

67-72-23/2  
16.04.2020

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
**на дисертаційну роботу Осадчука Тараса Юрійовича**  
**на тему «Міцність та деформативність скляних багатошарових**  
**плит»,**  
**представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних**  
**наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та**  
**споруди**

**Актуальність теми дисертації.** Прозорість, легкість та естетика – це ті основні вимоги при використанні скла, що відповідають сучасним поглядам в архітектурі. Разом з тим необхідно відмітити, що завдяки його прозорості існує можливість більш широкого використання сонячного світла, тепла та енергії, що робить скло енергоефективним та біологічно стійким матеріалом порівняно з іншими матеріалами. Щодо оптичних властивостей скляних багатошарових плит, то вони забезпечують збільшення візуального простору на оглядових майданчиках і перекриттях, а також сприяють раціональнішому використанню природнього освітлення через панорамні покриття. Серед інших переваг скляних конструкцій: екологічність та добрі звукоізоляційні властивості.

Історія використання багатошарового скла розпочинається із застосування його в автомобільній галузі як захисного скла. Із розвитком інженерної думки, такий вид скла все частіше використовується у сучасному проектуванні мостів, будівель і споруд, причому не тільки в елементах фасадного скління, але й у несучих конструкціях через його високі фізико-механічні властивості. Прикладом такого застосування можуть бути скляні мости у Китаї, оглядові майданчики в США, покриття та перекриття в готелях, торгово-розважальних комплексах та інших сучасних об'єктах інфраструктури у всьому світі.

В Україні сьогодні комплексні наукові дослідження багатошарових скляних конструкцій практично не ведуться. Тому, дослідження скляних багатошарових плит на згин допоможе вирішити актуальну проблему з впровадження нових багатофункціональних конструкцій в будівельній галузі при спорудженні будівель та споруд.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна.** Дисертаційна робота присвячена вивченню міцності та деформативності скляних багатошарових плит, опертих по чотирьох кутах, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження, прикладеного через штамп посередині дослідних зразків.

Наведені в дисертаційній роботі теоретичні обґрунтування та експериментальні дослідження виконані коректно на високому науковому рівні. Всі наукові положення обґрунтовані і графічно проілюстровані. Вірогідність експериментальних результатів підтверджується порівнянням отриманих експериментальних та теоретичних результатів досліджень. Рівень новизни результатів дисертаційної роботи полягає у подальшому розвитку підходу до оцінки міцності скляних багатошарових плит, опертих по чотирьох кутах, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» на кафедрі «Будівельні конструкції та мости» та відповідає науковому напрямку кафедри «Теоретичні та експериментальні дослідження звичайних та попередньо напружених залізобетонних, металевих, дерев'яних та інших конструкцій будівель, споруд, мостів і фундаментів та методів їх підсилення з врахуванням різних видів армування, бетонування, способів та інтенсивності навантаження, дії агресивного середовища, підвищених температур» (протокол № 10 від 17.06.2014) і є складовою частиною наукових досліджень в лабораторії НДА-23 у 2015-2019 роках за госпдоговірними темами згідно з договорами №264 (Замовник – ТзОВ «Торгово-виробнича компанія «Радо», м. Львів) та №849 (Замовник – ТОВ «Глас Трьош Львів», м. Львів).

**Наукова новизна дисертаційної роботи** полягає в отриманні нових експериментальних даних напружено-деформованого стану, характеру руйнування, міцності та деформативності багатошарових скляних плит з різною кількістю шарів та товщини скла, наявності армування та кількості полімерних плівок для міжшарового ламінування, різного типу та комбінації шарів скла; запропонованні методики визначення фізико-механічних характеристик скла, з використанням ймовірно-статистичного методу оцінки даних; розробці методик розрахунку скляних багатошарових плит на згин, що дають добру збіжність з експериментальними даними; розширенні можливості використання методу кореляції цифрових зображень (КЦЗ) для вимірювання деформацій поверхні скляних багатошарових плит та фактографічного аналізу з використанням цифрової оптичної мікроскопії для дослідження тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі.

