

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, КОНСТРУКЦІЇ ТА СПОРУДИ**

---

УДК 624.012:016

**РАЦІОНАЛЬНІ ЗГИНАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ЗІ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ЗАПОВНЕНИМИ БЕТОНОМ ПОРОЖНИНАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ СКЛЕЮВАННЯ**

Д-р техн. наук, О.І. Лапенко, аспіранти П.С.Білокуров, Г.І.Гришко, А.І.Машкова

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗГИБАЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАПОЛНЕННЫЕ БЕТОНОМ ПУСТОТАМИ С ПОМОЩЬЮ СКЛЕИВАНИЯ**

Д-р техн. наук, А.И.Лапенко, аспиранты П.С.Белокуров, Г.И.Гришко А.И.Машкова

**RATIONAL BENDING CONSTRUCTIONS WITH STEEL ELEMENTS WITH FILLED CONCRETE CAVITY THROUGH PASTING**

**Dr. techn. science, O. Lapenko, postgraduate P. Belokurov, G. Grishko, A. Mashkova**

*Ми представляємо експериментальні дослідження випробування раціональних згинальних конструкцій зі сталевих елементів із заповненими бетоном порожнинами за допомогою склеювання. При застосуванні сталезалізобетонних згинальних елементів використовуються найкращі властивості двотаврового та коробчастого профілю і для придання стійкості та жорсткості перерізу використовується бетон, що приклеюється до сталі.*

**Ключові слова:** дослідження, випробування, сталезалізобетон, двотавр, сталь, бетон, клей

*Мы представляем экспериментальные исследования испытания рациональных изгибаемых конструкций из стальных элементов с заполненными бетоном полостями посредством склеивания. При применении сталежелезобетонных изгибаемых элементов используются лучшие свойства двутаврового и коробчатого профиля и для придания устойчивости и жесткости сечения используется бетон, который приклеивается к стали.*

**Ключевые слова:** исследования, испытания, сталежелезобетон, двутавр, сталь, бетон, клей

*By the way of the external load application, specimens of each type are divided into series in accordance to the accepted geometrical characteristics of experimental specimens. The specimens of each series, in their turn, are differ one from another by the availability and type of the adhesive-bonded joint. Therefore, the determinal factors are: the geometrical characteristics of structure, concrete strength class, and availability of adhesive-bonded joint.*

*All these distinctions can influence the adhesive joint's bearing capacity value, as well as the strength and deformability of experimental specimens (beams).*

*During experimental investigations procedure it is planned to study the dependence of bearing capacity of adhesive-bonded joint from availability and type of the adhesive, as well as its influence the strength and deformability of experimental steel composite beams.*

*There was used such type of adhesive: acryl-based one as ASS-T. ASS-T is a high-molecular mixture, which is based on suspension polymer of methylmethacrylate.*

*The approved principles of experimental studies and measurement instruments allow the receiving of necessary experimental data for determination the strength and deformability of*

*strengthened steel composite beam systems with the prescribed accuracy, as well as the study the form of fracture of specimens under investigation.*

**Keywords:** *research, testing, steel-concrete, doublet beams, steel, concrete, clay*

**Вступ.** На даний час в будівництві набуло розповсюдження при підсиленні залізобетонних конструкцій та при закріпленні анкерних болтів застосування клеїв [1]. Особливо позитивно в цьому випадку зарекомендували себе акрилові клеї. Акриловий клей складається з полімерного в'язучого і наповнювача. Як полімерне в'язуче застосовується акрилова пластмаса АСТ-Т, що являє собою компаунд холодного твердіння типу порошок-рідина. Рідкоподібний компонент (затверджувач) – метиловий ефір метакрилової кислоти. Затвердіння акрилової пластмаси здійснюється при нормальній температурі за рахунок полімеризації, заснованої на реакції окислювально-відновних систем. Як наповнювач може використовуватися сухий кварцовий пісок із крупністю зерен від 0,16 до 0,63 мм. Для підвищення адгезійних, когезійних, технологічних та інших властивостей можуть застосовуватися модифікатори.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Нині широке застосування дістали сталезалізобетонні конструкції, які в своєму складі поєднують бетон, арматурні стрижні та сталеві прокатні профілі. Поряд з високими техніко-економічними показниками при будівництві цих конструкцій у багатьох випадках вдається повністю позбавитися необхідності застосовувати опалубку і риштування, тому що в якості опалубки можна використовувати сталеві прокатні профілі й листи, а робоча арматура з прокатних профілів із успіхом виконує функції риштувань. Але на даний час ця проблема залишається не розв'язаною.

