

УДК 624.072.1-422.41+691.615.7

*Осадчук Т.Ю., аспірант,
Демчина Б.Г., д.т.н., професор,
НУ "Львівська політехніка", м. Львів*

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВИХ СКЛЯНИХ ПЛИТ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА ЗГИН ВІД ЗОСЕРЕДЖЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ШТАМПОМ

АНОТАЦІЯ

Описано методику експериментальних досліджень багатошарових скляних плит опертих по чотирьох кутах, які працюють на згин від локального навантаження посередині плит. Подано результати експериментальних досліджень згідно з прийнятою схемою випробування. Проаналізовано характер руйнування дослідних зразків. Експериментально доведено необхідність вибору скляних плитних конструкцій з меншою кількістю шарів скла більшої товщини та рекомендовано використання зовнішнього шару в розтягнутій зоні із загартованого скла, або з додатковим армуванням.

Ключові слова: скло скляні багатошарові плити, локальне навантаження, дослідження.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток будівельної галузі вимагає проектування нових типів конструкцій із вдосконаленими експлуатаційними характеристиками та підвищеними естетичними вимогами.

Сучасними конструкціями, що характеризуються достатньою міцністю, доброю звукоізоляцією, стійкістю до температурно-вологісних впливів та прозорістю, що дає можливість створювати оригінальні візуальні ефекти є скляні конструкції.

Згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009 світлопрозорі елементи огорожувальних конструкцій залежно від призначення, розміщення та видів навантажень повинні проектуватися відповідно до архітектурних рішень та характеризуватися: безпекою при експлуатації, енергоефективністю, освітленістю, звукоізоляційними властивостями та захистом приміщення від перегріву [1].

Скляні перекриття (стелі) і покриття (дахи), а також конструкції з елементами скління, розташовані у місцях скупчення та проходів людей, в громадському та житловому будівництві відносяться до фак-

торів підвищеної небезпеки. В такому випадку необхідно використовувати безпечне скло: багатошарове, загартоване, армоване, а також передбачати додатковий захист скла та спеціальне маркування [1].

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-123-2004 багатошарове скло — це плоский виріб, який може складатися з одного або декількох листів органічного скла (у якості внутрішніх шарів), неорганічного скла та плівкових, або рідких полімерних і силікатних матеріалів, за допомогою яких склеюються та покриваються листи скла [2, с. 8-9]. Для склеювання скла використовуються наступні типи плівок: полівінілбутиральна (PVB), з термопластичного поліуретану (TPU) та етиленвінілацетатна (EVA).

Багатошарове скло будівельного призначення може застосовуватися для безпечного скління світлопрозорих будівельних конструкцій у фасадному, структурному склінні, елементах горизонтального скління, віконних і дверних блоках, вітринах, підлогах тощо [2, с. 7].

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-123-2004 для виготовлення багатошарового скла використовують різні види листового скла [2, с. 8].

Фізико-механічні характеристики скла не регламентуються розглянутими стандартами. Довідкові значення для листового флоат-скла (ФС), листового витягнутого скла (ВС) та загартованого скла представлено в ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009 [1] та ДСТУ Б В.2.7-122:2009 [3, с. 20].

Багатошарове скло повинно витримувати розрахункові значення експлуатаційних навантажень (механічних, кліматичних та інших) з урахуванням конкретних умов його застосування [2, с. 13].

Однак, на сьогодні в Україні відсутні методики та стандарти з розрахунку і випробування скляних плит (в тому числі багатошарових) на згин, тому виконані дослідження є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У НУ "Львівська політехніка" проводяться дослідження міцності та деформативності скляних балкових конструкцій, що працюють на згин [4, с. 55]. Балки із двома шарами полімерної плівки між шарами скла характеризуються більшою ефективністю у порівнянні із зразками, у складі яких використовувався один шар плівки.

Роботи з дослідження скляних багатошарових плит у вітчизняних публікаціях не наведені. Теоретичні та експериментальні дослідження міцності скляних одно- та багатошарових плит представлено у статтях закордонних авторів [5; 6; 7; 8].

