

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 13

Луцьк – 2020

У збірнику висвітлюються результати наукових досліджень будівельних матеріалів і конструкцій, технологій зведення та експлуатації будівель, інженерних і транспортних систем; теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам та методів розрахунку; сучасних тенденцій проектних рішень у будівництві; енергоефективних технологій у міському будівництві та господарстві.

Призначений для науковців, фахівців проектних установ і виробничих підприємств, докторантів, аспірантів, студентів закладів вищої освіти.

Редакційна колегія:

Головний редактор – **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ)
Заступник редактора – **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., професор (Луцький НТУ)
Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ)

Азізов Т.Н., д.т.н., професор (УДПУ, Умань); **Андрійчук О.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (НАУ, Київ); **Дробининець С.Я.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (ХНАДУ, Харків); **Задорожнікова І.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Ільчук Н.І.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Кислюк Д.Я.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор (ОДАБА, Одеса); **Кочкарьов Д.В.**, д.т.н., доцент (НУВГП, Рівне); **Мікулич О.А.**, д.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Москалькова Ю.Г.**, к.т.н., доцент (БРУ, Білорусь), **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ "ЛП"); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Пасічник Р.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Пустогльга С.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (НТУ, Київ); **Самчук В.П.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Семенов С.Д.**, д.т.н., професор (БРУ, Білорусь), **Синій С.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Сунак П.О.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Ужегов С.О.**, к.т.н., (Луцький НТУ); **Чапок О.С.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Шишкін О.О.**, д.т.н., професор (КНУ, Кривий Ріг).

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України (свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20340-10140Р від 31.05.2013).

Включений Міністерством освіти і науки до переліку наукових фахових видань України (категорія Б) за спеціальностями 113 – Прикладна математика; 122 – Комп'ютерні науки (наказ МОН України, № 409 від 17.03.2020 р.); 192 – Будівництво та цивільна інженерія (наказ МОН України, № 886 від 02.07.2020 р.).

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького НТУ (протокол № 10 від 25 червня 2020 р.).

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький НТУ, кафедра будівництва та цивільна інженерії, e-mail: Zbirmukfbd@gmail.com,
<http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction>, телефон (0332) 26-24-60

**ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ТЕМПЕРАТУРНИХ МОСТІВ**

**DESIGN OF ENERGY EFFICIENT BUILDING STRUCTURES ON THE
BASIS OF NUMERICAL MODELING OF TEMPERATURE BRIDGES**

**Кузьмич Р.В., магістр, Самчук В.П., к.т.н., доц., Кислюк Д.Я.,
к.т.н., доц. (Луцький НТУ), Савенко В.І. к.т.н., проф. (КНУБА,
м. Київ)**

**Kuzmych R., master, Samchuk V., Ph.D., Associate Professor,
Kyslyuk D., Ph.D., Associate Professor (Lutsk NTU), Savenko V.I. Ph.D.,
Professor (Kyiv National University of Construction and Architecture)**

Дослідження присвячене числовому моделюванню, аналізу конструктивних температурних мостів та розробці рекомендації щодо їх усунення на основі оптимальних проектних рішень. На основі числового експерименту було виконано порівняння енергоефективності проектних рішень ліквідації містка холоду у вузлі примикання перекриття та балконної плити.

In connection with the depletion of natural energy reserves, the urgency of the problem of saving fuel and energy resources and improving the energy efficiency of buildings is growing. To solve this problem, it is necessary to implement a variety of energy-saving measures and apply design solutions with increased energy efficiency.

Purpose of the paper: on the basis of a numerical experiment to investigate and compare the energy efficiency of design solutions for the elimination of the cold bridge in the junction of the floor slab and balcony slab.

A balcony can serve as a cold bridge. Its load-bearing structure is a reinforced concrete slab connected to the floor slab. This is a necessary condition for the installation of the balcony so that it can perceive the operating load. Thus, the balcony is a potential place for the formation of a cold bridge.

Insulation of the balcony slab can be done in different ways, each of which has its own advantages and features of implementation. Among the insulation options for comparison, two were adopted, which are based on the insulation of the balcony slab and the use of a thermal cut-off system - a heat-insulating element.

