена на рис. 3.

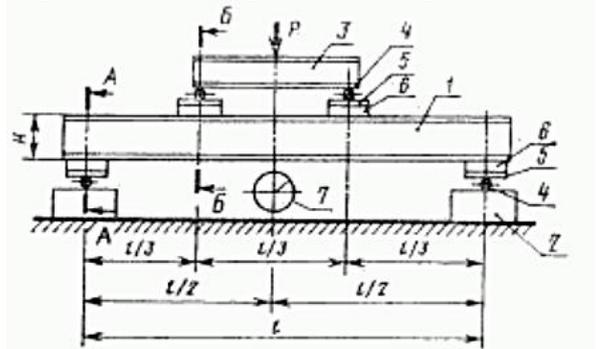


Рис. 3. Схема испытания образца сэндвич-панели на поперечный изгиб (цифрами обозначено: 1 – образец, 2 – база, 3 – траверса, 4 – цилиндрические опоры, 5 – стальные пластины, 6 – прокладки, 7 – прибор для измерения деформаций)

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 23486-79 испытания образцов производят в следующей последовательности (см. схему на рис. 4):

- образец (1) устанавливают перпендикулярно опорам базы (2);
- устанавливают траверсу(3) перпендикулярно опорам (4);
- устанавливают прокладки (5) и стальные пластины (6) между опорами базы и образцом, между опорами траверсы и образцом;
- нагружают образец через траверсу возрастающей нагрузкой до его разрушения или до прекращения роста нагрузки на шкале силоизмерителя испытательной машины.



Рис. 4. Универсальная испытательная машина УИМ-50

Нагрузку увеличивают ступенями не более 0,2 от разрушающей. Время испытания образца под нагрузкой не должно быть более 10 мин. В процессе нагружения определяют прогибы в центре пролета образца на каждой ступени нагружения и устанавливают разрушающую нагрузку.

При испытании выявляют признаки разрушения образца, которыми являются:

- разрушение утеплителя или отслоение металлических листов;
- местная потеря устойчивости наружного металлического листа.

Кроме того, при составлении программы испытаний принимались во внимание указания [4], в соответствии с которыми обозначены четыре типа предельных состояний рассматриваемых конструкций сэндвич-панелей:

- - по сопротивлению сдвигу утеплителя;
- - по складкообразованию (аксиальное сжатие металлической обшивки);
- - по сопротивлению панели сжатую на опоре;
- - по предельному прогибу.

5. Системы нагружения и измерения

Испытания образцов сэндвич-панелей реализованы при действии кратковременной сосредоточенной нагрузки в соответствии с ГОСТ 23486-79. Нагружение производилось ступенчато без разгрузки до полного разрушения образца при помощи универсальной испытательной машины УИМ-50 (заводской №300) по ГОСТ 7855-74 (рис. 4).

Кроме того, нагрузочное устройство включало следующие элементы:

- металлическая опора (траверса) длиной, соответствующей длине образца (1100мм) – 1 шт.;
- металлическая нагружающая траверса длиной, соответствующей длине образца (1100мм) - 1 шт.;
- металлические цилиндрические опоры диаметром 30 мм и длиной, соответствующей ширине образца (250 мм) – 2 шт.;
- металлические пластины сечением 60x5мм и длиной, соответствующей ширине образца (250 мм) – 2 шт.;
- прокладки из древесины длиной, равной ширине образца, шириной 60 мм, толщиной 15 мм – 2шт.

Общий вид образцов сэндвич-панелей под нагрузкой приведен на рис. 5.

Измерение параметров деформирования объектов исследования произведены механическими приборами. Схема расстановки измерительных приборов показана на рис 6.

Здесь: И1 – И2 – индикаторы ИЧ10 часового типа, с ценой деления 0,01 мм (см. рис. 7); П1 – прогибомер 6ПАО с ценой деления 0,01 мм (см. рис. 8), Г1 – Г2 – тензометры Гугенбергера с ценой деления 0,001 мм (см. рис. 9).