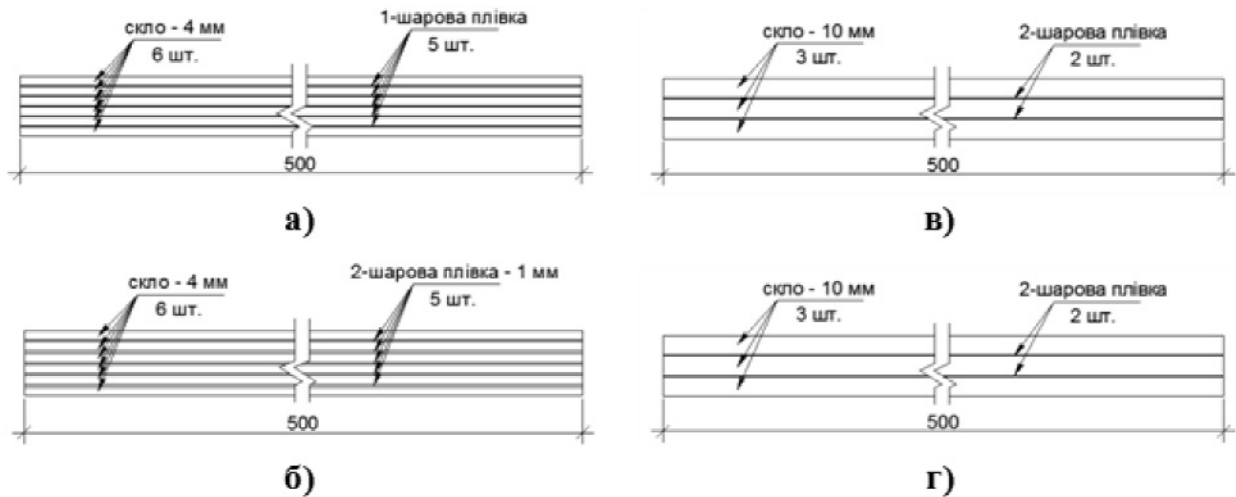


Рис.1. Геометричні параметри експериментальних зразків – плит марок:
а) ПС-1.1; б) ПС-1.2; в) ПС-1.3; г) ПС-1.4

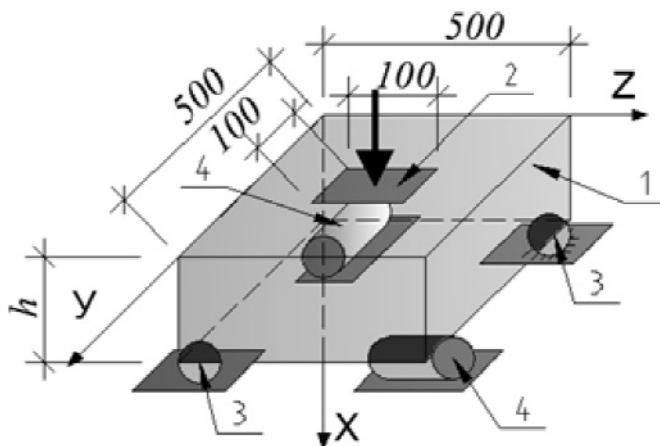
Постановка завдання. Провести експериментальні дослідження скляних багатошарових плит, які працюють на згин від дії зосередженої сили посередині плит, з метою створення рекомендацій з проектування таких конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментів були виготовлені 4-и скляні багатошарові плити марок ПС-1.1...ПС-1.4 з розмірами в плані 500х500 мм, різної товщини та з різною кількістю полімерних плівок (рис.1). Дослідні зразки були виготовлені за технологією триплексування ТзОВ ТВК "Радо" [9]. Для виготовлення плит було використано листове флоат-скло згідно з ДСТУ Б В.2.7-122:2009 та ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009 з наступними фізико-механічними характеристиками: міцність на стиск – 700 МПа, на розтяг – 30 МПа, на згин – 15 МПа (характерна гранична міцність на згин, на яку впливає якість кромки і тип скла – $f_{g,k} = 45$ МПа), густина – 2500 кг/м³. Для міжшарового ламінування скла засто-

совувалась плівка типу EVASAFE, вироблена компанією Bridgestone (Японія).