The paper considers three options for a constructive solution of the connection of the floor slab and balcony slab: option 1 - without any energy efficiency measures (for comparison with energy efficiency); option 2 - insulation of the cantilever part of the balcony slab with extruded polystyrene foam 50 mm thick; option 3 - the use of a system of thermal cutting of the balcony slab from the floor slab with a thermal insert 50 mm thick.

Based on the results of the numerical simulation of the three variants of the node, it can be concluded that only variant 3 satisfies all the requirements of DBN.

In terms of the amount of heat lost due to the considered node designs in the cold season, the 3rd option is almost twice as energy-efficient as the 2nd option and three times more energy-efficient than the 1st option, according to the criterion of minimum energy flow.

Thus, to eliminate cold bridges in the junctions of floor slabs and balconies, it is advisable to give preference to design solutions based on the principle of thermal cut-off.

Ключові слова: енергоефективність, температурний міст, числове моделювання.

Keywords: energy efficiency, temperature bridge, numerical simulation.

Постановка проблеми. У зв'язку з виснаженням природних енергетичних запасів зростає актуальність проблеми економії паливно-енергетичних ресурсів та підвищення енергоефективності будівель. Для вирішення цього завдання необхідно впроваджувати як різноманітні енергозберігаючі заходи, так і застосовувати проектні рішення з підвищеною енергоефективністю.

Сповідливити охолодження будинку можна за рахунок використання прогресивних будівельних технологій, які передбачають заходи з теплозахисту. Як правило, це влаштування зовнішньої оболонки з матеріалів, які погано передають тепло: спінені полімери, мінеральна вата, ніздрюватий бетон тощо [1].

Проте, конструктивні особливості багатьох будівель передбачають використання різноманітних несучих та підсилюючих елементів, таких як залізобетонні балки, колони, плити, перемички, опір теплопередачі у яких низький, через що знижується загальна ефективність теплозахисту конструкцій вцілому.

У зв'язку з цим, актуальними є дослідження, присвячені числовому моделюванню, аналізу конструктивних температурних мостів та розробки рекомендацій щодо їх усунення на основі оптимальних проектних рішень.

Мета роботи: на основі числового експерименту дослідити та порівняти енергоефективність проектних рішень ліквідації містка холоду у вузлі примикання перекриття та балконної плити.

Основна частина. Містки холоду – це зони з підвищеним витоком енергії (тепла або холоду). За даними багатьох дослідників, якщо не ліквідувати містки холоду, тоді в будинку втрачається до 30-50% від загального обсягу енергоресурсів, що витрачаються на обігрів його взимку.

На фасаді будинку візуально визначити містки холоду практично неможливо. Діагностику будівлі та виявлення місць втрати тепла можна виконати лише за допомогою спеціальних приладів, зокрема тепловізора. Проте сучасні програмні комплекси дозволяють побудувати точні моделі елементів будівельних конструкцій, провести числові експерименти та визначити температурні ізополі в конструкціях, тепловий потік через вузол та розподіл температури на внутрішньому контурі вузла.

Існують містки холоду, яких можна уникнути, але бувають і такі, позбутись яких досить складно. Одним з прикладів може бути залізобетонна плита перекриття, яка обпирається на зовнішні стіни. Край плити може доходити до краю площини зовнішньої стіни та може межувати із зовнішнім середовищем, що негативно впливає на енергоефективність конструкції і є хорошим провідником тепла з будинку [2].

Виконувати функцію містка холоду може балкон. Його несучою конструкцією є залізобетонна плита, з'єднана з плитою перекриття. Це необхідна умова при влаштуванні балкона, щоб він зміг сприймати експлуатаційне навантаження. Таким чином, балкон – це потенційне місце утворення містка холоду.

Утеплення плити балкону можна здійснити різними способами, кожен з яких має свої переваги та особливості реалізації. Серед варіантів утеплення для порівняння були прийняті два, які ґрунтуються на утепленні самої балконної плити та використанні системи термічного відсікання – теплоізоляційного елементу.