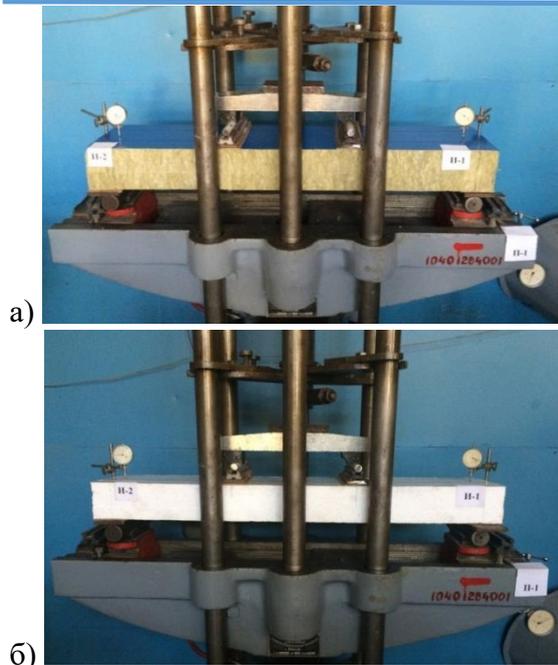


Рис. 5. Образцы, установленные в прессе УИМ-50:
 а) с минераловатным наполнителем,
 б) с пенополистирольным наполнителем

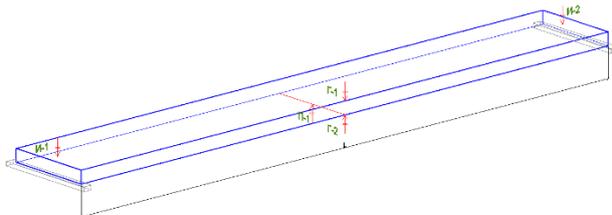


Рис. 6. Схема расстановки измерительных приборов



Рис. 7. Индикатор часового типа ИЧ-10



Рис. 8. Прогибомер БПАО



Рис. 9. Тензометр Гугенбергера

Прогибомером БПАО замерялись прогибы в центре пролета образца сэндвич-панели. Индикаторы И-Ч10 устанавливались в местах максимального значения поперечной силы с целью оценки обжатия утеплителя. При помощи тензометров Гугенбергера определялись деформации в растянутой и сжатой обшивках панели.

6. Результаты испытаний

6.1. Исследование панелей с пенополистирольным наполнителем толщиной 100 мм

Образец с пенополистирольным наполнителем ПСБС-25 толщиной 100мм, установленный под нагрузкой, приведен на рис. 10.

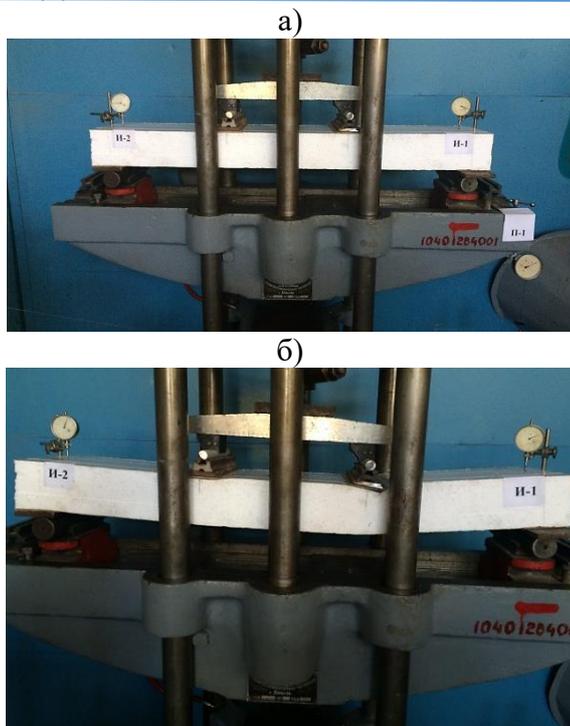


Рис. 10. Образец с пенополистирольным наполнителем под нагрузкой:
а) начало нагружения; б) разрушение.

Отмечается, что для всех образцов разрушение наступало вследствие достижения предельного прогиба. В ходе эксперимента пара образцов разрушилась при достаточно низком уровне загрузки, что было вызвано наличием начальных несовершенств (рис. 11).



Рис. 11. Расслоение панели по поперечному стыку утеплителя

Результаты испытаний приведены в табл. 1.

6.2. Исследование панелей с минераловатным наполнителем толщиной 120 мм

Образец с минераловатным наполнителем толщиной 120мм, установленный под нагрузкой, приведен на рис. 12. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