Установка для випробування на згин скляних плитних взірців від дії зосередженої сили через жорсткий штамп була запроєктована аналогічно до застосованої раніше у дослідженнях пінобетонних плит на продавлювання [10, с.133; 11, с. 101-102]. Схема випробування відповідала роботі плит, як вільно опертих, що працюють у двох напрямках і опираються по чотирьох кутах на чотири шарнірні опори [12]. При цьому, в двох протилежних кутах по діагоналі плит встановлювалися шарнірні кульові опори 3, які допускали поворот у двох взаємно перпендикулярних напрямках (одна рухома опора, друга – нерухома), а в двох інших кутах зразків встановлювалися шарнірні циліндричні рухомі опори 4, які допускали поворот в одному з взаємно перпендикулярних напрямків (рис. 2).

Дослідний зразок плити 1 встановлювався на опорний металевий столик 5, виготовлений з мета-



- 1 – дослідний зразок (шари умовно не показані);
- 2 – металевий штамп;
- 3 – шарнірні кульові опори;
- 4 – шарнірні циліндричні рухомі опори

Рис. 2. Схема досліджень

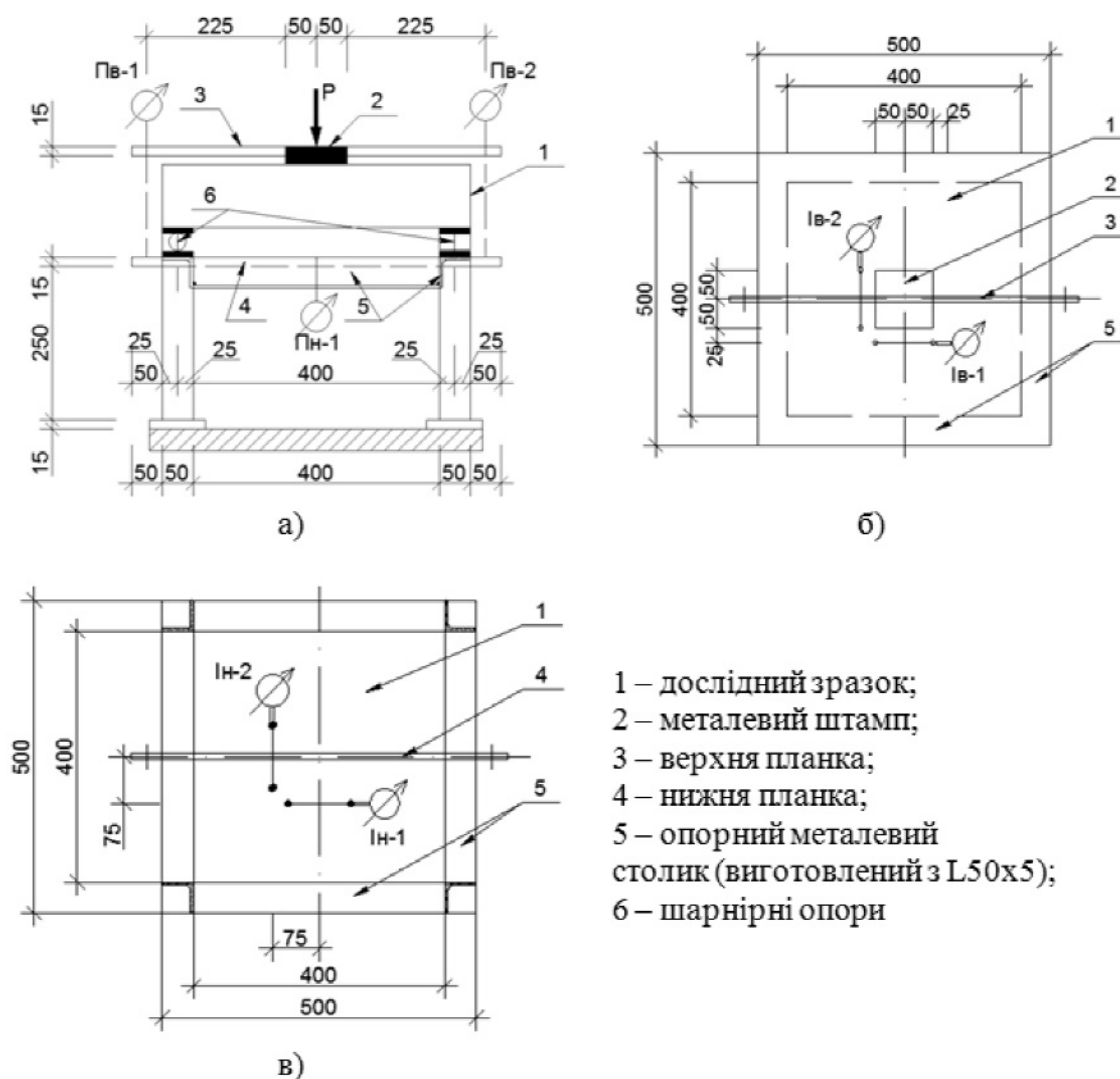


Рис. 3. Схема установки випробувань: а) схема розміщення індикаторів Пв-1, Пв-2 та Пн-1 (загальний вигляд схеми); б) схема розміщення мікроіндикаторів Ів-1... Ів-2 (вигляд зверху); в) схема розміщення мікроіндикаторів Ін-1... Ін-2 (вигляд знизу)

левого кутника (L50x5) (рис.3). Зовнішнє вертикальне навантаження Р створювалося гідравлічним домкратом та прикладалося до плити за допомогою металевих штампів 2 розміром 100x100x25 мм через картонну прокладку. Навантаження фіксувалося за допомогою тарованого динамометра, який встановлювався між штампом та гідравлічним домкратом.

