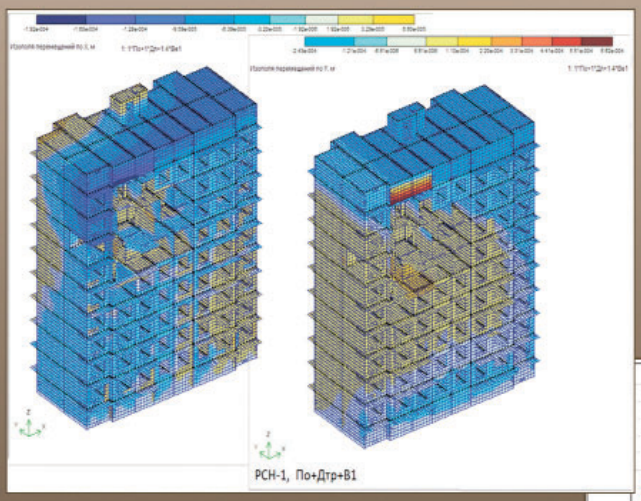
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

БУДІВЕЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

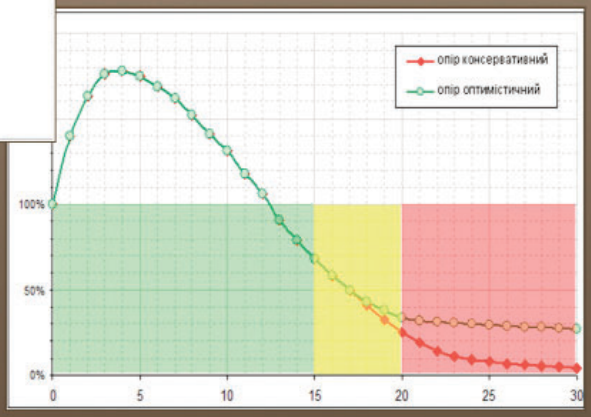
№ 72 2021

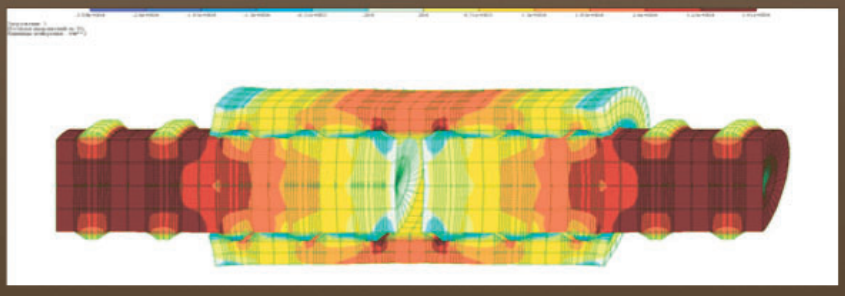
Міжвідомчий науково-технічний збірник (технічні науки)



ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕМОНТАЖУ АВАРІЙНИХ ВЕЛИКОПАНЕЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОЦІНКИ ЇХ СТІЙКОСТІ ДО ОБВАЛЕННЯ. с. 3

РОЗРАХУНКОВО-МОДЕЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПРОГНОЗОВАНИХ ДЕСТРУКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В БЕТОНІ НА НЕСУЧУ СПРОМОЖНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ с.16





РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИНТОВОГО ПРОФИЛЯ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛА И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА САПР с. 61

УДК 69.05

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 21921-11821ПР від 23.03.2016 р.
Наказ Міносвіти і науки України про реєстрацію фахового видання Додаток 4 до наказу Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886 (технічні науки), Додаток 2 до наказу Міністерства освіти і науки України від 14.05.2020 № 627 Категорія "Б" (економічні науки)
Міжвідомчий науково-технічний збірник видається з 1965 року.
Співзасновниками є: ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП «НДІБВ») та Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА).
Розглянуто питання становлення саморегулювання в будівництві, економічної ефективності енергозберігаючих заходів у будівництві, механізм оптимізації діяльності будівельних підприємств, удосконалення технології та організації виконання робіт у промисловому і житловому будівництві, висвітлено нові напрями у технології будівельних процесів.
Для співробітників науково-дослідних та проектних інститутів, спеціалістів будівельних організацій, викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Редакційна колегія

Головний редактор
Радкевич А.В. д.т.н., проф. ДНУЗТ ім. В. Лазаряна. Дніпро;
Заступник головного редактора (технічні науки)
Григоровський П.Є. д.т.н., с.н.с. ДП "НДІБВ". Київ;

Члени редколегії
Молодід О.С. к.т.н., доцент, ДП "НДІБВ". Київ;
Молодід О.О. к.е.н., с.н.с., ДП "НДІБВ". Київ;
Барабаш М.С. д.т.н., с.н.с. НАУ. Київ;
Беленкова О.Ю. к.е.н., доцент, КНУБА. Київ;
Білоконь А.І. д.т.н., проф. ПДАБА. Дніпро;
Бондар О.А. д.е.н., проф. КНУБА. Київ;
Бондаренко Є.В. д.е.н., проф. ДП "НДІБВ". Київ;
Вечеров В.Т. д.т.н., проф. ПДАБА. Дніпро;
Галінський О.М. д.т.н., с.н.с., ТОВ "НАНЦ". Київ;
Гончаренко Д.Ф. д.т.н., проф. ХНУБА. Харків;
Городецький О.С. д.т.н., проф. ТОВ "Ліра-САПР". Київ;
Данченко Ю.М. к.т.н., проф. ХНУБА. Харків;
Дмитренко Г.А. д.е.н., проф. ДП "НДІБВ". Київ;
Дорофєєв В.С. д.т.н., проф. ОДАБА. Одеса;
Кравчуновська Т.С. д.т.н., проф. ПДАБА. Дніпро;
Куліков П.М. д.е.н., проф. ректор КНУБА. Київ;
Менейлюк О.І. д.т.н., проф. ОДАБА. Одеса;
Міхайленко В.М. д.т.н., проф. КНУБА. Київ;
Млодецький В.Р. д.т.н., проф. ПДАБА. Дніпро;
Назаренко І.І. д.т.н., проф., президент АБУ, Київ;
Ніколаєв В.П., д.е.н., проф. НАДУ.Київ;
Осипов О.Ф. д.т.н., проф. КНУБА. Київ;
Плоский В.О. д.т.н., проф. КНУБА. Київ;
Рижакова Г.М. д.е.н., проф. КНУБА. Київ;
Савйовський В.В. д.т.н., проф. Київ;
Сопов В.П. д.т.н., проф. ХНУБА. Харків;
Сорокіна Л.В. д.е.н., проф. КНУБА. Київ;
Стеценко С.П. д.е.н., доц. КНУБА. Київ;
Сухоруков А.І. д.е.н., проф. АБУ Київ;
Терентьєв О.О. д.т.н., проф. КНУБА. Київ;
Тонкачеєв Г.М. д.т.н., проф. КНУБА. Київ;
Тугай О.А. д.т.н., проф. КНУБА. Київ;
Хижняк В.О. к.е.н., доцент, ДП "НДІБВ". Київ;
Шатов С.В. д.т.н., проф. ПДАБА. Дніпро;
Шимановський О.В. д.т.н., проф., УІСК ім. В. М. Шимановського. Київ;
Шумаков І.В. д.т.н., проф. ХНУБА. Харків;

Зарубіжні члени редколегії
Дзвігол Хенрік, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща
Долотов О.В. д.т.н., проф. США;
Клованич С.Ф. д.т.н., проф. Польща;
Котовіч Януш, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща
Кузіор Олександра, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща
Лакатош Янош д.е.н., проф. Угорщина;
Пилипенко В.М. д.т.н., проф. ГП "НИПТИС". Беларусь;
Радей Карел докт. Чехія;
Сиройч Здислав д.е.н., проф. Польща;
Сломски Войтех д.е.н., проф. Словаччина;
Трейковскі Маріан д.е.н., проф. Македонія;
Фингер Матіас д.е.н., проф. Швейцарія;

Відповідальний секретар О.В. Сирота
Комп'ютерна верстка та графіка О.В. Сирота

Мова видання: українська і російська.
Затверджено до друку Вченою радою інституту протокол № 2 від 17.11.2021 р. №72 (технічні науки, економічні науки).
Адреса редколегії збірника:
03110, МСП, Київ, проспект Лобановського (Червонозоряний), 51. Тел. 275-20-78
E-mail: vistavca@ukr.net
web: http://ndibv-building.com.ua
Редакція не завжди поділяє думку та погляди автора. Відповідальність за достовірність фактів, власних імен, географічних назв, цитат, цифр та інших відомостей несуть автори публікацій.

Відповідно до Закону України «Про авторське право та суміжні права» при використанні наукових ідей та матеріалів цього збірника посилання на авторів і видання є обов'язковим.