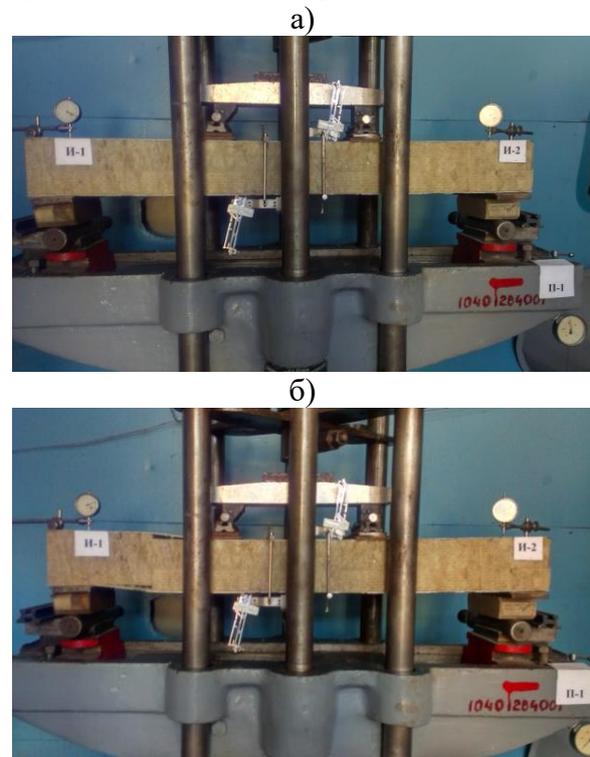


Рис. 12. Образец с минераловатным наполнителем под нагрузкой:
а) начало нагружения; б) разрушение.

Образец №5 с минераловатным наполнителем толщиной 150 мм приведен на рис. 13. При испытании образцов №14, 15 с минераловатным наполнителем толщиной 150 мм были получены результаты, которые совпадают с данными испытания образца №5 с погрешностью не превышающей 10%.

Таблица 1 - Результаты испытаний образцов (пенополистирол 100 мм).

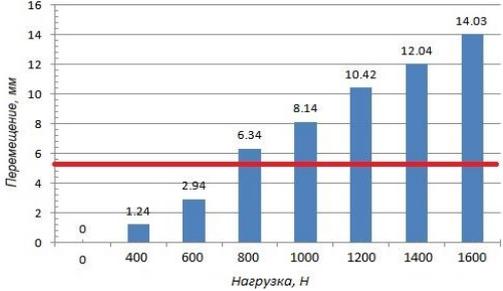
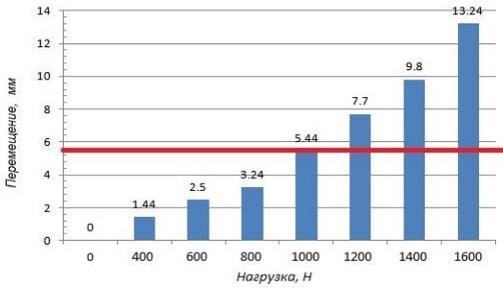
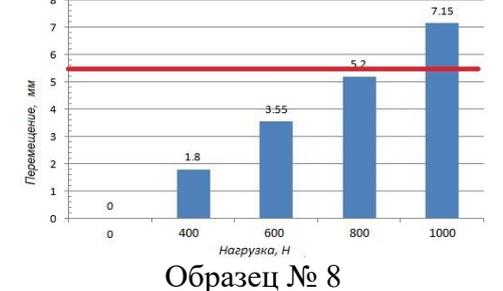
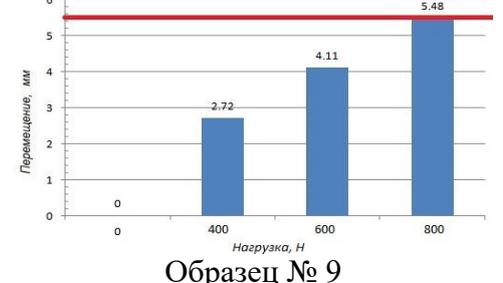
Характер деформирования и разрушения	Диаграмма «нагрузка-перемещение»
<p>Разрушающая нагрузка составила 160 кг. При уровне нагружения 70 кг панель достигла предельного состояния по максимальному прогибу, равному 5,5 мм для $l=1100$ мм ($l/200$ по [6]). Дальнейшее разрушение панели произошло по достижению предельного состояния обжатия утеплителя на опоре.</p>	 <p>Образцы №1, 10, 11</p>
<p>Разрушающая нагрузка - 175 кг. Предельный прогиб был достигнут при нагрузке 90 кг. Дальнейшее разрушение наступило в результате обжатия утеплителя на опоре.</p>	 <p>Образец № 7</p>
<p>Разрушающая нагрузка - 100 кг. Максимальный прогиб был достигнут при нагрузке 76 кг. Низкий уровень нагрузки вызван наличием дефекта: поперечный стык ламелей пенополистирола попал в одну плоскость с опорой траверсы, что вызвало расслоение утеплителя.</p>	 <p>Образец № 8</p>
<p>Разрушающая нагрузка составила 100 кг. Максимальный прогиб был достигнут при нагрузке 75 кг. Данная панель также имела дефект (поперечный стык), наличие которого повлияло на разрушение образца при низком уровне нагрузки.</p>	 <p>Образец № 9</p>