Для заміру вертикальних переміщень (прогинів) — на верхній планці 3 та на нижній планці 4 встановлювалися мікроіндикатори (див. рис. 3, а) з ціною поділки 0,001 мм, відповідно — для верхньої (Пв-1, Пв-2) та нижньої (Пн-1) поверхонь плит. Деформації скла замрялись мікроіндикаторами у верхній (Ів-1, Ів-2) та нижній (Ін-1, Ін-2) зонах плит.

Навантаження прикладалося ступенями по 0,5 - 1кН з витримкою 5 хв. Вигляд плит після випро-

- 1 – дослідний зразок;
- 2 – металевий штамп;
- 3 – верхня планка;
- 4 – нижня планка;
- 5 – опорний металевий столик (виготовлений з L50x5);
- 6 – шарнірні опори

бувань показано на рис. 4. Руйнування плит характеризувалось утворенням тріщин від штампів до граней плит у чотирьох напрямках. В процесі досліджень велися записи показів динамометра, індикаторів та мікроіндикаторів до моменту руйнування плит.

Руйнування дослідних зразків пройшло для усіх плит від раптового утворення тріщин у крайньому нижньому шарі скла. Графіки наростання прогинів в процесі експерименту показані на рис. 5, а значення руйнуючих навантажень та максимальних прогинів для досліджуваних плит представлено у табл. 1.

Покази мікроіндикаторів у верхній зоні плит (Ів-1, Ів-2) показали деформації стиску, а у нижній зоні плит (Ін-1, Ін-2) — деформації розтягу. Детальний аналіз отриманих з мікроіндикаторів да-