Для дослідження конструкцій з потенційними містками холоду було використано програму Elcut, яка дозволяє вирішувати завдання інженерного моделювання електромагнітних, теплових та механічних задач методом скінченних елементів. Вона має простий інтерфейс та дозволяє легко запроєктувати та проаналізувати тепловий стан різноманітних систем, зокрема розрахувати розподіл температури й енергетичний потік, що проходить через вузол будівельної конструкції.

Було розглянуто три варіанти конструктивного вирішення примикання перекриття та балконної плити (рис. 1):

- варіант 1: без будь-яких енергоефективних заходів (для порівняння з енергоефективними);
- варіант 2: утеплення консольної частини балконної плити екструдованим пінополістиролом товщиною 50 мм;
- варіант 3: застосування системи термічного відсікання балконної плити від плити перекриття термовставкою товщиною 50 мм.

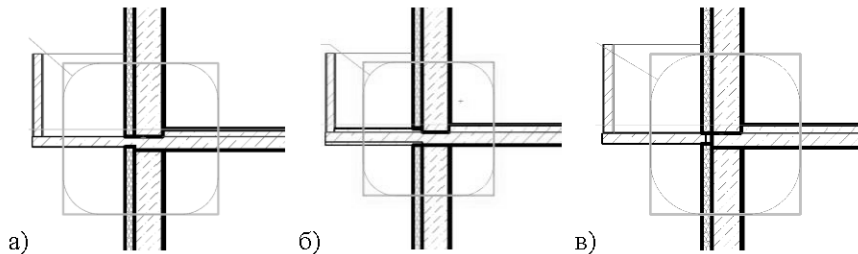


Рис. 1. Конструктивне вирішення вузла: а) варіант 1 – без енергоефективних заходів; б) варіант 2 – утеплення консольної частини балконної плити по контуру; в) варіант 3 – застосування системи термічного відсікання

Граничні умови задаємо другого роду – коефіцієнт тепловіддачі для зовнішньої та внутрішньої поверхонь, а також температуру зовнішнього та внутрішнього повітря. На стиках, де не задані граничні умови, вважається, що теплообмін відсутній, тобто тепловий потік туди не передається.

Для виконання розрахунку сітка формується в автоматичному режимі. Програма сама визначає її інтенсивність для максимальної точності розрахунку.

На основі числових моделей визначено температурні поля для різного конструктивного вирішення вузла і додатковий тепловий потік, який проходить через нього (рис. 2, 3, 4).