Таблица 2 - Результаты испытаний образцов (минеральная вата 120 мм)

Характер деформирования и разрушения	Диаграмма «нагрузка-перемещение»
<p>Разрушающая нагрузка составила 190 кг. Начало разрушения наступило при достижении максимального прогиба на уровне загрузки 170 кг. Незначительный прирост нагрузки сопровождался обжатием утеплителя на опоре и его проскальзыванием относительно металлической обшивки.</p>	<p>Образец № 2</p>
<p>Разрушающая нагрузка на образец №3 составила 165 кг. Предельный прогиб был достигнут на уровне загрузки в 115 кг. На разрушение панели повлияло наличие технологического несовершенства – продольный стык ламелей утеплителя минеральной ваты под опорой траверсыю</p>	<p>Образец № 3</p>
<p>Для данного образца разрушающая нагрузка составила 175 кг. При уровне загрузки в 123 кг было достигнуто предельное состояние по максимальному прогибу. Дальнейшее разрушение панели наступило вследствие обжатия утеплителя на опоре, его среза и проскальзывания между металлическими обшивками</p>	<p>Образцы № 4,12,13</p>
<p>Разрушающая нагрузка на данную панель составила всего 130 кг. Разрушение произошло в результате влияния начального несовершенства – наличия поперечного стыка ламели около опоры. Панель ни достигла ни одного из предельных состояний</p>	<p>Образец № 6</p>

6.3. Исследование панелей с минераловатным наполнителем толщиной 150 мм

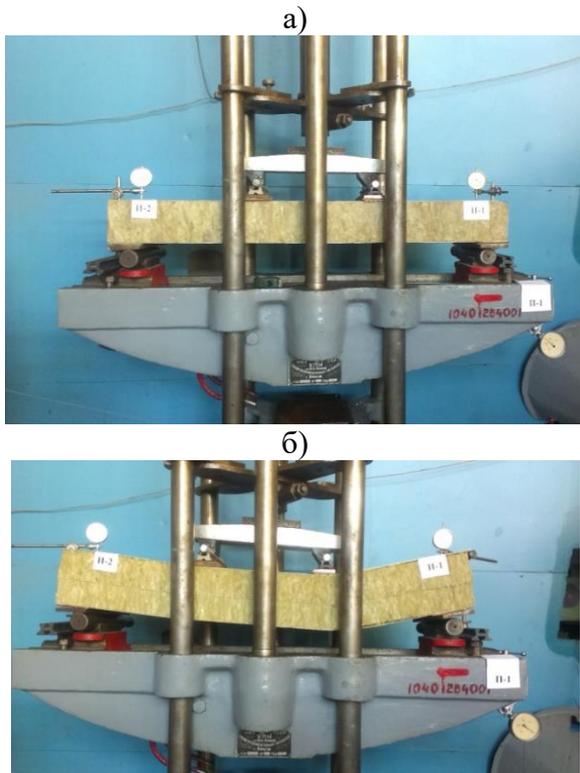


Рис.13. Образец №5 под нагрузкой:
а) начало нагружения; б) разрушение.

Разрушающая нагрузка на панель толщиной 150 мм составила 250 кг. Предельный прогиб был достигнут при нагрузке 190 кг. Разрушение панели произошло аналогично другим образцам с минераловатным наполнителем: после достижения максимального прогиба произошел сдвиг утеплителя и его проскальзывание на опоре. График зависимости «нагрузка-перемещение» приведен на рис. 14.

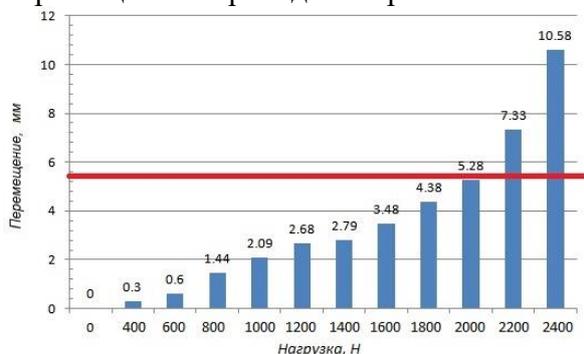


Рис. 20. Диаграмма «нагрузка-перемещение» для рассматриваемого образца

Заключение

По итогам проведенных испытаний было установлено, что выход образцов панелей из эксплуатационного нормального

состояния происходил по трем типам предельных состояний. 100% испытанных панелей достигают, в первую очередь, предельного состояния по максимальному прогибу. Дальнейшее разрушение панели происходит по обжатию и/или по сдвигу утеплителя на опоре. Предельное состояние по складкообразованию сжатой обшивки не было зафиксировано.