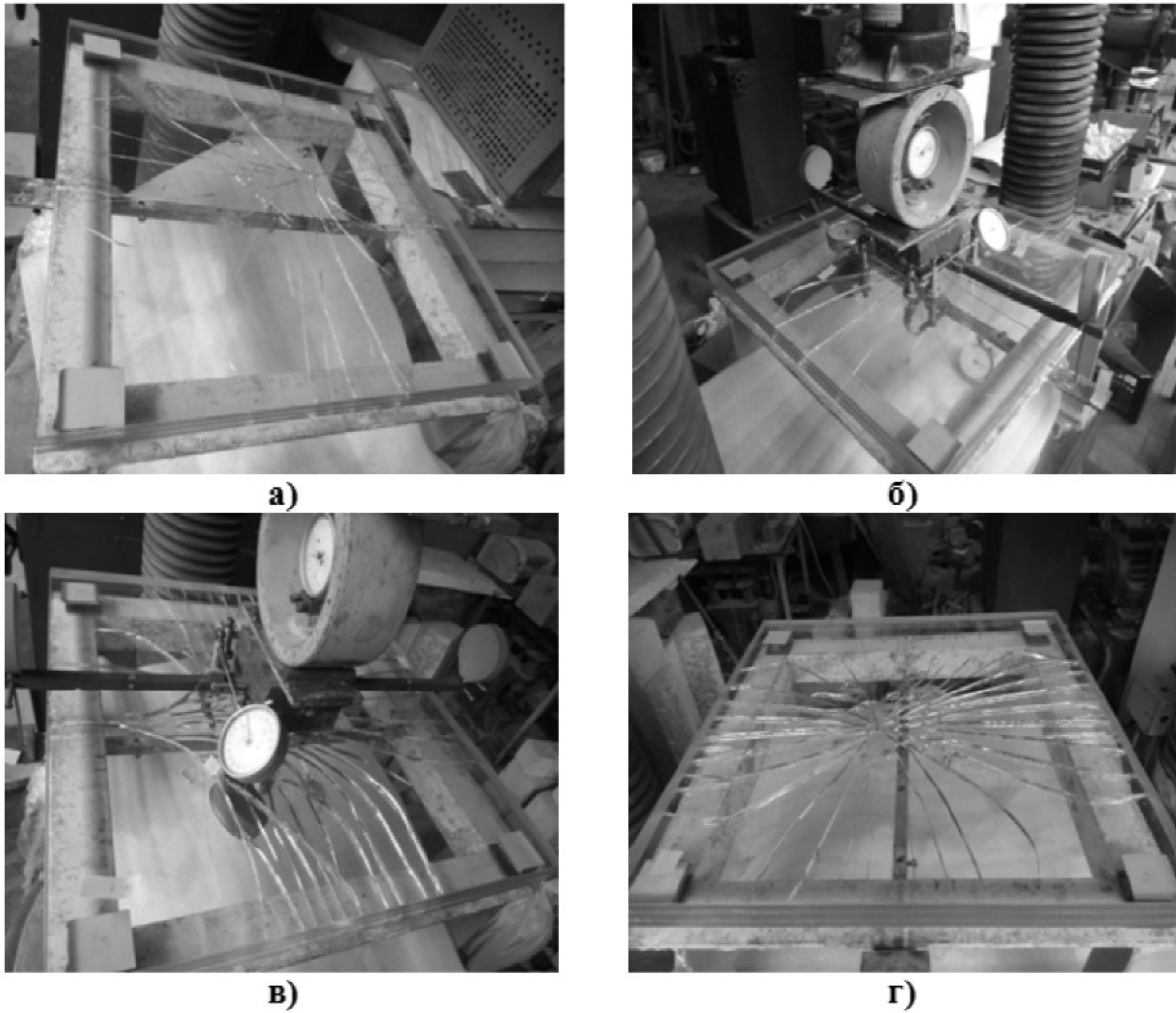


Рис. 4. Вигляд плит після руйнування: а) ПС-1.1; б) ПС-1.2; в) ПС-1.3; г) ПС-1.4

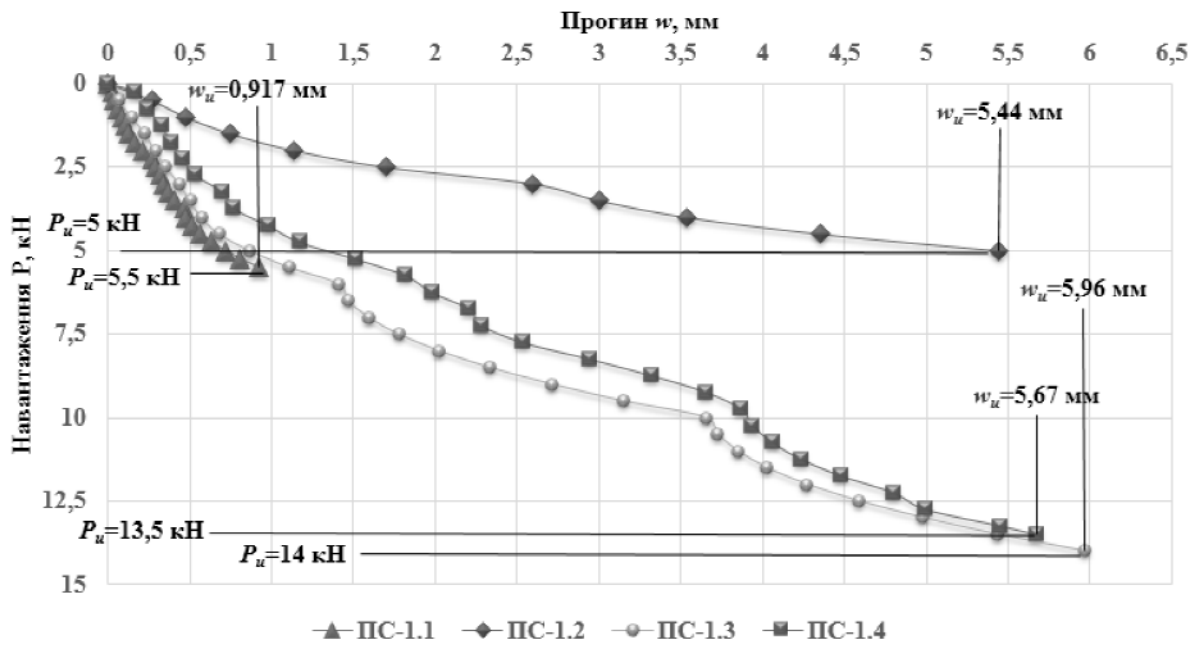


Рис. 5. Графіки залежності прогину взірців плит від навантаження

Таблиця 1. Руйнуючі навантаження для досліджуваних плит

Марка плити	Руйнуюче навантаження P _n , кН	Максимальний прогин w _n , мм
ПС-1.1	5.5	0,917
ПС-1.2	5.0	5,44
ПС-1.3	14.0	5,96
ПС-1.4	13.5	5,67

них буде проведено в подальших дослідженнях.

Висновки. За результатами виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Апробовано методику експериментальних досліджень багатошарових скляних плит, опертих по чотирьох кутах, що працюють на згин від зосередженого навантаження посередині плит.

2. Картина руйнування мала хрестоподібний характер утворених тріщин з їх розвитком від центру плит (від штампку) до граней плит.

3. Встановлено, що плити із меншою кількістю шарів скла з більшою їх товщиною утворюють міцнішу конструкцію, ніж плити із більшою кількістю шарів скла з їх меншою товщиною. Пояснення цьому може бути те, що руйнування плит пройшло раптово по крайньому нижньому шару, товщина якого у плитах марок ПС-1.1 та ПС-1.2 складала 4 мм, а у плитах марок ПС-1.3 та ПС-1.4 – 10 мм.