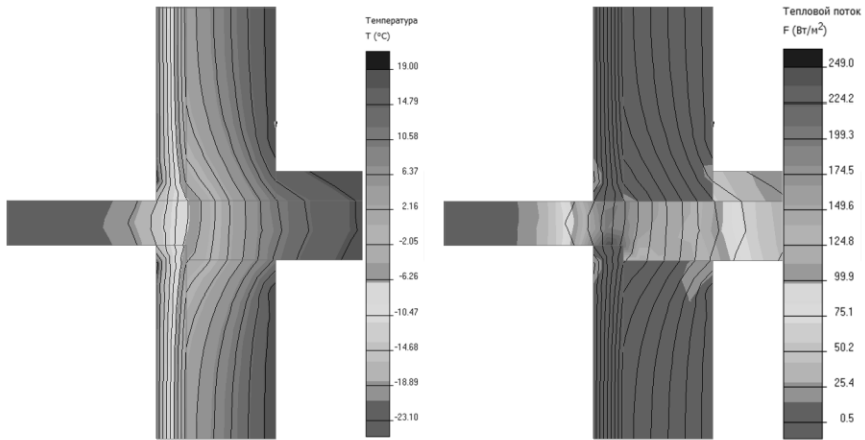


Рис. 2. Температурні ізополя та тепловий потік через вузол варіанту 1

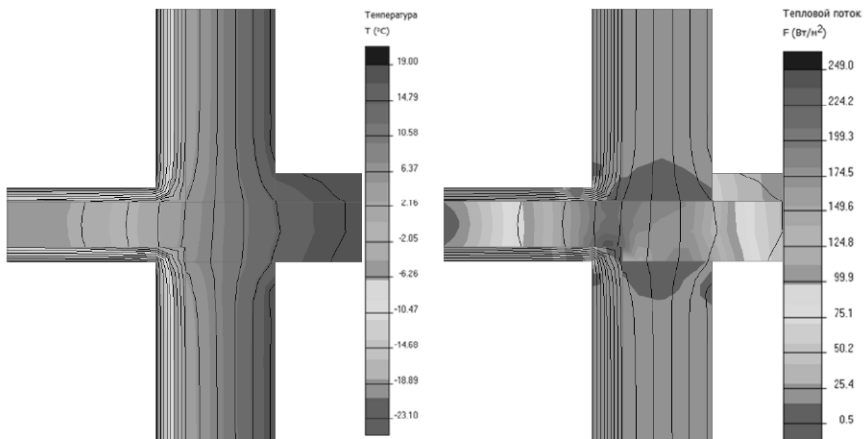


Рис. 3. Температурні ізополя та тепловий потік через вузол варіанту 2

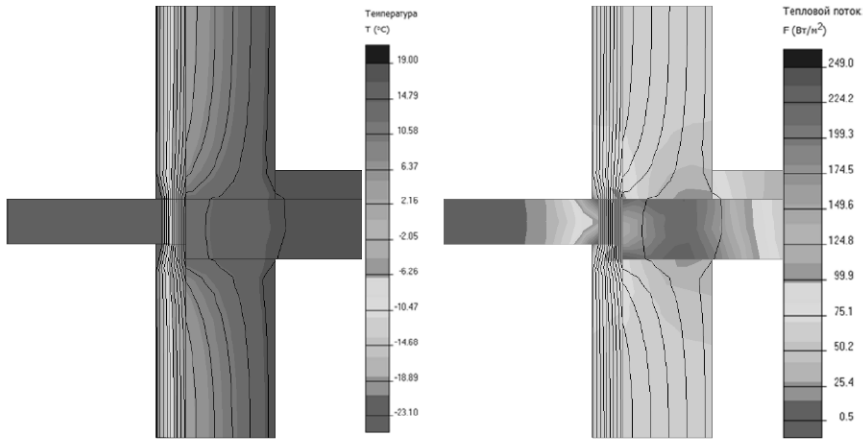


Рис. 4. Температурні ізополя та тепловий потік через вузол варіанту 3

Щоб порівняти отримані результати числового моделювання, були побудовані графіки розподілу температури на внутрішніх контурах вузла у місцях переходу стіна-підлога та стеля-стіна (рис. 5, 6, 7).

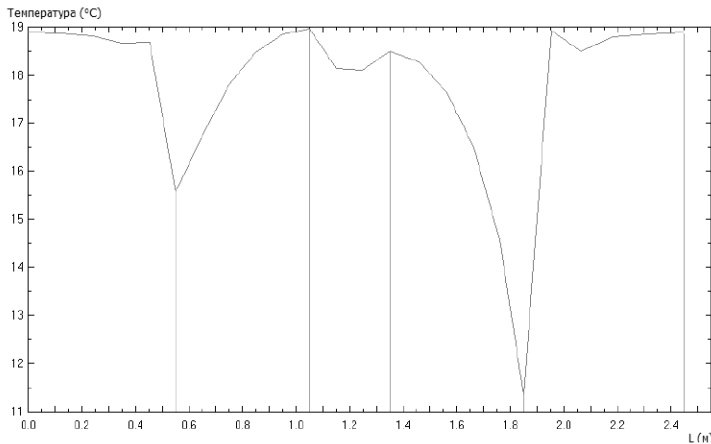


Рис. 5. Розподіл температури на внутрішніх контурах стін та перекриття у вузлі варіанту 1