**Практичне значення дисертаційної роботи** полягає в розробці методик дослідження та розрахунку міцності та деформативності скляних багатошарових плит, що працюють на згин. Отримані результати досліджень можуть бути використані в будівельній галузі, а також в програмах навчальних дисциплін для студентів будівельного спрямування.

**Мета дисертаційної роботи** – встановити міцність і деформативність скляних багатошарових плит, опертих по чотирьох кутах, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження, прикладеного через штамп посередині дослідних зразків та розробити рекомендації з їх проектування.

**Задачами дисертації** є експериментальні дослідження несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності скляних багатошарових плит, опертих по чотирьох кутах, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження та обґрунтування доцільності використання таких плит для конструктивних цілей у будівництві; застосування методу кореляції цифрових зображень (КЦЗ) для вимірювання деформацій поверхні скляних багатошарових плит; розробка методик досліджень для визначення фізико-механічних характеристик скла та критеріїв тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі; на основі аналізу експериментальних досліджень розроблення методик розрахунку та рекомендацій з проектування скляних багатошарових плит.

**Об'єктом дослідження** є скляні багатошарові плити з різною кількістю, типом та товщиною шарів скла, різною кількістю полімерних плівок для міжшарового ламінування та з наявним чи відсутнім

армуванням, а **предметом дослідження** – міцність та деформативність скляних багатошарових плит, що працюють на згин.

**Достовірність та обґрунтованість** представлених результатів, запропонованих основних висновків забезпечена використанням методів математичного планування, методу прямого експерименту, методу кореляції цифрових зображень (КЦЗ), методу прямого заміру переміщень прогиномірами та індикаторами для визначення деформацій та прогинів, статистичного та статистично-ймовірнісного аналізу даних експериментальних досліджень, фрактографічного аналізу дослідних зразків та порівняльного аналізу збіжності теоретичних даних і даних, отриманих експериментальним шляхом.

**Повнота викладу в опублікованих працях.** Основні результати дисертаційної роботи автором доповідалися і обговорювалися на II міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (м. Одеса, 16-17 листопада 2017 р., ОДАБА); Міжнародній науково-технічній конференції «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села» (м. Дубляни, 26-28 квітня 2018 р., ЛНАУ); Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села. Розробка інноваційних моделей екопоселень Прикарпаття та Карпат» (м. Дубляни, 15-17 травня 2019 р., ЛНАУ); наукових семінарах кафедри «Будівельні конструкції та мости» Національного університету «Львівська політехніка» (у 2016-2019 рр.).

Основний зміст дисертаційної роботи викладений у 7 наукових публікаціях, серед них: 3 статті у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, що включене до міжнародної наукометричної бази даних Scopus; 2 статті у виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз даних, з них 1 стаття – у виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази даних Web of Science, 1 стаття – Index Copernicus; 1 тези доповідей міжнародних конференцій. Отримано Висновок Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності» (Укрпатент) про видачу деклараційного патенту на корисну модель за результатами формальної експертизи № 26825/ЗУ/19 від 13.11.2019.

Всі основні результати дисертаційної роботи автором отримані самостійно. Участь автора у спільних публікаціях відображена в переліку опублікованих робіт. Зміст дисертаційної роботи достатньо повно відображений в авторефераті.

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Дисертаційна робота викладена на 203 сторінках.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків дисертанта** доцільно розглянути за кожним розділом дисертації окремо.