Журнал реферується у науковометричній базі даних ULRICHSWEB™ GLOBAL SERIALS DIRECTORY

ISSN 2524-2555 (online)
ISSN 0131-8942 (print)

©НДІБВ, 2021

УДК 624.012

[1] **П.Є. Григоровський** д.т.н., с.н.с., перший заступник директора інституту з наукової роботи https://orcid.org 0000-0003-0527-5890;
[2] **В.П. Максименко,** завідувач лабораторії висотного та експериментального будівництва https://orcid.org 0000-0002-2835-026X;
[3] **В.О. Басанський** зав. сектором https://orcid.org 0000-0002-7850-7798;
[4] **А.П. Григоровський**, аспірант https://orcid.org 0000-0003-0009-2358
[1, 2, 3, 4] ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького», м. Київ

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕМОНТАЖУ АВАРІЙНИХ ВЕЛИКОПАНЕЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОЦІНКИ ЇХ СТІЙКОСТІ ДО ОБВАЛЕННЯ

Анотація. Проблема. *Важливим етапом ліквідації наслідків аварійних руйнувань є повний або частковий демонтаж пошкодженого об'єкту. Питання пов'язані з техногенним руйнуванням будинків та споруд, їх тимчасове протиаварійне підсилення та встановлення можливості подальшого відновлення потребує професійної участі інженерів-будівельників в частині обґрунтування термінових проектних рішень. На даний час відсутні організаційно-технологічні рішення, які спроможні одночасно об'єднати об'єктивну терміновість та раціональну обґрунтованість їх виконання.* ***Методика****. На прикладі будівлі, що зазнала значних пошкоджень внаслідок вибуху газо-повітряної суміші проведено вибір варіанту оптимального та безпечного методу її часткового демонтажу в умовах ущільненої забудови при забезпеченні вимог безпеки та методики оцінки напружено-деформованого стану конструкцій будівлі на основі методу підсистем.* ***Оригінальність****. Порушення в результаті техногенної аварії міцності і стійкості будівлі та невизначеність роботи її конструктивної схеми значно підвищує актуальність оптимізації технології демонтажу аварійних конструкцій. Розглянуто варіанти послідовності демонтажу великопанельної будівлі, яка отримала аварійне обвалення частини несучих конструкцій. Основою вибору є практика комплексного дослідження системи «основа – наземна частина пошкодженої будівлі» на стадії демонтажу та тимчасового підсилення. На основі програмного комплексу ЛІРА-САПР розроблено методику, що дозволяє створювати адекватні комп'ютерні моделі, які змінюються з врахуванням стадійності демонтажу, зберігаючи історію навантажень і враховуючи виникаючі зусилля та деформації. Вихідні дані для створення адекватної комп'ютерної моделі отримані шляхом аналізу проектної та технічної документації, візуального та інструментального обстеження аварійної будівлі. Розвинутий математичний апарат, реалізований в ПК «ЛИРА САПР» дозволяє виконувати розрахунки складних будівельних об'єктів з урахуванням техногенних впливів на їх конструктивні елементи і виконувати моделювання процесів, які призводять до зміни напружено-деформованого стану, розвитку непружних пластичних деформацій та тріщино-утворення.* ***Практична цінність.*** *Така методика є універсальною, за її допомогою можливо досліджувати будівлі будь якого типу, що знаходяться під дією зовнішніх впливів техногенного та аварійного характеру. Вдосконалено технологію демонтажу аварійних будівель в умовах неповної інформації про їх технічний стан. Підвищено ефективність безпеки виконання аварійно-рятувальних робіт.*

Ключові слова: *технологія, техногенні впливи, руйнування, будівлі, інформаційне моделювання, відновлення*

Вступ

На сучасному етапі розбудови територій, міст та населених пунктів, розвитку промисловості, транспорту, впровадження високих технологій, підвищення побутового рівня життєдіяльності населення зростає можливість виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. При цьому різноманітність аварій, стихійних лих, надзвичайних подій, які супроводжуються небезпекою для людей, значно впливає на організацію та технологію аварійно-рятувальних робіт.

Найбільш складними з точки зору проведення аварійно-рятувальних робіт вважають аварії, пов'язані з руйнуванням будинків та споруд. Складність проведення рятувальних робіт обумовлена великою кількістю постраждалих людей, які опинилися в завалах, необхідністю виконання складних інженерних робіт та загрозою подальшого руйнування. Досвід проведення рятувальних робіт на зруйнованих будівлях свідчить про те, що необхідну кількість сил та засобів потрібно зосередити на місці аварії якомога швидше. Оскільки в більшості випадків людина, яка опинилася в завалі, спроможна зберігати життєздатність протягом 10 годин [1].

Аварійно-рятувальні роботи є компетенцією ДСНС, але питання пов'язані з руйнуванням будинків та споруд, їх тимчасового протиаварійного підсилення та встановлення можливості подальшого відновлення потребує професійної участі інженерів-будівельників в частині обґрунтування термінових проектних рішень. На даний час відсутні організаційно-технологічні рішення, які спроможні одночасно об'єднати об'єктивну терміновість та раціональну обґрунтованість їх виконання. Беззаперечна терміно-

вість прийняття рішень вимушено спрощує підходи до моделювання та розрахунку підсилюючих елементів і, практично, не враховує відмінностей технології підсилення будівель різних конструктивних систем тому вдосконалення бази даних типових інформаційно-математичних моделей аварійних будівель дозволить ближчим часом оптимізувати організаційно-технологічні рішення щодо зменшення негативних наслідків аварій та катастроф.

Матеріали і методи досліджень

Серед будівель пошкоджених вибухом повітряно-газової суміші значну частку займають великопанельні будівлі масових серій. Тому питання удосконалення організаційно-технологічних та технічних рішень ліквідації аварійних руйнувань великопанельних будівель внаслідок техногенних впливів потребує вирішення. Питаннями, пов'язаними з рятувальними роботами під час ліквідації надзвичайних ситуацій займалися Пшеничний В.Н., Аветисян В. Г., Сенчихін Ю. М., Кулаков С. В., Куліш Ю. О., Александров В. Л., Адаменко М. І., Ткачук Р. С., Тригуб В. В.[1]. В роботах Григоровського П.Є., Червякова Ю.М., Басанськогой В.О., Крошки Ю.В., Мурасьової О.В., Чуканової Н.П. метод інформаційного моделювання застосовано для розробки організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при створенні та утриманні будівельних об'єктів [8]. Методологічне обґрунтування оцінки напружено-деформованого стану конструкцій будівлі на основі методу підсистем наведено в роботах Максименко В.П., Барабаш М.С., Писаревського Б.Ю.[3]. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. вдосконалювали концептуальні підходи до комп'ютерного моделювання конструкцій [5]. В роботах Карпенко Н.І вдосконалені загальні підходи до моделювання механіки залізобетону [5], а в роботах Клованич С.Ф., Малишко Л., Максименко В.П. до теорії пластичності в будівельному проектуванні. Аналіз літературних джерел показує, що сучасні програмні комплекси призначені для розрахунку та проектування конструкцій будівель що зводяться, а процес демонтажу є зворотною задачею. Підвищення ефективності та безпеки робіт з ліквідації аварійних руйнувань на великопанельні будівлі шляхом вибору оптимального варіанту термінових протиаварійних заходів з використанням інформаційно-математичного моделювання процесу демонтажу є актуальною техніко-економічною проблемою.

Мета досліджень

Вдосконалення технології демонтажу аварійних великопанельних будівель за результатами оцінки їх стійкості до обвалення шляхом інформаційно-математичного моделювання процесу демонтажу.

Виклад основного матеріалу

Важливим етапом ліквідації наслідків аварійних руйнувань є повний або частковий демонтаж пошкодженого об'єкту. На прикладі будівлі, що зазнала значних пошкоджень внаслідок вибуху газу проведено вибір варіанту оптимального та безпечного методу її часткового демонтажу в умовах ущільненої забудови при забезпеченні вимог [2] та реалізованої методики [3]. Основою вибору є практика комплексного дослідження системи «основа – наземна частина пошкодженої будівлі» на стадії демонтажу та тимчасового підсилення. Сучасні програмні комплекси призначені для розрахунку та проектування конструкцій будівель що зводяться. Процес демонтажу є зворотною задачею. На основі програмного комплексу ЛІРА-САПР розроблено методику, що дозволяє створювати адекватні комп'ютерні моделі, які змінюються з врахуванням стадійності демонтажу, зберігаючи історію навантажень і враховуючи виникаючі зусилля та деформації. Вихідні дані для створення адекватної комп'ютерної моделі отримані шляхом аналізу проектної та технічної документації, візуального та інструментального обстеження аварійної будівлі.

Аварійний будинок по вул. Соломії Крушельницької в м. Києві житловий, 10-поверховий, великопанельний, має 6 під'їздів, кожен з яких обладнано сходовою клітиною та ліфтовою шахтою, в під'їзді № 5 розташовані приміщення електрощитової та підвалу. Будинок споруджено за типовим проектом 96 серії, внутрішній несучий каркас виконано із поперечних та повздовжніх залізобетонних стінових панелей товщиною 160 мм. Конструктивна схема - безкаркасна з поздовжніми та поперечними несучими стінами. Просторова жорсткість забезпечена за рахунок жорсткої сумісної роботи дисків перекриття та стінових конструкцій. Висота приміщень - 2,64 м. Зовнішні стінові панелі із керамзитобетону товщиною 350 мм. Фасади оздоблені керамічною плиткою. Перекриття виконані із збірних залізобетонних панелей товщиною 120 мм. Фундаменти – пальові. Секції розділені деформаційними швами.

21 червня 2020 року о 10 годині ранку, внаслідок вибуху газо-повітряної суміші, виникла аварійна ситуація, на 7-му поверсі 6 під'їзду. На об'єкті виникли аварійні руйнування конструкцій з людськими жертвами. В процесі аварійно-рятувальних робіт, після попереднього огляду, виконано тимчасове підкріплення аварійних конструкцій та елементів будівлі, а також часткове розбирання завалів, що дозволило провести технічне обстеження об'єкту (рис.1).

В процесі обстеження встановлено, що характер і дислокація руйнувань (обвалення на обидві зовнішні сторони, розліт уламків, пошкодження скління в прилеглих будівлях) вказують на дію вибуху в результаті якого, винила ударна хвиля, що створила надлишкові зусилля на конструкції, направлені назовні від його епіцентру. За рахунок руйнування закладних елементів кріплення стався відрив зовнішніх стін від внутрішніх поперечних, значно збільшилася їх гнучкість (з максимальними величинами в районі вірогідного епіцентру вибуху в межах 7-го поверху), тому, різко змінилася та стала нероботоспроможною схема їх роботи. Зафіксовані наступні руйнування за наслідками миттєвого зламу конструкцій та різкого обвалення масивних конструкцій частини будинку внаслідок вибуху, що викликав внутрішній односторонній тиск на стіни та перекриття:

— миттєве руйнування конструкцій призвело до різкого обвалення масивних конструкцій частини будинку від верхніх до нижніх поверхів;

— обвалення конструкцій призупинилося в межах двокімнатної квартири 4-го поверху в осях Д-Ж, 5-8;

а

б

Рис. 1. Аварійний будинок на вул. Соломії Крушельницької в м. Києві:
а — руйнування головного фасаду; б — карта дефектів на плані типового поверху

— повністю зруйновано конструкції двокімнатних квартир 5-8 поверхів в осях Д-Ж, 5-8;

— частково зруйновано конструкції в межах 6-8 поверхів трикімнатних квартир в осях А-Е, 7-9 та двокімнатних квартир А-Ж, 7-4 та балкон двокімнатної квартири по осі Ж, 8-6 на 9 поверсі;

— деформацій зазнали конструкції сходової клітини та парапету 6 під'їзду, а саме: зовнішні панелі в об'ємі 6-9 поверхів сходової клітини в осях Б, 4-6, які змістилися на зовні по осі Б, 6 на величину 10-350 мм, а по осі Б, 5 на величину 30-250мм та парапет в осях Е, 1-9 просів на величину 30 мм;

— вертикальні та горизонтальні тріщини в місцях примикання стінових панелей та панелей перекриття конструкцій сходової клітини в осях А-Д, 4-6 та незруйнованих приміщень квартир в осях А-Ж, 4-9;

— деяких квартирах цього ж будинку (в межах 5 та 6 під'їздів) та прилеглій забудові ударною хвилею пошкодило скління балконів, міжкімнатних дверей та вікон;

— деформації зон примикання суміжних конструкцій між собою (стінами та перекриттями, зовнішніми та внутрішніми стінами) з руйнуванням цілісності горизонтальних та вертикальних швів примикаючих до епіцентру вибуху приміщень.