Викладене дозволяє зробити висновок про актуальність дослідження, проектування та впровадження у будівництво залізобетонних конструкцій у незнімній опалубці, функції якої виконує робоча арматура із листів та прокатних сталевих профілів що з'єднуються між собою за допомогою склеювання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема відповідає напряму науково-технічної політики держави в галузі оцінювання технічного стану будівель і споруд згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №409 від 5 травня 1997 р. „Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд і мереж”.

В національному авіаційному університеті виконується держбюджетна науково-дослідна робота за темою №6/10.01.02: «Новітні технології проектування залізобетонних конструкцій, що зводяться та експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах»

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Науковий прогрес у галузі будівельних конструкцій серед інших факторів, полягає в пошуку нових сполучень сталі та бетону для їх спільної, раціональної роботи в будівельних конструкціях. До таких конструкцій належить сталезалізобетон, до складу якого входять прокатні профілі (сталевий лист), стрижнева арматура і бетон.

В нашій країні накопичений певний досвід із дослідження та впровадження сталезалізобетонних конструкцій. Побудовані несучі конструкції різних будівель і споруд із застосуванням сталезалізобетону, таких як балок та ригелів зі стрічковим армуванням, брускові конструкції, залізобетонні плити по профільованому настилу. Галузь застосування сталезалізобетону досить широка. Про це свідчить велика цікавість до їх дослідження і проектування, яку можна спостерігати на міжнародних конференціях і симпозіумах, що регулярно проводяться останнім часом [2, 3, 4]. В західних країнах уже біля десяти років діє нормативний документ щодо проектування сталезалізобетонних конструкцій „Eurocode 4” [5].

Відомо, що традиційні залізобетонні конструкції мають суттєві недоліки. Один із них – нераціональне використання бетону в розтягненій зоні, де він фактично не працює і навіть не враховується при розрахунках

несучої здатності. А тим часом через вимушене застосування бетону в розтягненій зоні значно збільшується вага конструкції. Дорогою за вартістю й такою, що нерационально використовується є опалубка як для збірних, так і для монолітних залізобетонних конструкцій.

До сьогоднішнього часу сталезалізобетонні конструкції, що являють собою поєднання профільної (листової) сталі, стрижневої арматури і бетону для їх сумісної роботи, отримали широке розповсюдження в усьому світі. Сталезалізобетонні згинальні елементи, армовані листовою арматурою без захисного шару, відкривають нові напрямки розвитку. Вони дозволяють ефективно використовувати високоміцні матеріали, зменшити висоту перерізу, знизити вагу і при цьому скоротити витрати залізобетону при забезпеченні несучої здатності і деформативності, а також зменшити загальну вартість будівель і споруд.

**Визначення мети та задачі досліджень.** Метою проведення експериментальних випробувань згинальних сталезалізобетонних елементів, що склалися зі сталевих двотаврів із заповненими бетоном порожнинами за допомогою склеювання було дослідження:

- впливу клейового з'єднання бетонної та сталеві частин сталезалізобетонних елементів на їх несучу здатність;
- сумісної роботи двох складових комплексної конструкції при клейовому з'єднанні та без нього;
- розвитку тріщиноутворення в бетоні та пластичних властивостей сталеві частини;
- прогинів і деформацій на різних ступенях завантаження;
- характеру руйнування дослідних зразків при різних характерах завантаження.

**Основна частина досліджень.** Для отримання експериментальних результатів, які дадуть можливість достатньою мірою судити про особливості роботи сталезалізобетонних елементів із використанням клейового з'єднання бетону та сталі були запроектовані такі зразки: згинальні сталезалізобетонні елементи двотаврового перерізу із заповненням бокових порожнин бетоном прольотом 2 м із використанням клейового з'єднання (балки Б1) та без нього (балки Б2) (рисунок 1). Вони

утворені зварюванням двотавра №16 (1) із торцевими сталевими пластинами (2) розміром 160×82×4мм, де порожнини заповнені бетонною сумішшю.

Після виготовлення сталеві частини балки, у відповідних зразків місця контакту сталі з бетоном покривались шаром акрилового клею та заповнювалися бетоном.

Акриловий клей складався із 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача і 200 мас-частин кварцового піску із крупністю зерен 0,315 мм. В якості в'язучого використовувався цемент активністю М500 Балаклієвського цементно-шиферного комбінату. В якості заповнювача для бетону використовувався гранітний щебінь Кременчуцького кар'єра фракцією 5-20 мм і кварцовий пісок з модулем крупності 1,4. Зразки зберігались у лабораторних умовах при температурі +15...18°C з відносною вологістю 70...75 % до набору проектної міцності бетону.