Для некоторых образцов, таких как №6 с минераловатным наполнителем и №8,9 с пенополистирольным, прекращение роста нагрузки было вызвано наличием начальных несовершенств. Разрушение панелей с минераловатным наполнителем происходило по срезу утеплителя, а с пенополистирольным – по обжатию его на опоре, что свидетельствует о низких физико-механических характеристиках применяемых материалов среднего слоя [7].

Результирующая таблица разрушающих нагрузок для испытанных образцов приведена ниже.

Таблица 3 - Результирующая таблица разрушающих нагрузок для образцов

Заполнитель	№ образца	Толщина, мм	Разрушающая нагрузка, кг
<i>Пенополистирол</i>	1	100	160
	7	100	175
	8	100	100
	9	100	100
	10	100	150
<i>Минеральная вата</i>	11	100	160
	2	120	190
	3	120	165
	4	120	175
	6	120	130
	12	120	170
	13	120	165
	5	150	250
	14	150	245
	15	150	255

ЛИТЕРАТУРА:

- ДБН В.2.6-34:2008 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні вимоги»,

2. ДСТУ Б В.2.6.36-: 2008: «Конструкции зданий и сооружений. Системы фасадные теплоизоляционно-отделочные сплошные с облицовкой штукатурками. Общие технические условия».
3. ГОСТ 23486-79. Панели металлические трехслойные стеновые с утеплителем из пенополиуретана. Государственный комитет СССР по делам строительства, Москва, 1979. – 19с.
4. European Recommendations for Sandwich Panels (CIB 2000). Part 1: Design. Rotterdam, 2000. – 168p.
5. ДСТУ Б.В.1.2-3:2006. Прогибы и перемещения. Требования проектирования. Минстрой, Киев: 2006, 12 с.
6. Панели металлические трехслойные строительные серии «Алютерм». ТУ У В.2.6-28.1-32564237-001:2007. – Харьков, 2010. – 74с.
7. Experimental investigation of wall and roof sandwich panels of «Aluterm» series (Экспериментальное исследование стеновых и кровельных сэндвич-панелей серии «Алютерм»). / В.С. Шмуклер, Е.И. Лугченко, Е.А. Петрова. // Коммунальное хозяйство городов. – № (2015) .

УДК 624.012.35:691.175:69.059.4

Довбенко В.С.

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

РЕСУРС І ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ПРИДАТНІСТЬ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ ПОЛІМЕРНОЮ КОМПОЗИЦІЄЮ, ПРОТЯГОМ ТРИВАЛОГО ПЕРІОДУ

Вступ. У процесі експлуатації будівельні конструкції будівель та споруд втрачають свої початкові міцнісні та деформативні властивості, що вимагає для подальшої нормальної експлуатації підсилення, відновлення та ремонту. Дані процеси потребують пошуку нових раціональних і економічно обґрунтованих конструктивних рішень.

Впровадження нових технологій, методів та матеріалів дозволяє вирішувати важливі завдання щодо підсилення, відновлення та ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій. Одним із шляхів вирішення вказаних проблем є використання полімерних матеріалів. В області технологій полімерних матеріалів, на даний час, досягнуто значного успіху. Розроблено технологію підсилення залізобетонних конструкцій з використанням полімерних композицій проникаючої дії, на основі мономер-ізоціанату. Полімерна композиція - це рідина, яка в процесі полімеризації в тілі бетону перетворюється в полімер. Полімерна композиція, просочуючи бетон, утворює новий композиційний матеріал, який

відрізняється своїми механічними характеристиками. Відомий факт, що у бетонних елементах з часом покращуються механічні характеристики, а у полімерних матеріалів, навпаки, погіршуються.

Ефективність підсилення залізобетонних конструкцій полімерною композицією наведено у роботах [1, 2]. Разом з тим, відсутні дані щодо роботи бетонних і залізобетонних конструкцій, підсилених полімерною композицією, протягом тривалого періоду. Як відомо, полімерні матеріали, в тому числі композиції, з часом втрачають свої початкові властивості. Постає питання безпечної експлуатації таких конструкцій, їх ресурс і термін, вплив на показники надійності підсиленої конструкції в цілому як технічної системи, яка може стати непридатною до нормальної експлуатації, враховуючи погіршення властивостей полімерів з часом.

Мета і завдання. Вивчення характеристик міцності та деформативності бетонних елементів, підсилених полімерною композицією у різному віці.