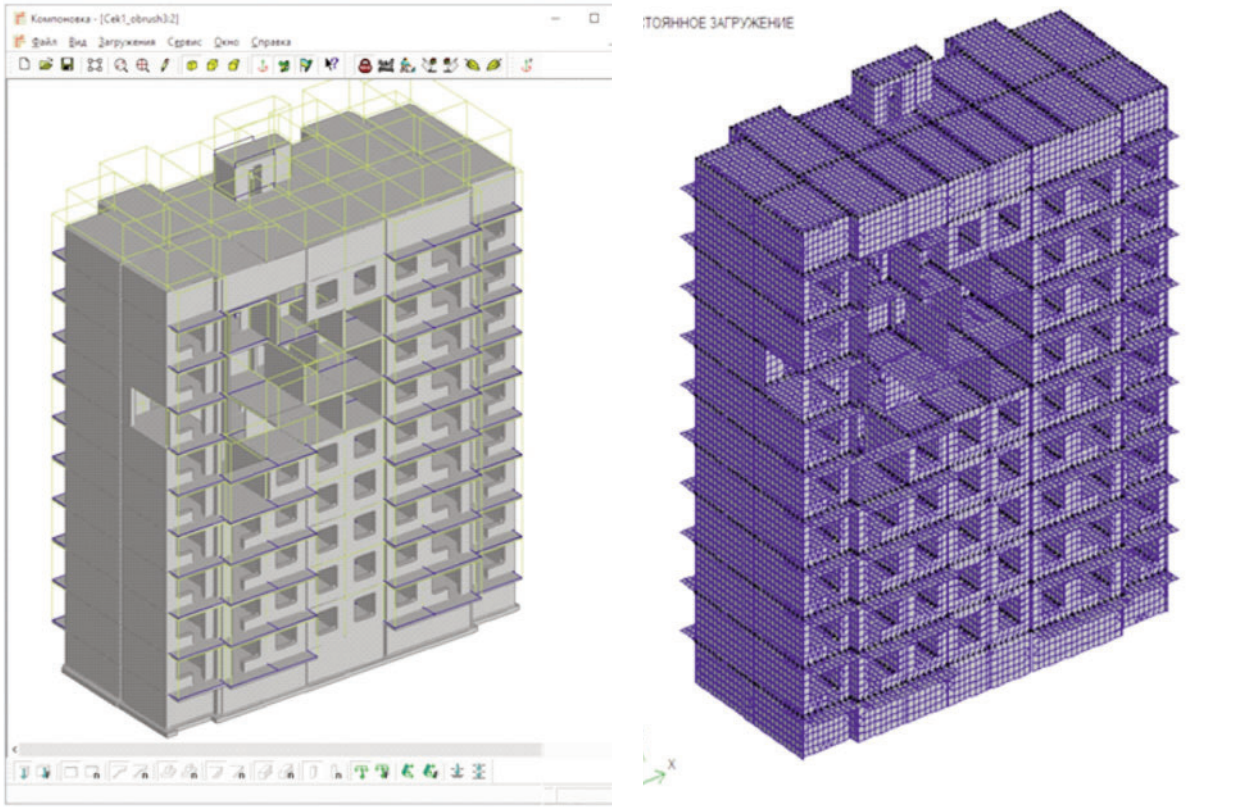


Рис. 2. 3 Д модель будинку та схема МСЕ в ПК «МОНОМАХ САПР» після обвалення

За результатах обстеження 10-и поверхової панельної будівлі зроблено припущення про необхідність її демонтажу. Для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) будівлі в ПК «МОНОМАХ САПР» ПС «КОМПОНОВКА САПР» з використанням метода скінчених елементів (МСЕ) створена її розрахункова схема, що передбачає поетапне видалення обвалених елементів конструкцій.