**У вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження, показано зв'язок з науковими програмами, сформульовану мету, задачу, предмет та методи дослідження, вказано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

**В першому розділі дисертації** автор детально подає огляд наукових та нормативних літературних джерел за тематикою досліджень, зокрема вказує на існуючі випадки використання скляних багатошарових плит у якості несучих конструкцій у будівництві, розглядає сучасні види скла та

технологію виготовлення скляних багатошарових плит, подає аналіз наявних методів аналітичного та чисельного розрахунку таких конструкцій. Подані відомості про історичний розвиток технології виробництва листового скла, його фізико-механічні властивості. Окрема увага приділена багатошаровому склу, фізико-механічним характеристикам полімерної плівки Bridgestone EVASAFE, яка використовувалась для міжшарового ламінування скляних плит. Так як для багатошарових плит можливе використання різного типу скла, а саме звичайного, термозміцненого чи гартованого, окремий підпункт розділу присвячений характеру руйнування багатошарового скла з різних типів скла. Наведено низку прикладів використання багатошарових скляних плит у різноманітних конструктивних елементах будівель та споруд. Розділ завершується висновками та сформульованими задачами дослідження.

**У другому розділі** автором висвітлено обсяг та методики експериментальних досліджень. Розділ вміщує опис зразків скляних багатошарових плит для дослідження на згин, зразків для дослідження фізико-механічних характеристик скла на розтяг при згині та зразків для дослідження зчеплення шарів скла під дією статистичного навантаження та описано методики досліджень, серед яких потрібно відмітити метод кореляції цифрових зображень (КЦЗ) який був вперше застосований для вимірювання деформацій поверхні скляних багатошарових плит. Детально висвітлено процес проведення експериментальних досліджень: подана схема випробувань та схема розміщення вимірювальних приладів, описано конструкцію стенду для випробування дослідних зразків скляних багатошарових плит на згин. Описана також схема випробувань на трьохточковий згин згідно з ASTM C1161-13, яка була прийнята для визначення фізико-механічних характеристик скла. Детально висвітлено методику дослідження критеріїв тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі на основі фрактографічного аналізу за допомогою цифрової оптичної мікроскопії на зразках після дослідження фізико-механічних характеристик скла. Для аналізу отриманих експериментальних даних міцності та модуля пружності скла, а також критеріїв тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі автором був прийнятий ймовірно-статистичний метод оцінки даних на основі закону двопараметричного розподілу Вейбулла. Розділ завершується висновками до розділу.

**Третій розділ** дисертаційної роботи вміщує детальний аналіз експериментальних досліджень міцності та деформативності згинаних скляних багатошарових плит; подані запропоновані оптимальні параметри для методу КЦЗ згідно з прийнятим способом підготовки поверхні, виведені перевідні коефіцієнти для отримання числових значень відносних деформацій, заміряних оптичним методом; описано визначені фізико-механічні характеристики скла, критерії тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі з використанням ймовірно-статистичного методу оцінки даних на основі закону двопараметричного розподілу Вейбулла, а також проаналізована міцність різних типів склеювання скла між собою. Розділ добре проілюстрований, результати досліджень представлені у вигляді значної кількості таблиць та графіків. Розділ завершується висновками до розділу.

**У четвертому розділі**, за пропозицією автора, представлено три методики розрахунку скляних багатошарових плит: аналітичний розрахунок (I-ша методика) – на основі концепції ефективної товщини (за prEN

16612:2013) та теорії пружності пластин (модель С. Войновського-Кригера та С.П. Тимошенка); чисельно-аналітичний розрахунок (II-га методика) – на основі концепції ефективної товщини (за рrEN 16612:2013) та нелінійного розрахунку за допомогою МСЕ (з використанням ПК АРА-САПР); чисельно-аналітичний розрахунок (III-тя методика) – на основі механіки руйнування, МСЕ (з використанням програми Ansys Workbench) та концепції ефективної товщини (за рrEN 16612:2013). Після опису кожної методики проведено аналіз результатів розрахунку. У цьому ж розділі приведені рекомендації з проектування скляних багатошарових плит. В кінці розділу подані висновки до розділу.

Як завершення, в дисертаційній роботі, сформульовано **загальні висновки**, які відображають найважливіші з результатів, отриманих внаслідок проведених експериментально-теоретичних досліджень та контрольних розрахунків, є достатньо обґрунтовані і впливають з тексту, що їм передує.