Зразки випробовувались при досягненні проектної міцності бетону у віці старше від 28 діб. Випробування проводилися за схемою однопролітної вільно обпертої балки, навантаженої двома силами. Випробування проводилися на дію короточасних навантажень на пресах лабораторії кафедри ЗБ і КК та ОМ Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

В результаті вимірювання деформацій досліджуваних сталезалізобетонних балок, замірених за допомогою індикаторів годинникового типу та електротензорезисторами, отримані графіки залежності деформацій від навантаження та прогинів від навантаження (рисунки 2,3).

Із приведених графіків видно, що в розтягнутій зоні перерізу на початкових стадіях навантаження спостерігається лінійна залежність між згинальними моментами та деформаціями, що свідчить про пружну стадію роботи розтягнутої зони елемента. При подальшому навантаженні близькому до межі текучості відбувається утворення нормальних тріщин до повздожньої осі конструкції та спостерігається втрата стійкості сталеві двотаврового елемента, що призводить до втрати несучої здатності елемента. При навантаженнях, що склалися 85-90% від руйнуючого, виявлені пластичні деформації.

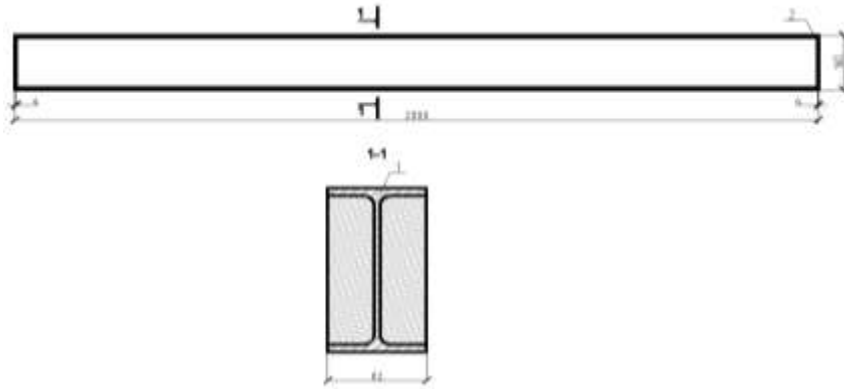


Рис.1. Конструкція дослідних балок:  
1 – двотавр №16; 2 – торцеві пластини

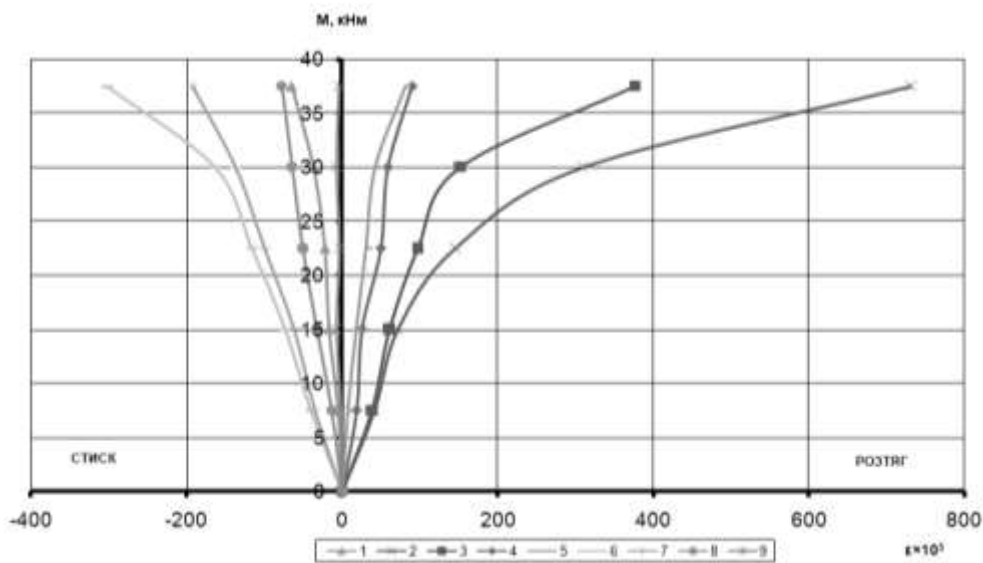


Рис.2. Залежність деформацій від навантаження в нормальному перерізі балки Б1, заміряні електротензорезисторами, розташованими по висоті перерізу