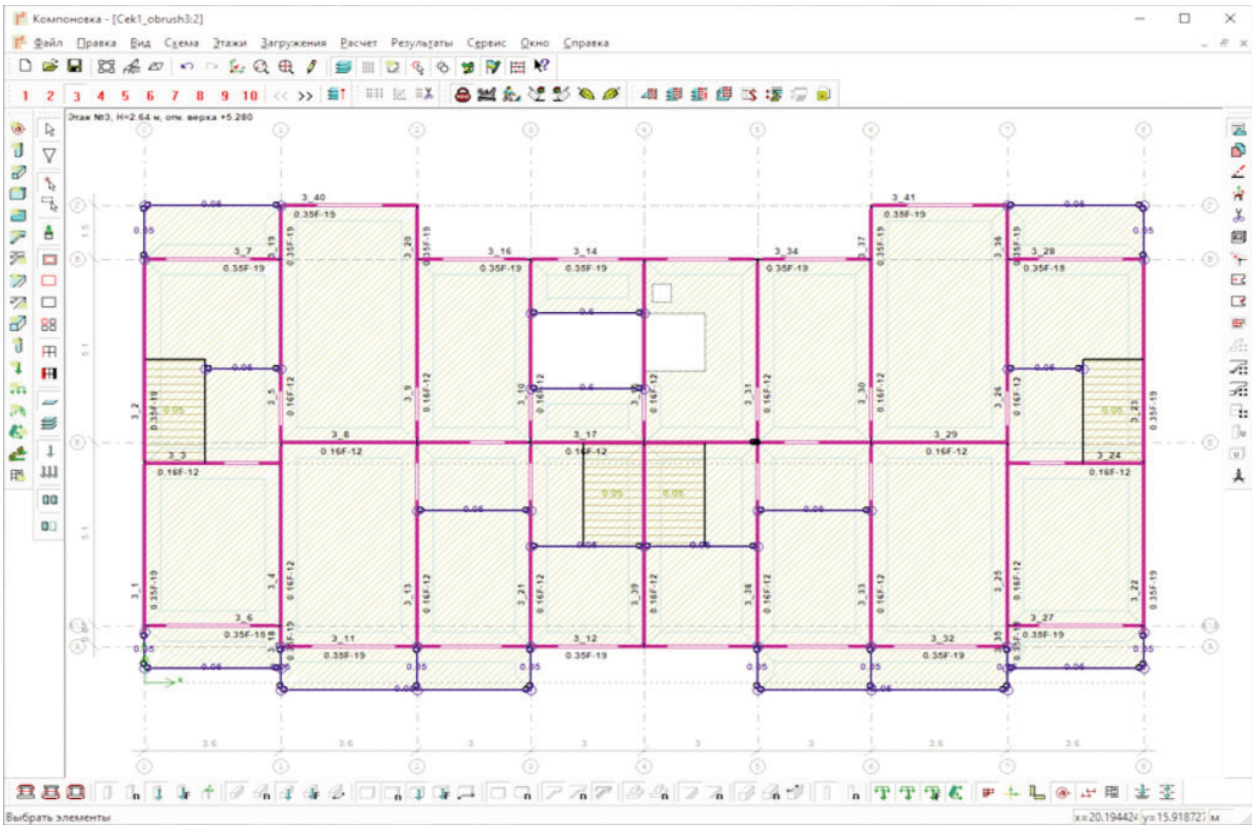


Рис. 3. — План типового поверху будівлі

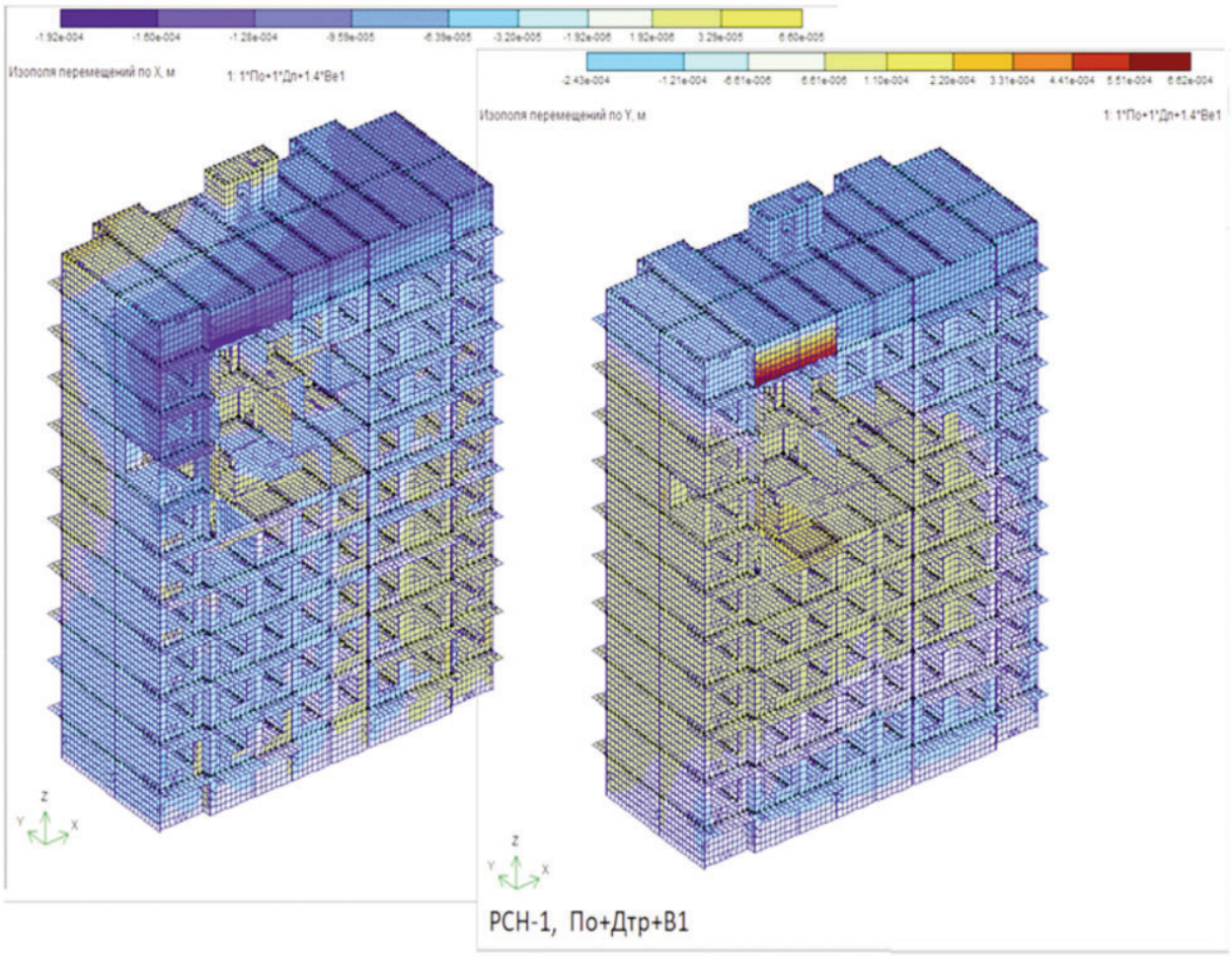


Рис. 4. Короткочасні деформації будівлі після аварійного обвалення

Методика використання МСЕ та розрахункові підходи до моделювання розрахункових схем конструкцій, змінних в часі і реалізованих в «ПС «МОНТАЖ+», наведені в [4-7]. В розрахунковій схемі будівлі задані характеристичні навантаження власної ваги конструкцій, довготривале навантаження, короткочасне та горизонтальне експлуатаційне вітрове навантаження. Схеми вертикальних навантажень на плити перекриття наведені на рис. 2–3. Власна вага конструкцій враховується автоматично.

Виконаний аналіз НДС будівлі з врахуванням власної ваги конструкцій та довготривалих навантажень після видалення обвалених елементів, підтвердив висновок про необхідність її демонтажу.

Враховуючи, що в зруйнованій частині панельної будівлі, зафіксовано обвалення плит та стін більше ніж на двох поверхах, тріщини та деформації на верхніх уцілілих плитах на позначі +25.96м перевищують допустимі значення, наявні конструкції утримуються тільки тимчасовими розпірними елементами підкріплення та закладними деталями кріплення панелей (Рис.4).

Порушення міцності і стійкості будівлі та невизначеність роботи її конструктивної схеми значно підвищує актуальність оптимізації технології демонтажу аварійних конструкцій.

Нами розглянуто варіанти послідовності демонтажу панельної будівлі (один поверх підземний, 10-наземних), яка отримала аварійне обвалення частини несучих конструкцій.

Варіанти 1 і 2 демонтажу передбачають його початок з середини перекриття та зони сходової клітини в напрямку торців будівлі.

Варіант 3 демонтажу передбачає його початок з крайньої лівої осі в напрямку середини будівлі.

Варіант 4 передбачає поетапний демонтаж конструкцій після встановлення додаткових елементів підсилення починаючи з крайньої лівої до крайньої правої осі будівлі.

Аналіз першого – третього варіантів демонтажу панельної будівлі показує, що вона перебуває в стані нестійкої рівноваги. Так при проведенні демонтажу без елементів підсилення пружні горизонтальні деформації складають 25.9мм, вертикальні - 90мм. Враховуючи можливі непружні деформації, які можуть перевищувати 270мм, існуючу деформацію від вибуху газу до 300 мм, та не прогнозовану корозію закладних деталей, можливий перехід будівлі в стадію неконтрольованого обвалення.

Аналіз стадій демонтажу будівлі без додаткових утримуючих конструкцій показав вірогідність її подальшого обвалення на сусідню будівлю та прилеглу секцію (рис.4-5), тому, попередньо, прийнята технологія демонтажу з додатковими утримуючими елементами. Спеціалістами ДП НДІБВ розроблена схема підсилення аварійної будівлі на період демонтажу та виготовлені утримуючі конструкції (Рис.6).

Для підтвердження необхідності та надійності підкріплення пошкоджених елементів будівлі виконано перевірочний розрахунок етапів демонтажу будівлі

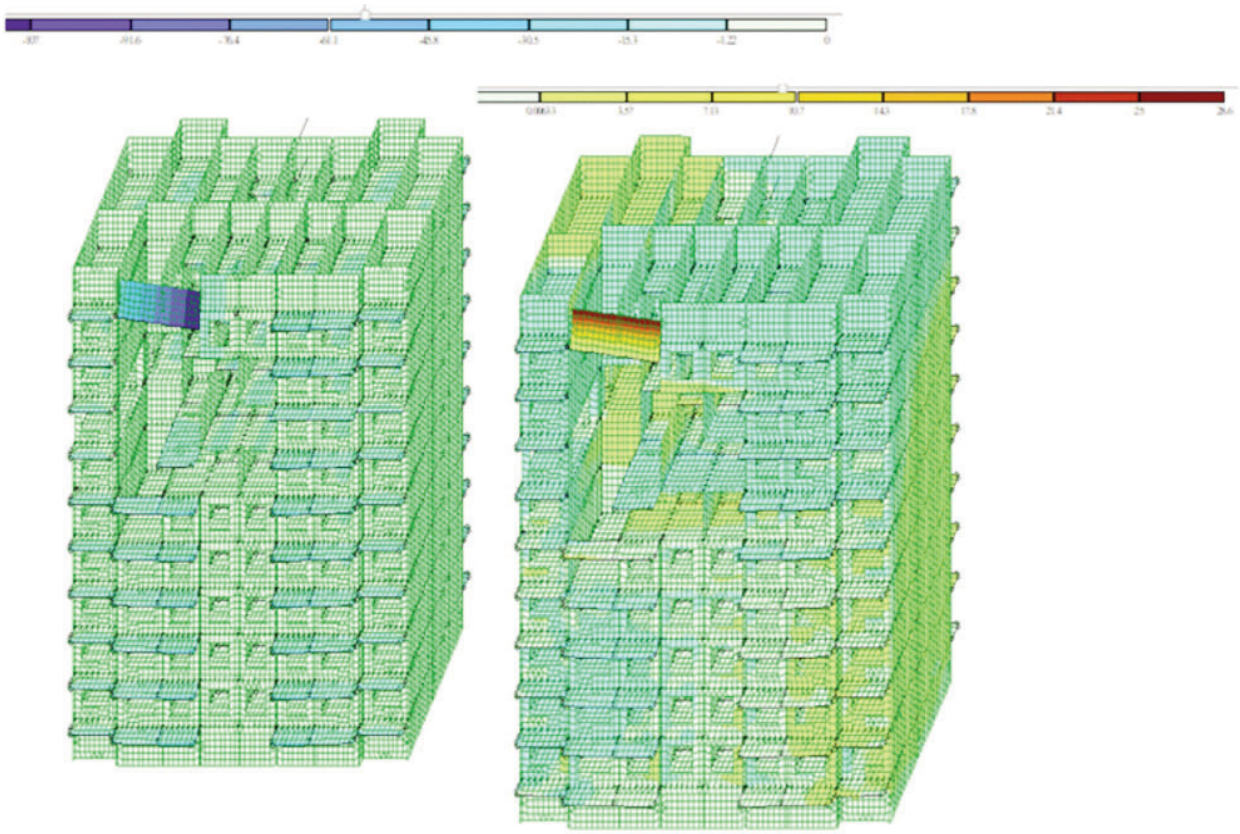
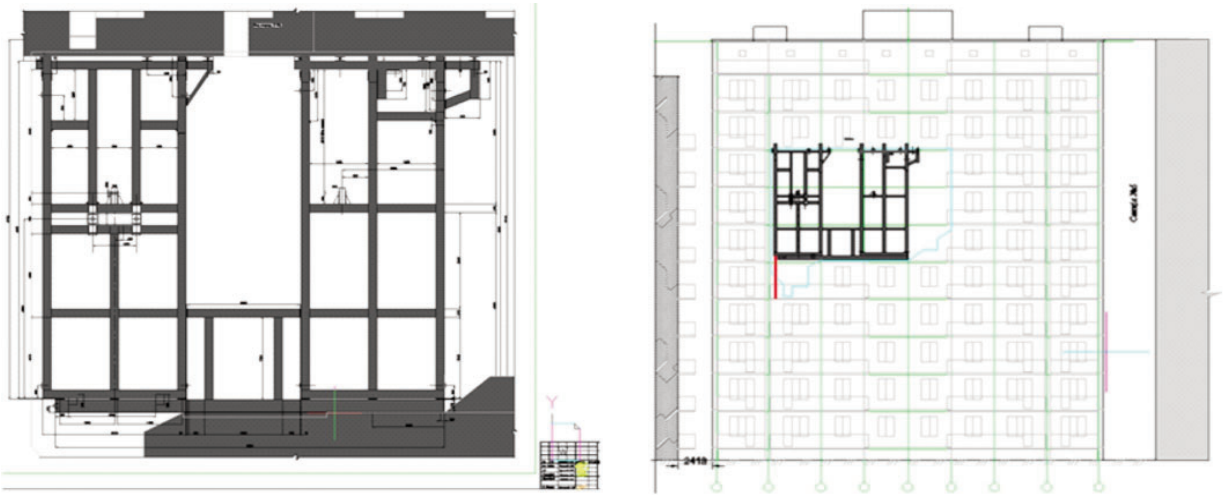


Рис. 5. Короткочасні деформації будівлі при демонтажі плити покриття в ПК «ЛІРА-САПР», ПС «МОНТАЖ» без конструкцій підсилення

з врахуванням елементів підкріплення (рис.6-7). Основні елементи підсилення введені (змонтовані) в розрахункову схему МСЕ: швелер 30 ДСТУ 3436-95, Ст3, ДСТУ 4484:2005 (Швелери стальні горячекатані з паралельними гранями полок, ГОСТ 8240-97), Shv8240 -97=8924мм); профіль «Молодечно» 200Ч5 ДСТУ 3436-95, Ст3, ДСТУ 4484:2005 (профіль сталь-ний гнутий замкнутий, ГОСТ 30254-94).