Слід відмітити, що дисертаційна робота добре проілюстрована, написана технічно грамотно, має цікавий і досить місткий експериментально-теоретичний матеріал. Дисертаційна робота викладена автором державною мовою.

**Список використаних джерел** викладено на 18 сторінках, містить 153 найменування.

**В трьох додатках** представлені: схема-алгоритм методики чисельно-аналітичного моделювання та розрахунку скляних багатошарових плит на основі механіки руйнування, методу скінченних елементів та концепції ефективної товщини; акти впровадження результатів дисертаційної роботи; список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

**Разом з тим, щодо дисертаційної роботи є такі зауваження:**

1. Яким чином було враховано досвід виконання багатошарових скляних плит при підготовці експериментальних зразків.

2. На основі яких міркувань кількість прошарків півки обмежено двома шарами.

3. Чому саме така форма та розмір штампа була використана для проведення експериментальних досліджень.

4. З тексту дисертації не зрозуміло як закріплювались вимірювальні прилади на поверхні дослідних зразків скляних плит.

5. Так як дослідні зразки багатошарові, то виникає небезпека зсуву між шарами. Згідно пояснень, деформації зсуву були враховані згідно з рrEN 16612:2013, а чи перевірялось фактичне значення зсуву на дослідних зразках плит.

6. Згідно яких рекомендацій були підібрані розміри дослідних зразків для дослідження зчеплення шарів скла (рис. 2.2, стор. 55, табл.2.3, стор. 56).

7. Які критерії вплинули саме на такий вибір розміру фасету та розміру кроку між ними при нанесенні стохастичного рисунку на поверхню досліджуваних багатошарових скляних плит ручним способом чи розпиленням аерозольної фарби при вимірюванні деформацій методом кореляції цифрових зображень (КЦЗ) (стор. 120, 132).

8. В рекомендаціях з проектування (стор. 153) рекомендовано використовувати в скляних багатошарових плитах три шари скла певної

товщини та два шари плівки EVASAFE™ (п.1), але не обумовлено які оптимальні габаритні розміри таких плит.

9. Так як автором запропоновано використовувати для багатошарових скляних плит гартоване та термозміцнене скло (п. 2, стор. 153), доцільно було б в процесі експериментальних досліджень визначити фізико-механічні властивості таких видів скла, а не лише звичайного (п.5, стор. 157).

Вказані вище зауваження не знижують як теоретичного, так і практичного значення дисертаційної роботи, не мають характеру принципового заперечення, а спрямовані лише на покращення змісту формулювань та сприйняття тексту і можуть бути враховані при проведенні подальших експериментально-теоретичних досліджень за даною тематикою.

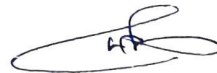
**Висновок щодо відповідності дисертаційної роботи вимогам МОН України.**

Дисертація Осадчука Т.Ю. є цілісною, завершеною науковою працею, в якій вирішено науково-прикладне завдання дослідження міцності та деформативності скляних багатошарових плит. Дослідження проведено на високому науковому рівні, дисертацію та автореферат оформлено згідно з існуючими вимогами «Порядку присудження наукових ступенів».

Особливо хотів би ще раз відмітити значний обсяг експериментального матеріалу та значний обсяг роботи з вивчення та аналізу іноземних наукових та нормативних літературних джерел.

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що за актуальністю і новизною, обсягом проведених досліджень та їх науковим рівнем, теоретичною і прикладною значущістю отриманих результатів, повнотою їх опублікування у фахових виданнях дисертація «Міцність та деформативність скляних багатошарових плит» відповідає всім вимогам до кандидатських дисертацій, а її автор, **Осадчук Тарас Юрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.**

Офіційний опонент, кандидат технічних наук,  
доцент, завідувач кафедри технології та  
організації будівництва Львівського  
національного аграрного університету



Ю.Є. Фамуляк

Підпис к.т.н., доцента Фамуляка Ю.Є. засвідчую:

Головний вчений секретар ЛНАУ, к.с.н.



І.М. Федів