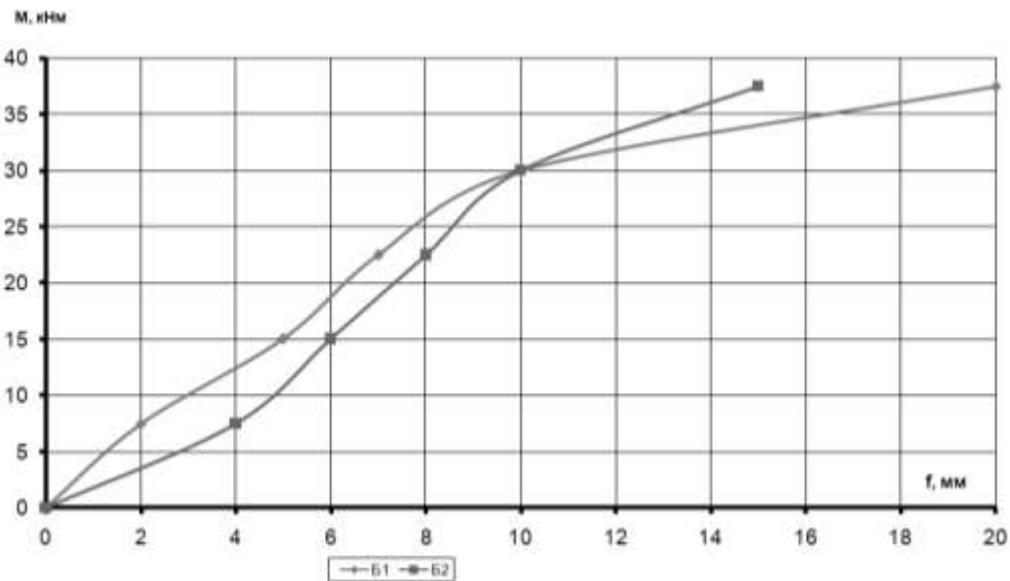


Рис.3. Залежність прогину від зростання навантаження зразків Б1 та Б2

Руйнування сталезалізобетонних елементів відбувалося не крихко, а при досягненні напружень, що відповідали пластичним деформаціям сталевого елемента.

Порівнюючи дослідні зразки з використанням клейового з'єднання сталевих поверхні дотику із бетоном та без нього можна говорити про значне зменшення деформативності конструкцій, в яких використовувалося клейове з'єднання, тобто відносні деформації та прогин в залежності від навантаження зменшувалися приблизно на 25%. Характер деформування балок в залежності від навантаження наведений на рисунку 5.

В процесі випробування не виявлено якогось суттєвого порушення зв'язку металевих частин конструкції з бетонною, як в процесі завантаження, так і при повній втраті несучої здатності елементів. Це свідчить про те, що виникали зусилля обтиснення бетонної частини полицями та стінкою двотаврового елемента не залежно

від наявності клейового з'єднання сталі з бетоном.

Оскільки при проведенні експериментальних досліджень встановлено, що несуча здатність балок утрачається не крихко, що спостерігається в залізобетонних елементах із традиційним армуванням, а зразки здатні витримувати зростаюче навантаження при значних деформаціях, то, враховуючи це в якості несучої здатності в процесі проведення експериментів над згинальними елементами, були зафіксовані такі значення згинального моменту:

1. Згинальні моменти, які відповідали поздовжнім деформаціям, при яких у крайньому волокні виникають напруження текучості сталі ( $M_y$ ).

2. Максимальні згинальні моменти, які може витримати елемент ( $M_u$ ).

Результати граничних значень навантажень згинальних моментів та прогинів наведені в таблиці 1. Таким чином в таблиці приведені для всіх випробуваних зразків граничні значення згинальних моментів.



Рис. 5. Характер деформування балок

Таблиця 1

Несуча здатність згинальних елементів по нормальному перерізу

Зразок	Згинальний момент, кНм		$n = \frac{M_u}{M_y}$	Прогин $f_{max}$ , см
	$M_y$	$M_u$		
Б1	32,22	37,46	1,16	2,02
Б2	33,1	37,61	1,14	1,54

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Таким чином можна вважати доведеним, що прикріплений за допомогою склеювання бетон в боковій порожнині згинальних елементів працює сумісно з металом на всіх етапах завантаження. Характер руйнування цих елементів не є хрупким, що говорить про їх високу надійність в роботі.

У будівництві можуть ефективно використовуватися нові типи раціональних сталезалізобетонних конструкцій, зі сталевих елементів із заповненими бетоном порожнинами за допомогою склеювання. За цим принципом успішно можна будувати різноманітні несучі конструкції покриттів та колон.