За результатами варіанту підсилення будівлі металевими рамними елементами встановлено, що монтаж даних елементів стабілізує горизонтальні та вертикальні деформації будівлі, але будівля залишається в аварійному стані (рис.7-9) .

Результати перевірки металевих конструкцій підсилення показують (рис.10), що місцева стійкість елементів підсилення забезпечується, але для двох поперечних балок не забезпечується стійкість за другим граничним станом (деформативність). Враховуючи, що конструкції підсилення встановлюються на короткий час демонтажу будівлі, та не передбачається їх постійна експлуатація, може бути дозволено їх використання як тимчасових підтримуючих.



а б

Рис. 6. Схема підсилення будівлі:
а – схема підсилюючої рами, б – схема установки підсилюючої рами

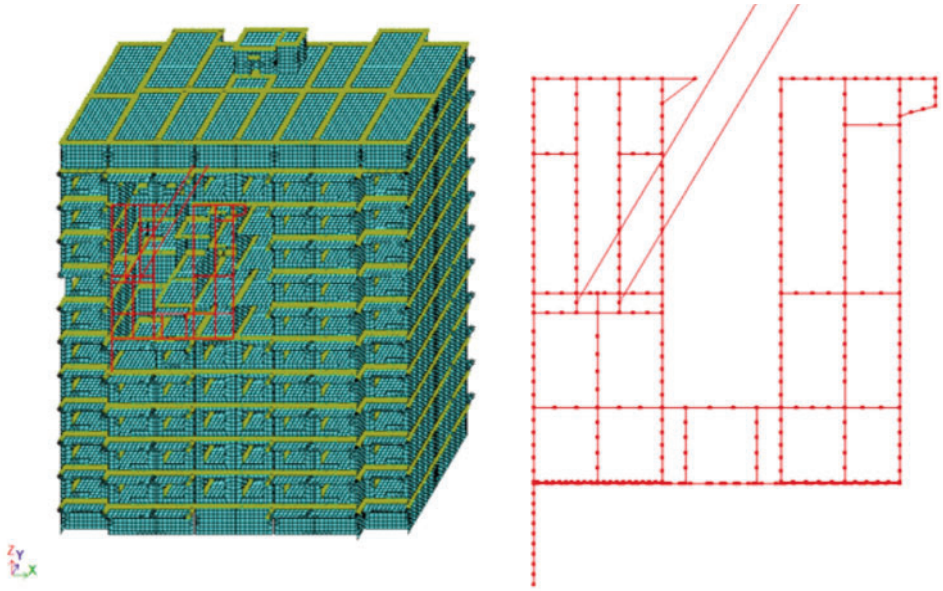


Рис. 7. Розрахункова модель підсилюючих та утримуючих конструкцій при демонтажі будівлі в ПС «МОНТАЖ-САПР»

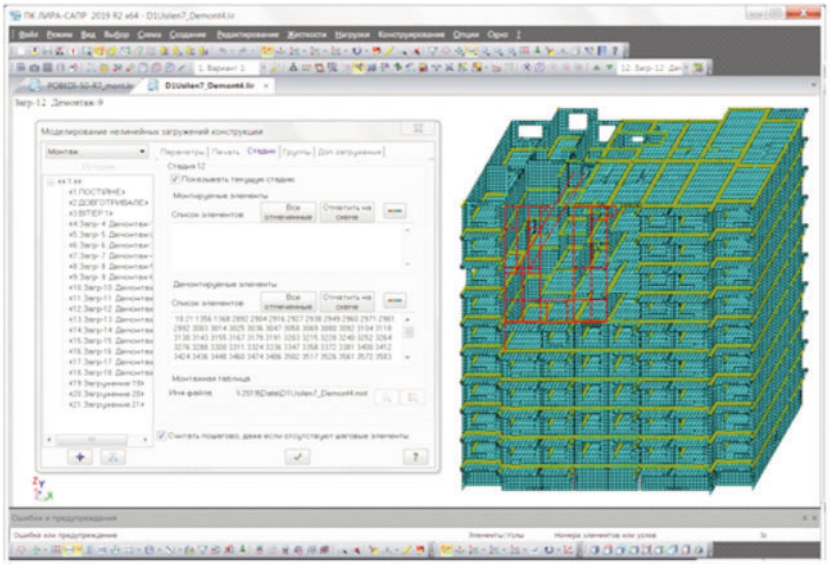


Рис. 8. Врахування стадій демонтажу будівлі в ПК «ЛИРА-САПР»

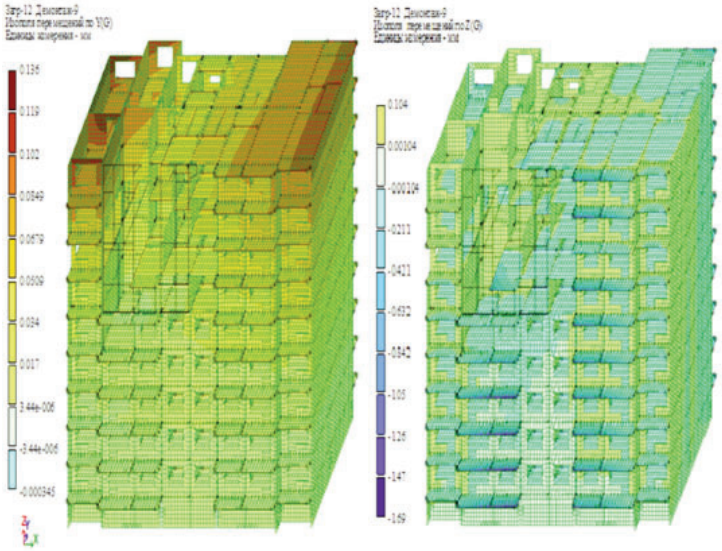


Рис. 9. Стадія-9 демонтажу. Додаткові горизонтальні короткочасні деформації будівлі при змонтованій рамі підсилення та демонтованій частині верхніх перекриттів

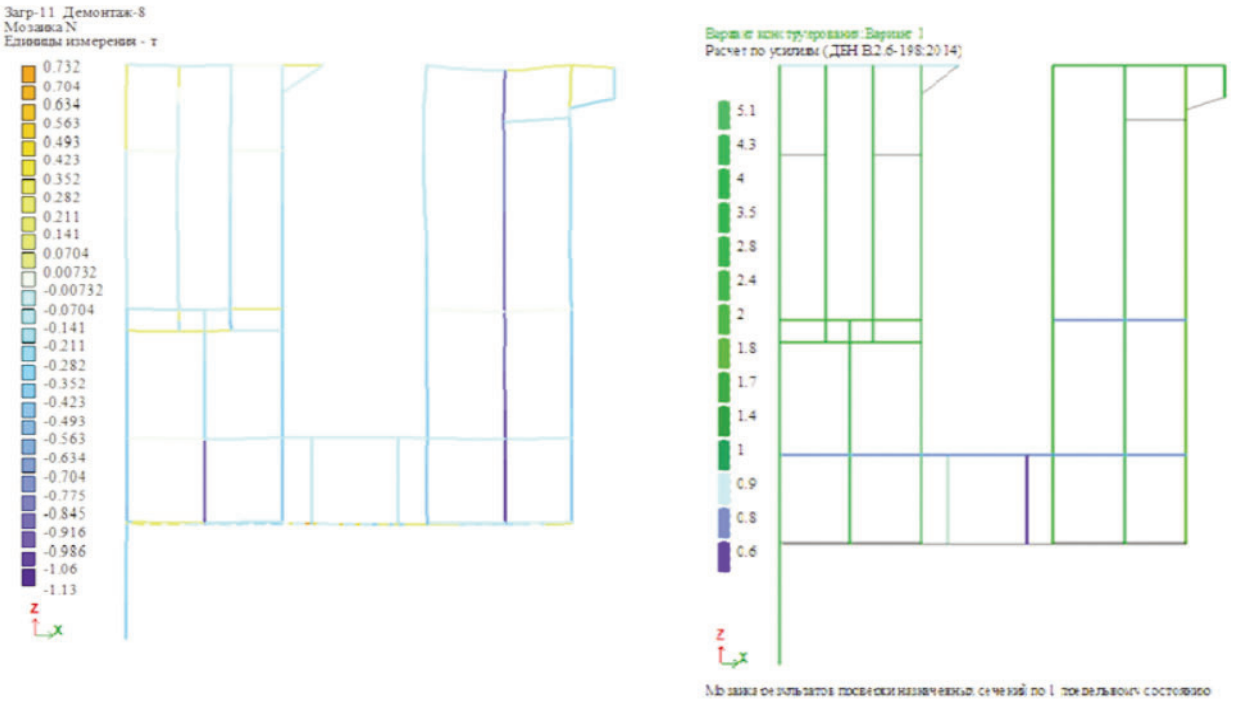


Рис. 10. Додаткові зусилля N в рамі підсилення та Коефіцієнти запасу стійкості конструкцій підсилення

При виконанні даних елементів підсилення просторова стійкість будівлі збільшується, але враховуючи отриману сумарну деформацію від вибуху, будівля продовжує перебувати в стані нестійкої рівноваги, тому до початку демонтажу та з моменту початку робіт необхідно проводити оперативний постійний контроль деформацій та перекосів будівлі. Враховуючи аварійну ситуацію непереборної сили почати роботи з демонтажу будівлі можуть тільки спеціальні аварійні бригади МНС з відповідним обладнанням після монтажу та закріплення запроектованих елементів підсилення.

Запропонована методика дає можливість оцінити НДС будівлі та конструкцій підсилення та всіх стадіях демонтажу аварійної будівлі.

За результатами аналізу стадійності демонтажу, замовником узгоджена технологічна карта послідовності монтажу підсилюючої рами, змонтована рама підсилення, виконано частковий демонтаж аварійної будівлі.

Висновки

Досліджено та встановлено особливості демонтажу зруйнованої аварійної будівлі, вдосконалено чисельну методику моделювання стадій демонтажу, з врахуванням зміни конструктивної схеми будівлі, накопичення деформацій та напружень в елементах змонтованої рами підсилення, поведінки будівлі і окремих елементів (закладних деталей) при дії на них зовнішніх навантажень.