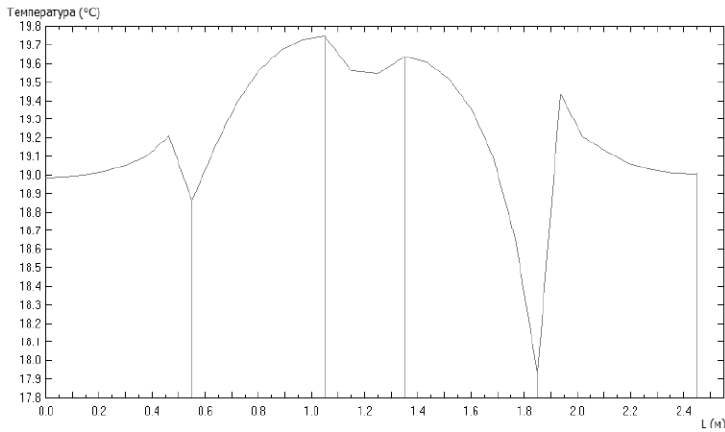


Рис. 6. Розподіл температури на внутрішніх контурах стін та перекриття у вузлі варіанту 2

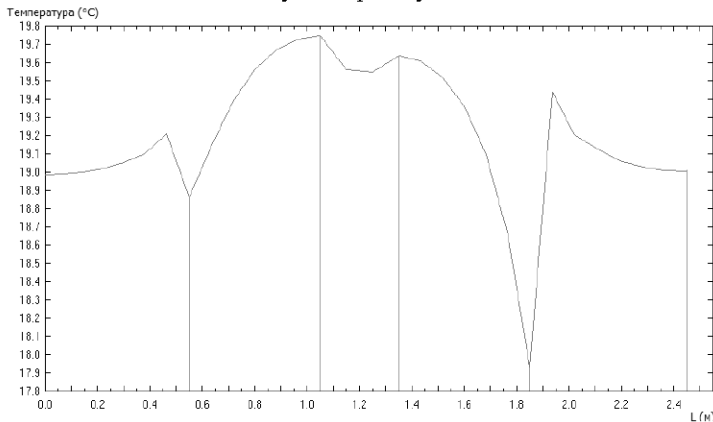


Рис. 7. Розподіл температури на внутрішніх контурах стін та перекриття у вузлі варіанту 3

Мінімальні значення температури та максимальні значення потоку енергії (з урахуванням площі стіни), що проходить через розглянуті конструктивні варіанти вузла, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Зведена таблиця з результатами числового моделювання конструктивних варіантів температурного моста

№ варіанту вузла	Мінімальна температура на внутрішній поверхні, верх/низ, °C	Тепловий потік, через вузол, Вт
Варіант 1	15,5 / 11,3	36,222
Варіант 2	17,6 / 15,2	22,433
Варіант 3	18,8 / 17,9	11,337

Висновок. За результатами числового моделювання трьох варіантів конструктивного вирішення вузла примикання перекриття та балконної плити можна зробити наступні висновки:

– у місці примикання перекриття та балконної плити відбуваються суттєві перепади значень температурних полів, що вимагає підвищеної уваги до вибору методів проектування, влаштування та догляду за теплоізолюючою оболонкою будівлі;

– за результатами теплотехнічного розрахунку зовнішньої огорожувальної конструкції [3] підходять усі три варіанта, проте числове моделювання дозволило більш точно визначити розподіл температурних та енергетичних полів у розглянутих вузлах;

– варіанти 1 та 2 не задовольняють санітарно-гігієнічні вимоги [3], оскільки перепад температури на внутрішній поверхні стіни та в приміщенні вищий за 4 °С, що є максимально допустимим за ДБН «Теплова ізоляція будівель»;

– усі вимоги ДБН задовольняє лише варіант 3.

За кількістю тепла, яке втрачається через розглянуті конструкції вузлів у холодну пору року, 3-й варіант майже вдвічі енергоефективніший ніж 2-й варіант і втричі енергоефективніший ніж 1-й варіант, за критерієм мінімального потоку енергії.

Таким чином, для усунення містків холоду у вузлах примикання плит перекриття і балконних доцільно надавати перевагу конструктивним рішенням на основі принципу відсікання.

References

1. Demchenko V.V., Chupryna Kh.M., Nevmerzchickij O.V. Metody pidvishhennya energoefektivnosti budivli // Upravlinnya rozvytkom skladnykh system, 2013, N 16, s. 138-143.