### *Список використаних джерел*

1. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд / З.Я.Бліхарський - Львів: Львівська політехніка, 2008. – 108 с.
2. Избаш М.Ю. и др. Эффективный тип перекрытий для реконструкции зданий и сооружений / М.Ю. Избаш, В.В. Асанов // Коммунальное хозяйство городов. Вып.45. Харьков: «Техніка» 2002. – С.212 – 216.
3. Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою / О.І.Лапенко – Полтава: АСМІ, 2009. – 360 с.
4. Сколибог О.В. Розрахунок згинальних сталезалізобетонних елементів деформаційним методом. / О.В.Сколибог // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ. – 2005. – Вип. 16. – С. 153 – 159.
5. Сталезалізобетон: збірник наукових праць / Ред. Л.І.Стороженко – Полтава: ПолтНТУ, 2006. –386 с.
6. Стороженко Л.І. та ін. Дослідження та впровадження в будівництво сталезалізобетонних згинальних елементів, армованих сталевими листами / Л.І.Стороженко, О.В.Семко, О.В.Сколибог, // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» – вип. 67. – Київ, НДІБК, 2007. – С. 342-348.
7. Стороженко Л.І. та ін. Забезпечення сумісної роботи бетону й сталі за допомогою склеювання – перспективний напрямок розвитку сталезалізобетонних конструкцій / Л.І.Стороженко, О.І.Лапенко, О.Г.Горб // Сб «Строительство, материаловедение, машиностроение», вып. 50. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. – С. 532-538.
8. Сурдин В.М. и др. Новое в расчете несущей способности сталебетонных элементов в Германии / В.М.Сурдин, В.М.Кебенко // Сталезалізобетонні конструкції: Зб. наук. праць. – Вип. 4. – Кривий Ріг. – 2000. – С. 35–41.
9. Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных конструкций в условиях статического и динамического нагружения. // Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук / э.Д.Чихладзе – М., 1989. – 34 с.
10. Чихладзе Э.Д. и др. Теория деформирования сталебетонных плит / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арслаханов // Межвуз. сб. научн. тр. – Харьков: ХарГАЖТ, 1996. – Вып. 27. – С. 4 – 39.
11. Яхін С.В. Експериментальні дослідження згинальних елементів із сталевих двотаврів з порожнинами, заповненими бетоном, по нормальних перетинах / С.В.Яхін // Зб. наук. пр. ПДТУ імені Юрія Кондратюка: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава. – 2000.-С. 207-212.
12. DIN 1045. Beton und Stahldeton. Bemessung und Ausführung, Berlin, 1997. – 143 s.
13. Fraquiacomo M. Finite-Element Model for Collapse and Long-Term Analysis of Steel-Concrete Composite Beams / M. Fraquiacomo, C. Amadio, L. Macorini // Journal of Structural Engineering. – 2004. – №3. – P. 489 – 497.
14. Stele-concrete composite structures proceeding of the 4 - international conference. Kosice Slovakia. – June 1994.

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

---

Білокуров Павло Сергійович, аспірант Національного авіаційного університету, тел. (044) 406-74-24 E-mail: [pavel\\_belokurov@ukr.net](mailto:pavel_belokurov@ukr.net)

Гришко Григорій Іванович, аспірант Національного авіаційного університету, тел.(044)406-74-24E-mail: [wtfstyle@meta.ua](mailto:wtfstyle@meta.ua)

Машкова Анна Ігорівна, аспірант Національного авіаційного університету, тел. (044) 406-74-24 E-mail: [annamashkova06091990@gmail.com](mailto:annamashkova06091990@gmail.com)

Lapenko Oleksandr Ivanovich d-r. science, professor department of computer technology building, National Aviation University. tel. (044) 406-71-60 E-mail: [my-partner@ukr.net](mailto:my-partner@ukr.net)

Belokurov Pavel Sergeevich, postgraduate National Aviation University. tel. (044) 406-74-24 E-mail: [pavel\\_belokurov@ukr.net](mailto:pavel_belokurov@ukr.net)

Grishko Grigoriy Ivanovich , postgraduate National Aviation University. tel. (044) 406-74-24E-mail: [wtfstyle@meta.ua](mailto:wtfstyle@meta.ua)

Mashkova Anna Igorevna , postgraduate National Aviation University. tel. (044) 406-74-24 E-mail: [annamashkova06091990@gmail.com](mailto:annamashkova06091990@gmail.com)