4. Оскільки руйнування в усіх плитах пройшло по крайньому нижньому шару скла, можна рекомендувати для збільшення їх несучої здатності використовувати для нижнього розтягнутого шару гартоване скло, або додаткове армування в розтягнутій зоні плити.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування світлопрозорих елементів огорожувальних конструкцій [Електронний ресурс] / – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 46 с. – Режим доступу: http://vikna-bud.com.ua/images/dstu-nbv.2.6-83_2009u-1.doc

2. ДСТУ Б В.2.7-123-2004 (ГОСТ 30826-2001). Скло багатошарове будівельного призначення: Технічні умови. – К.: Держбуд України, 2004. – 39 с.

3. ДСТУ Б В.2.7 -122:2009 Скло листове. Технічні умови (EN 572:2004, NEQ) – К.: Мінрегіонбуд України, – 98 с.

4. Демчина Б. Дослідження міцності та деформативності скляних балкових конструкцій / Б.

Демчина, М. Черевко, В. Прокоп'юк // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2014. – № 15. – С. 51-56. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau_2014_15_11

5. El-Shami M. M. Structural behavior of architectural glass plates / M.M. El-Shami, Y.E. Ibrahim, M. Shuaib // Alexandria Engineering Journal – 2010. – №49. – P. 339-348.