2. Anufriev V.N., Andreenko N.A. Energoberezhenie v zdaniyakh. Posobie. Minsk: «Altiora - zhivye kraski», 2011. 76 s.

3. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Normy proektuvannya. vygotovlennya i montazhu: [Chynnyj vid 2017-01-01]. Vyd. ofic. Kiyiv: Minregionbud Ukrainy, 2017. 33 s.

Список використаної літератури

1. Демченко В.В., Чуприна Х.М., Невмержицький О.В. Методи підвищення енергоефективності будівлі // Управління розвитком складних систем, 2013, N 16, с. 138-143.

2. Ануфриев В.Н., Андреевко Н.А. Энергосбережение в зданиях. Посobie. Минск: «Альтиора - живые краски», 2011. 76 с.

3. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Норми проектування. виготовлення і монтажу: [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінегiонбуд України, 2017. 33 с.

З М І С Т

Азізов Т.Н., Орлова О.М.	Інженерний спосіб визначення жорсткості при крученні залізобетонних елементів двотаврового перерізу з нормальними тріщинами.....	3
Андрійчук О.В., Кислюк Д.Я., Нінічук М.В.	Визначення несучої здатності нормальних перерізів комбіновано-армованих сталевібробетонних згинальних елементів.....	15
Вуків N.Z., Yasniy P.V., Iasnii V.P.	Modeling of mechanical behavior of reinforced concrete beam reinforced by the shape memory alloy insertion using finite elements method.....	24
Gomon S.S.	Fluence of age factor on main strength and deformative properties of timber.....	35
Коломійчук Г.П., Майстренко О.Ф., Коломійчук В.Г., Коломійчук В.Г.	Конструктивні рішення сучасних великопролітних трубобетонних аркових мостів.....	42
Кузьмич Р.В., Самчук В.П., Кислюк Д.Я., Савенко В.І.	Проектування енергоефективних будівельних конструкцій на основі числового моделювання температурних мостів.....	49
Олексюк А.С., Ужегов С.О., Ужегова О.А., Ротко С.В.	Вплив добавки Поліпласт СП-3 на міцність важкого бетону.....	56
Панасюк Я.І., Боярчук Б.А., Талах Л.О., Процюк В.О.	Визначення максимальної щільності ґрунту	64
Пахолук О.А., Чапюк О.С.	Забезпеченість українського ринку будівельної техніки вантажопідйомним обладнанням та його сервісним обслуговуванням.....	71

Плахотний Г.Н., Чернева О.С.	Застосування попереднього напруження для підвищення жорсткості та стійкості споруди.....	86
Ротко С.В., Швабюк В.В., Зубовецька Н.Т., Ужегова О.А., Гераськін О.О.	До проблеми уточнення рівнянь динаміки ортотропних оболонок із урахуванням деформацій поперечного зсуву та обтіснення.....	92
Талах Л.О., Шимчук О.П., Процюк В.О., Семерей А.С., Панасюк Я.І.	Металеві конструкції в сучасному будівництві.....	104
Тулашвілі Ю.Й., Кошелюк В.А.	Комп'ютерний аналіз поведінки структурно-неоднорідних матеріалів.....	112
Чапюк О.С., Гришкова А.В., Кислюк Д.Я., Пахолук О.А., Філіпчук С.В.	Збільшення зчеплення бетону зі склокомпозитною арматурою за рахунок покриття спеціальними речовинами, як варіант оптимізації виробничої бази будівництва.....	121
Черних О.А., Соколенко В.М.	Досвід застосування сучасних інформаційних технологій у навчальному процесі в СНУ ім. В. Даля	128
Olena Chernieva, Andrzej Wojnar, Sara Pogan	The 3DP – three-dimensional printing – is it a real prospect of automating the building processes?.....	140

Наукове видання

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 13

Верстка С.В. Ротко

Редактор В.І. Шваб'юк

Підписано до друку 25 червня 2020 р. Формат 60 × 84 1/16.
Папір офсетний

Гарнітура Times New Roman. Друк трафаретний.
Умовн.друк.арк. 9,75. Тираж 100 пр. Зам. №__

Віддруковано ІВВ Луцького НТУ, 43018, м.Луцьк, вул. Львівська, 75