Розвинутий математичний апарат, реалізований в ПК «ЛИРА САПР» дозволяє виконувати розрахунки складних будівельних об'єктів з урахуванням техногенних впливів на їх конструктивні елементи і виконувати моделювання процесів, які призводять до зміни напружено-деформованого стану, розвитку непружних пластичних деформацій та тріщино-утворення. Така методика є універсальною, за її допомогою можливо досліджувати будівлі будь якого типу, що знаходяться під дією зовнішніх впливів техногенного та аварійного характеру.

Вдосконалено технологію демонтажу аварійних будівель в умовах неповної інформації про їх технічний стан. Підвищено ефективність, безпеку виконання аварійно-рятувальних робіт.

Література:

1. Рятувальні роботи під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Частина 1: Посібник. За загальною редакцією В. Н. Пшеничного / Аветисян В. Г., Сенчихін Ю. М., Кулаков С. В., Куліш Ю. О., Александров В. Л., Адаменко М. І., Ткачук Р. С., Тригуб В. В. – К.: Основа, 2006. – 240 с. (– 400 с.)

2. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.

3. Максименко В.П., Барабаш М.С., Писаревський Б.Ю. Методика оцінки напружено-деформованого стану конструкцій будівлі на основі методу Підсистем. Науково техн. журнал «Будівельне виробництво», К.:НДІБВ, 2021р, №71, ISSN: 2524-2555

4. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. Киев. 2007. 393с.

5. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона/ Н. И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416с.

6. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики / С. Ф. Клованич, Журнал "Світ геотехніки", 9 випуск, 2009р.

7. Клованич С.Ф., Малишко Л. (Польща), Максименко В.П. Теорія пластичності в будівельному проектуванні, Одеса: ОНМУ, 2018, 141с., ББК 34.41:22.251.73

8. Григоровський П.Є., Червяков Ю.М., Басанський В.О., Крошка Ю.В., Мурасьова О.В., Чуканова Н.П. Інформаційне

моделювання організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при створенні та утриманні будівельних об'єктів. Будівельне виробництво : наук.-техн. зб. Київ: Вид-во «Ліра-К». 2019. № 67. С. 7–16.

References

1. Rescue operations during the liquidation of emergency situations. Part 1: Guide. Edited by V. N. Pshenychny / V. G. Avetisyan, Yu. M. Senchikhin, S. V. Kulakov, Yu. O. Kulish, V. L. Aleksandrov, M. I. Adamenko, R. S. Tkachuk. , Trygub V. V. – K.: Osnova, 2006. – 240 p. (– 400 p.)

2. DBN V.1.2-14-2009 General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings, structures, construction structures and foundations.

3. Maksimenko V.P., Barabash M.S., Pisarevskyi B.Yu. Methodology for assessing the stress-strain state of building structures based on the Subsystems method. Scientific and technical magazine "Building production", K.: NDIBV, 2021, No. 71, ISSN: 2524-2555

4. Horodetsky A.S., Evzerov I.D. Computer models of structures. Kyiv. 2007. 393p.

5. Karpenko, N. I. General models of reinforced concrete mechanics/ N. I. Karpenko. - M.: Stroyizdat, 1996. - 416 p.

6. Finite element method in nonlinear problems of engineering mechanics / S. F. Klovanych, Journal "World of Geotechnics", issue 9, 2009.

7. Klovanych S.F., Malyshko L. (Poland), Maksymenko V.P. Theory of plasticity in construction design, Odesa: ONMU, 2018, 141 p., BBK 34.41:22.251.7

8. Hrihorovskyi P.E., Chervyakov Yu.M., Basanskyi V.O., Kroshka Yu.V., Murasyova O.V., Chukanova N.P. Information modeling of organizational and technological solutions of instrumental measurements in the creation and maintenance of construction objects. Construction production: science and technology. coll. Kyiv: "Lira-K" publishing house. 2019. No. 67. P. 7–16.

[1]**P.E. Hryhorovskyi**, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow, First Deputy Director of State Enterprise “NDIBV” https://orcid.org/000-0003-0527-5890;
[2]**V.P. Maksimenko** Head of laboratory for high-rise and experimental construction https://orcid.org 0000-0002-2835-026X;
[3]**V.O. Basanskyi**, Head of the Sector of State Enterprise “NDIBV” https://orcid.org/0000-0002-7850-7798;
[4]**A.P. Hryhorovskyi**, aspirant, https://orcid.org 0000-0003-0009-2358

[1, 2, 3, 4] State Enterprise "Research institute of building production named V.S. Balitsky", Kyiv

IMPROVEMENT OF THE DISMANTLING TECHNOLOGY OF EMERGENCY LARGE-PANEL BUILDINGS ACCORDING TO THE RESULTS OF ASSESSING THEIR RESISTANCE TO COLLAPSES

Abstract. Problem. *The complete or partial dismantling of the damaged object is an important step in eliminating the consequences of emergency destruction. Issues related to man-made destruction of buildings and structures, their temporary emergency reinforcement and establishment of the possibility of further restoration require the professional participation of civil engineers in the substantiation of urgent project decisions. Currently, there are no organizational and technological solutions that are able to simultaneously combine objective urgency and rational justification of their implementation.* ***Method.*** *On the example of a building that suffered significant damage as a result of an explosion of a gas-air mixture, the selection of the optimal and safe method of its partial dismantling in the conditions of compacted buildings while ensuring safety requirements and the methodology for assessing the stress-strain state of the building structures based on the subsystem method was carried out.* ***Originality.*** *Violation of the strength and stability of the building as a result of a man-made accident and the uncertainty of the work of its structural scheme significantly increases the urgency of optimizing the technology of dismantling emergency structures. Variants of the sequence of dismantling of a large-panel building, which suffered an emergency collapse of part of the load-bearing structures, were considered. The basis of the choice is the practice of a complex study of the "foundation - ground part of the damaged building" system at the stage of dismantling and temporary strengthening. On the basis of the LIRA-CAD software complex, a methodology has been developed that allows creating adequate computer models that change taking into account the stages of dismantling, keeping the load history and taking into account the emerging forces and deformations. The initial data for the creation of an adequate computer model were obtained by analyzing design and technical documentation, visual and instrumental examination of the emergency building. The advanced mathematical apparatus implemented in the PC "LIRA CAD" allows to perform calculations of complex construction objects taking into account man-made influences on their structural elements and to perform modeling of processes that lead to changes in the stress-strain state, the development of inelastic plastic deformations and crack formation.* ***Practical value.*** *Such a technique is universal, with its help it is possible to examine buildings of any type that are under the influence of man-made and emergency external influences. The technology of dismantling emergency buildings in conditions of incomplete information about their technical condition has been improved. The safety efficiency of emergency and rescue operations has been increased.*

Key words: *technology, abnormal impacts, destruction, buildings, information modeling, restoration*

УДК 691.5;69:002.89

[1] **В.П. Азутов**, к.т.н., доцент;
[2] **О.Ю. Бердник** к.т.н., доцент
[1, 2] Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН

Анотація. *В статті розглянуті результати науково-дослідної роботи, яка виконана на кафедрі ТБКВ Київського національного університета будівництва і архітектури з створення зразків теплозвукоізоляційних виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі модифікованого базальтового волокна.*

Актуальність теми обумовлена прогнозованим скороченням світових запасів енергоносіїв при одночасному зростанні об'єму споживання і вартості, що визначило тенденцію з підвищення вимог до теплозахисту будівель і споруд та енергоефективності технологічних процесів. Виходячи з цього пріоритетним напрямком наукових досліджень є розробка матеріалів і технологій виробництва високоефективних теплозвукоізоляційних виробів на основі екологічно чистої мінеральної сировини. Одним з представників цих матеріалів є базальти та їх структурні аналоги (габро, сієніти) з отриманням різноманітних матеріалів при використанні їх як сировина. Для досліджень були обрані зразки виверженних гірських порід – базальти та їх структурні аналоги. Безпосередньо в дослідженнях використовувалися породи родовищ України: Янова Долина, Усачківське, Донецьке.

Для підвищення достовірності результатів експерименту та дотримання логічної послідовності поставлених задач, дослідження було розділено на три етапи: технологічний, модифікація базальтового волокна і виробництво гнучких теплозвукоізоляційних виробів [1].

Поетапно розглянуто питання:

-отримання низькотемпературного базальтового розплаву з розширеним діапазоном робочої в'язкості;

-вплив фізико-механічних і реологічних властивостей базальтового розплаву;

-процес взаємодії базальтового волокна з травильним розчином з метою коригування хімічного складу в напрямку отримання максимального вмісту кремнезему, алюмінію, титану;

-визначення структурних характеристик модифікованого базальтового волокна після термічної стабілізації;

-дослідження звукоізоляційних характеристик визначалися за зміною характеру розподілу звукової енергії при її проходженні через товщу матеріалу.

Виконані дослідження дозволили зробити перехід до технологічних параметрів отримання теплозвукоізоляційних виробів (ТЗІВ). Крім того, на основі досліджень розроблена технологія виробництва гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна та дослідженні їх експлуатаційні характеристики.

Ключові слова: *модифіковані базальтові волокна, мінеральна сировина, теплозвукоізоляція, виверженні гірські породи, корозійне середовище, мікропорова структура, травильний розчин, робоча в'язкость, фільєрна пластина, порова структура.*

Вступ

В умовах прогнозування скорочення світових запасів енергоносіїв при одночасному зростанні об'єму споживання і вартості визначається тенденція з підвищення вимог до теплозахисту будівель і споруд та енергоефективності технологічних процесів. Виходячи з цього пріоритетним напрямком наукових досліджень є розробка матеріалів і технологій виробництва високоефективних теплозвукоізоляційних виробів на основі екологічно чистої мінеральної сировини. Одним з представників цих матеріалів є базальти та їх структурні аналоги (габро, сієніти) з отриманням різноманітних матеріалів при використанні їх як сировини.

Матеріали і методи досліджень

Матеріалом для наукових досліджень, що проводились на кафедрі ТБКВ КНУБА, було природні гірські породи базальтів.

Мета досліджень

Отримання зразків виробів з підвищеними теплозвукоізоляційними експлуатаційними властивостями.

Для підвищення достовірності результатів експерименту та дотримання логічної послідовності поставлених задач, дослідження було розділено на три етапи: технологічний, модифікація базальтового волокна і виробництво гнучких теплозвукоізоляційних виробів [1].