6. Ivanov I. Computational models of laminated glass plate under transverse static loading [Електронний ресурс] / I. Ivanov, D. Velchev, T. Sadowski, M. Kne'c // Altenbach H. Shell-Like Structures / H. Altenbach, V. Eremeyev. – Berlin, 2011. – Vol. 15. – P. 469-490. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/225870830_Computational_Models_of_Laminated_Glass_Plate_under_Transverse_Static>Loading

7. Bennison S. Strength of Laminated Safety Glass [Електронний ресурс] / S. Bennison, C. Smith, A. Van Duser, A. Jagota // Glass Processing Days. – 18-21 June 2001, Tampere, Finland. – Режим доступу: http://glasslaminatingsolutions.kuraray.com/fileadmin/user_upload/technical_information/downloads/wHITEPAPERS/strength_of_laminated_safety_glass.pdf

8. Sakai S. Optimum Design of Impact Resistance of Laminated Glass Plate [Електронний ресурс] / S. Sakai, K. Maenaka, H. Kakuda, K. Yamazaki // 10th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization. – 19-24 May 2013, Orlando, Florida, USA. – Режим доступу: <http://www2.mae.ufl.edu/mdo/Papers/5136.pdf>

9. Триплексація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tok-rado.com.ua/services/laminated/>

10. Осадчук Т. Использование классической теории упругости пластин для расчета плит, работающих на продавливание в контексте обеспечения устойчивого развития в строительстве / Т. Осадчук, Х. Демчина // Sustainable Development. – Varna, 2014. – № 20. – S.131-136.

11. Осадчук Т. Дослідження пінобетонних плит, армованих стальними сітками з різним анкеруванням на продавлювання / Т. Осадчук, Х. Демчина // XV Міжнародний науково-практичний форум "Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій" (м. Дубляни, 24-26 вересня 2014 р.). — С. 101-106.

12. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости [Электронный ресурс]. — НИИЖБ, М: 1994г. — 33с. — Режим доступа: <http://www.cad.dp.ua/gost/files/GOST8829-94.pdf>

АННОТАЦИЯ

Описана методика экспериментальных исследований многослойных стеклянных плит опирающихся по четырем углам, работающих на изгиб от локальной нагрузки посередине плит. Представлены результаты экспериментальных исследований согласно принятой схеме испытания. Проанализирован характер разрушения опытных образцов. Экспериментально доказана необходимость выбора стеклянных плитных конструкций с меньшим количеством слоев стекла большей толщины и рекомендовано использование внешнего слоя в растянутой зоне из закаленного стекла, или с дополнительным армированием.

Ключевые слова: стекло, стеклянные многослойные плиты, локальная нагрузка, исследования.

ANNOTATION

Technique of experimental researches of corner-supported multilayered glass plates which working on bending under loading on the local area in the middle of plates is described. The results of experimental researches in accordance with the test scheme are presented. The fracture pattern of test samples is analysed. The necessity to choose glass plate designs with fewer thicker layers of glass is experimentally proved and the use of the outer layer in tension zone with tempered glass or additional reinforcement is recommended.

Keywords: glass, laminated glass plates/multi-layered glass laminates, loading on the local area, research.

УДК 658.511:69.056

Никифоров А. Л.; Менейлюк И.А., к. т. н.;
Ершов М. Н., к. т. н., ОГАСА, г. Одесса

ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты экспериментально-статистического моделирования и поиска рациональных организационно-технологических решений проекта реконструкции инженерного сооружения на примере радиобашни им. Шухова. Разработан алгоритм проведения исследования, позволяющий построить аналитические и графические зависимости исследуемых показателей от технологических и организационных факторов. На основании зависимостей предложены рациональные варианты условий проведения работ.

Ключевые слова: экспериментально-статистическое моделирование, реконструкция, высотные инженерные сооружения, численные методы оптимизации.

Введение. В Украине и за её пределами имеется большое количество высотных инженерных сооружений. Большая часть из них эксплуатируется десятки лет и более. Многие высотные инженерные сооружения требуют проведения ремонтно-восстановительных работ, а некоторые — противоаварийных. Реализация таких проектов требует значительных затрат. Как правило, существует множество вариантов выполнения работ по реконструкции. Они могут иметь различную стоимость, сроки выполнения. Специфика некоторых объектов требует определённого графика работ (только в почную смену, использование ограниченного количества людей или календарного времени). В нормативных документах и изученных информационных источниках отсутствуют указания по выбору эффективных организационно-технологических решений при реконструкции таких сооружений. Поэтому такие работы требуют моделирования и последующей оптимизации по наиболее важным критериям. Моделирование таких вариантов и анализ экспериментально-статистических моделей позволит определить лучшее решение по выбранным критериям эффективности.