Я сировинні матеріали використано виверженні гірські породи – базальти та їх структурні аналоги. Безпосередньо в дослідженнях використовувалися породи родовищ України: Янова Долина, Усачківське, Донецьке.

Узагальнюючи експериментальні результати досліджень попередніх робіт можна визначити встановлений факт корозії різної інтенсивності базальтового волокна в корозійному середовищі незалежно

від хімічного складу і родовищ, і виділити три групи. Перша група – базальтове волокно в результаті взаємодії з травильним розчином повністю розчиняється; друга група – частково розчиняється з утворенням фрагментів базальтового волокна без зміни його структурних характеристик; третя група – зберігає початкову форму з утворенням поверхневої мікропорової структури. Таким чином передумовою для постановки досліджень стала виявлена розбіжність в характері взаємодії базальтових волокон з травильним розчином [2,3].

В результаті визначення інтенсивності корозійного процесу базальтового волокна в травильних розчинах хімічної природи і різного хімічного складу виявлено певні закономірності в розподілі властивостей базальтового волокна. Згідно проведеним дослідженням найбільш характерним представником першої групи є базальти родовища Янова Долина, другої групи базальти родовищ Усачківське, третьої групи базальти Донецького родовища [4].

Базальтові породи, волокна з яких, в процесі травлення, утворюють мікропорову структуру, на території України представлені дуже в незначному об'ємі. Тому для отримання мікропорової структури базальтового волокна були проведені дослідження впливу співвідношення оксидів вихідної сировини (базальтових порід) та хімічних модифікаторів на процеси структуроутворення обробленого базальтового волокна. На першому етапі – отримання низькотемпературного базальтового розплаву з розширеним діапазоном робочої в'язкості, а також визначення закономірностей умові способів отримання модифікованих базальтових порід при використанні доступної сировини. На скляному волокні експериментального складу встановлено загальні закономірності процесу отримання модифікованого базальтового волокна, з метою здешевлення технологічного процесу був визначений склад вихідних матеріалів з базальтів родовищ України (скоригований склад).

Поставлена мета досягається за рахунок введення з шихтою добавок-модифікаторів: сполуки заліза в окисній і закисній формі, для зниження температури плавлення базальтового розплаву; сполук лужних металів літію, натрію, калію з метою розширення діапазону робочої в'язкості і стабільності роботи технологічного обладнання, сполуки MnO підвищення робочої температури [5].

На другому етапі розглядався вплив фізико-механічних і реологічних властивостей базальтового розплаву, і параметрів технологічного процесу при проходженні його через фільєрну пластину в процесі утворення первинного волокна, який істотно впливає на формування структури поверхні базальтового волокна. Встановлено, що в діапазоні температур базальтового розплаву 960...1180°С і в'язкості 3,19...4,08 Па/с забезпечується регульована швидкість протягування первинного волокна через фільєрну пластину, що забезпечує отримання розрахункової міцності первинного базальтового волокна з визначеною структурною характеристикою його поверхні. У випадку використання скоригованого складу базальтового розплаву з оптимальним значенням робочої в'язкості і температури досягається через 10-15 хвилин і залишаються стабільними, що забезпечує стабілізацію протікання технологічного процесу отримання базальтового волокна, що є ефективнішим ніж базальтові розплави іншого складу, в яких зона оптимальних значень знаходиться в межах 25-40 хвилин. Це забезпечує можливість, при швидкості протягування 36...38,5 м/хв. Базальтового волокна через фільєрну пластину і швидкості охолодження в межах 1840...1960°С/хв., фіксацію склоподібного стану матеріалу волокна з утворенням на його поверхні активних зон. Поверхня базальтового волокна, яка сформована з дотриманням визначених параметрів технологічного процесу, принципово відрізняється від поверхні базальтового волокна, сформованого по традиційній технології [6,7].

Зміна величини кривизни поверхні волокна (перша активна зона – кривизна поверхні має від'ємну величину,так звані тріщини і впадини, друга зона – кривизна поверхні має позитивну величину - піки, третя зона – характеризується продовженим характером – борозни і об'єднує властивості першої і другої зон, що забезпечує зосередження електростатичного потенціалу в цих зонах, на відміну від базальтового волокна, отриманого по традиційній технології, в якому електростатичний потенціал рівномірно розподілений по всій поверхні матеріалу). Це забезпечує зміну хімічної корозії, яка відбувається у базальтовому волокні отриманому за традиційною технологією на електрохімічну в разі використання базальтового волокна отриманого за скоригованою технологією, що забезпечує проходження корозії в межах активних зон.

На третьому етапі досліджень було вивчено процес взаємодії базальтового волокна з травильним розчином з метою коригування хімічного складу в напрямку отримання максимального вмісту кремнезему, алюмінію, титану. Вибір розчину кислоти та встановлення оптимальних значень їх характеристик базується на аналізі властивостей складових частин матеріалу базальтового волокна. Цей процес при концентрації травильного розчину 3,25 і температурі розчину 50°С, часу витримування 60-65 хв, зменшенню концентрації продуктів травлення базальтового волокна в поверхневому шарі розчину і, як наслідок, зміщенню іонообмінних процесів в глибину волокна та прискоренню швидкості їх проходження.

Також запропоновано механізм формування мікропорової структури, який базується на припущенні, що в процесі взаємодії базальтового волокна з розчином кислоти формується матеріал з переважним вмістом оксидів SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, який після термічної стабілізації, відповідно до праць академіка Гребенщикова І.В., набуває властивостей кварцового скла.

В базальтовому волокні за рахунок сил поверхневого натягу забезпечується зменшення товщини міжпорових перегородок з 30...45 мк до 4...12 мк і збільшення діаметру пор з 18...28 мк до 44...62 мк. Формування порової структури утворюється в області локального виносу елементів базальтового волокна зі збереженням в них міжпорових перегородок і утворення капілярних і субмікрокапілярних пор. Результати процесу травлення скоригованого базальтового волокна з об'ємною мікропоровою структурою наведено на рисунку [8].

Наступним етапом роботи було визначення структурних характеристик модифікованого базаль-

тового волокна після термічної стабілізації. Де встановлено оптимальну температуру термічного навантаження 1000-1060˚С і час 45-55 хвилин з підвищенням температури збільшується пористість базальтових волокон, що свідчить про структурні перетворення в середині волокна, яке призводить до зменшення міжпорових перегородок (перехід склоподібного стану в рідкий).

Згідно результатів досліджень термічних характеристик отриманого базальтового волокна виявлено, що робоча температура базальтового волокна скоригованого знаходиться в межах 1000-1120˚С, а циклічна стійкість підвищується в порівнянні з іншими родовищами України. Коефіцієнт теплопровідності та стійкість модифікованого базальтового волокна при циклічному термічному навантаженні має більш стабільний характер в порівнянні зі звичайним базальтовим волокном.

Дослідження звукоізоляційних характеристик визначалися за зміною характеру розподілу звукової енергії при її проходженні через товщу матеріалу. У разі кристалічного характеру матеріалу переважна частина звукової енергії (80%) проходить через товщу матеріалу, або відзеркалюється від його поверхні, що свідчить про пропускний характер.

У разі використання модифікованого базальтового волокна характер розподілу звукової енергії знижується. Переважна частина звукової енергії розсіюється в товщі матеріалу і переходить в теплову енергію [9].

Виконані дослідження дозволяють зробити перехід до технологічних параметрів отримання ТЗІВ. Розроблена технологія виробництва гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна та дослідженні їх експлуатаційних характеристик. Для отримання грубих базальтових волокон використовуються базальти, розплави яких за своїми властивостями та інші реологічні характеристики забезпечують проходження технологічного процесу в сталому режимі при забезпеченні розрахункових температурних показників [10].

Технологічний процес виробництва теплозвукоізоляційних виробів на основі базальтового волокна здійснюється за наступною схемою

- визначення кількісного співвідношення оксидів в складі шихти, фізико-механічних і структурних характеристик вихідної сировини (фр. 5-10мм);
- оптимізація хімічного та мінералогічного складу шихти у відповідності розрахункових величин (введення модифікаторів).
- встановлення заданих параметрів температури і параметрів газового середовища в плавильному агрегаті;
- отримання розрахункових реологічних характеристик базальтового розплаву;
- забезпечення умов сталого проходження процесу плавлення базальтової шихти.
- отримання розрахункових параметрів отворів філь'єрної пластини;
- забезпечення визначеного режиму проходження базальтового розплаву через філь'єрну пластину;
- створення розрахункових параметрів газового середовища і характеристик теплоносія для регульованої швидкості охолодження робочого розплаву;
- отримання первинного волокна;
- приготування кислотовміщуючого розчину;
- забезпечення температурного режиму і часу витримування базальтового волокна в процесі травлення (pH 3,8...4,3, T=50˚C, час витримування 10...180 хв);
- нейтралізація і виведення залишків травильного розчину із структури матеріалу (промивка волокна);
- термічна стабілізація структури базальтового волокна T=1060˚C).
- виробництво гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна.

Порівняльна характеристика текстурних і структурних характеристик звичайного базальтового волокна і модифікованого базальтового волокна свідчить про те, що спостерігається підвищення експлуатаційних властивостей, так як ми отримали вже кварцоїдне волокно.

При облаштуванні теплоізоляції трубопроводів теплових мереж передбачено визначення коефіцієнту вібростійкості, де показано, що при дослідженнях вібраційного впливу на джгути зафіксовано стабільність характеристик, коефіцієнту теплопровідності і залежності міцності від часу вібраційного впливу. Робоча температура для звичайних волокон становить 840˚С, а для модифікованого базальтового волокна 1420˚С.

Висновки

В результаті досліджень вдалося отримати модифіковане базальтове волокно, яке відповідає за властивостями усім вимогам як теплозвукоізоляційний ефективний будівельний матеріал, а також запропонувати технологію виробництва гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна.

Література

1. Berdnyk O Yu, Lastivka O V, Maystrenko A A and Amelina N O 2020 Processes of structure formation and neoformation of basalt fiber in an alkaline environment IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering Innovative Technology in Architecture and Design 907 012036 https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012036/pdf

2. Gots V I, Lastivka O V, Berdnyk O Yu, Tomin O O and Shilyuk P S 2020 Corrosion resistance of polyester powder coatings using fillers of various chemical nature Key Engineering Materials 864 pp 115-121 https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.864.115 https://www.scintific.net/KEM.86 4.115

3. Krivenko P, Petropavlovskyi O, Kovalchuk O, Rudenko I and Konstantynovskyi O 2019 Enhancement of alkali-activated slag cement concretes crack resistance for mitigation of steel reinforcement corrosion E3S Web of Conferences 166 06001 DOI: 10.1051/e3sconf/202016606001

4. Krivenko P V, Kovalchuk G Yu and Kovalhuk O Yu 2005 Heat-resistant cellular concretes based on alkaline cements Proceedings of the International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction pp 97-104
5. Katrijn Gijbels, Pavel Krivenko, Oleksandr Kovalchuk, Anton Pasko, Sonja Schreurs, Yiannis Pontikes and Wouter Schroeyers 2020 The influence of porosity on radon emanation in alkali-activated mortars containing high volume bauxite residue Construction and Building Materials 230 116982. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116982
6. Kovalchuk O, Gelevera O and Ivanychko V 2019 Studying the influence of metakaolin on selfhealing processes in contact-zone structure of concretes based on the alkali- activated Portland cement Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 5/6 (101) pp 33-40 doi:10.15587/1729-4061.2019.160959
7. Gao S L, Mȍder E and Plonka R 2007 Nanostructured coatings of glass fibers Improvement of alkali resistance and mechanical properties Acta Materialia 55 (3) pp 1043-1052
8. Tretiakov Yu D 2007 Neorhanycheskaia khymyia Khymyia M Yzd-vo MHU 3-kh t T 1 249
9. Jantzen C M, Brown K G and Pickett J B 2010 Durable Glass for Thousands of Years International Journal of Applied Glass Science 1 (1) pp 38-62
10. Lipatov Y V, Gutnikov S I, Manylov M S, Zhukovskaya E S and Lazoryak B I 2015 High alkali-resistant basalt fiber for reinforcing concrete Materials & Design 73 pp 60-66

[1]**V.P. Azutov,** Ph/D, associate professors;
[2]**O.Yu.Berdnyk,** Ph/D, associate professors.
[1, 2] Kyiv National University, whose construction and architecture, Kyiv

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE PHYSICO-CHEMICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF PRODUCTS BASED ON BASALT FIBERS

Abstract. *The article examines the results of the research work carried out at the TBKV department of the Kyiv National University of Construction and Architecture on the creation of samples of thermal and sound insulation products with increased operational properties based on modified basalt fiber.*
The topicality of the topic is due to the predicted reduction of the world reserves of energy carriers with a simultaneous increase in the volume of consumption and cost, which determined the tendency to increase the requirements for thermal protection of buildings and structures and the energy efficiency of technological processes. Based on this, the priority direction of scientific research is the development of materials and technologies for the production of highly efficient heat and sound insulation products based on environmentally friendly mineral raw materials. One of the representatives of these materials is basalts and their structural analogues (gabbro, syenites) with obtaining various materials when using them as raw materials.
Samples of erupted rocks - basalts and their structural analogues - were selected for research. The breeds of deposits of Ukraine: Yanova Dolyna, Usachkivske, Donetske were used directly in the research.
To increase the reliability of the results of the experiment and to observe the logical sequence of the tasks, the research was divided into three stages: technological, modification of basalt fiber and production of flexible heat and sound insulation products [1].
The question was considered step by step:
- production of low-temperature basalt melt with an extended range of working viscosity;
- influence of physical, mechanical and rheological properties of basalt melt;
- the process of interaction of basalt fiber with an etching solution in order to adjust the chemical composition in the direction of obtaining the maximum content of silica, aluminum, titanium;
- determination of the structural characteristics of the modified basalt fiber after thermal stabilization;
- the study of sound insulation characteristics was determined by the change in the nature of the distribution of sound energy during its passage through the thickness of the material.
The conducted studies allow us to make a transition to the technological parameters of obtaining TKIV. The technology for the production of flexible thermal and sound insulation products based on modified basalt fiber and the study of their operational characteristics was developed.
Key words: *modified basalt fibers, mineral raw materials, heat and sound insulation, erupted rocks, corrosive environment, micropore structure, pickling solution, working viscosity, spinner plate, pore structure.*

УДК 69:002;69.059

[1] **В.Б. Крицький,** к.т.н., начальник відділу, orcid: 0000 0002 67244 5884;
[2] **Ю.В. Гензерський,** к.т.н., заступник директора, orcid: 0000 0003 1957 1236;
[3] **В.П. Максименко,** к.т.н., завідувач лабораторією,orcid: 0000 0002 7684 9495;
[4] **Н.І. Крицька,** молодший науковий співробітник , orcid: 0000-0002-6550-6980.

[1] АТ «Київський науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут «Енергопроект»» (АТ КІЕП), м. Київ, Україна;
[2] ТОВ «ЛІРА САПР», м. Київ, Україна;
[3] ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП ДНДІБВ), м. Київ, Україна;
[4] ДП «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДП ДНТЦ ЯРБ), м. Київ, Україна

РОЗРАХУНКОВО-МОДЕЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПРОГНОЗОВАНИХ ДЕСТРУКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В БЕТОНІ НА НЕСУЧУ СПРОМОЖНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація: *Виявлення в останні роки в США деструкційних процесів в бетоні гідротехнічних споруд (гребель) і залізобетонних захисних оболонок (ЗО) – контайнментів – реакторних відділень (РО) АЕС обумовило велику зацікавленість і увагу до відповідних процесів, як до явищ/факторів, що здатні суттєво погіршити безпеку експлуатації відповідальних об'єктів, зокрема призвести до недотримання вимог з ядерної та радіаційної безпеки до експлуатації ядерних установок в умовах технологічних аварійних впливів і сейсмічних подій. Означене питання актуальне і для України, де функціонують (експлуатуються) 15 енергоблоків АЕС, а ще два енергоблоки вже тривалий час перебувають в стадії добудови.*

Слід зазначити, що відомі на поточний час технології моніторингу технічного стану будівельних конструкцій (БК) не мають інструментальних засобів неруйнівного контролю БК, які дозволяють достовірно визначити належність бетону внутрішнього об'єму БК до деградованого стану, а тим більше коректно ідентифікувати межі зон деградації, фізико-хімічний механізм виникнення і прогресування деградації, стадію розвитку (еволюції) процесу деструкції матеріалу тощо.

Окрім того, в науково-технічній літературі з будівельного матеріалознавства практично відсутня придатна для застосування інженерами-практиками інформація щодо фізико-механічних властивостей деградованого бетону залежно від притаманних йому фізико-хімічного механізму деградації і стадії розвитку (еволюції) процесу його деструкції.

Зважаючи на наявність вищеозначеної проблеми – практичну відсутність інструментальних засобів і технологій виявлення і оцінки впливу внутрішніх масивів пошкодженого бетону на загальну працездатність БК групою фахівців – авторами статті – в рамках пошукового дослідження був розроблений і апробований розрахунково-модельний підхід щодо визначення рівня втрати працездатності (несучої спроможності) досліджуваної конструкції у випадку і в умовах постульованої – найбільш імовірної і небезпечної конфігурації геометричних і фізико-хімічних параметрів, притаманних структурно пошкодженому бетону в зоні його локалізації в БК. Вказаний підхід – формалізований як розрахунково-модельна технологія/процедура – передбачає реалізацію певного обчислювального алгоритму, опис і результати практичної апробації якого наведені в публікації.

Ключові слова: *бетон, будівельні конструкції, корозія, деградація, деструкція бетону, зона деградації, працездатність, несуча спроможність, розрахунково-модельна технологія.*

Вступ

Виявлення в останні роки в США деструкційних процесів в бетоні гідротехнічних споруд (гребель) і залізобетонних захисних оболонок (ЗО) – контайнментів – реакторних відділень (РО) АЕС [1] обумовило велику зацікавленість і увагу до відповідних процесів, як до явищ/факторів, що здатні суттєво погіршити безпеку експлуатації відповідальних об'єктів, зокрема призвести до недотримання вимог з ядерної та радіаційної безпеки до експлуатації ядерних установок в умовах технологічних аварійних впливів і сейсмічних подій. Означене питання актуальне і для України, де функціонують (експлуатуються) 15 енергоблоків АЕС, а будівельні конструкції ще двох енергоблоків вже тривалий час (кілька десятиліть) перебувають в стадії добудови і протягом означеного періоду залишаються незахищеними від безпосереднього впливу усієї сукупності несприятливих кліматичних факторів.

Фізико-хімічні особливості застосованого при виготовленні БК бетону (види цементу, домішок, заповнювачів, питоме співвідношення компонентів в бетонній суміші, прийняте водоцементого співвідношення тощо), умови бетонування і твердіння (зокрема, інтенсивність тепловиділення, можливість або обмеження температурного деформування, усадки тощо), вплив зовнішніх температуро-вологісних факторів та інших кліматичних та технологічних

впливів здатні при певному сполученні стати передумовами виникнення і розвитку в бетоні таких процесів деструкції цементного каменю, як:

– реакція внутрішнього набухання;
– лужно-силікатна реакція;
– відкладена формація етрингіту;
– магнезіальна корозія;
– сульфатна корозія з участю таумаситу;
– вуглекисла корозія (корозія карбонізації) тощо.

Слід зазначити, що відомі на поточний час технології моніторингу технічного стану будівельних конструкцій (БК) не мають інструментальних засобів неруйнівного контролю БК, які дозволяють достовірно визначити належність бетону внутрішнього об'єму БК до деградованого стану, а тим більше коректно ідентифікувати межі зон деградації, фізико-хімічний механізм виникнення і прогресування деградації, стадію розвитку (еволюції) процесу деструкції матеріалу тощо.

В означених умовах, як уявляється, єдиним доступним засобом оцінки впливу очікуваних деструкційних процесів в бетоні на безпеку експлуатації будівельних конструкцій є постулювання наявності в БК певних зон деструкції бетону, який деградував за одним з вищеозначених механізмів, і оцінити вплив наявності цих зон на несучу спроможність досліджуваної БК. Можливі варіанти розташування таких постульованих зон деградації в найбільш поширених конструкціях-прототипах «балка», «плита», «оболонка» наведені на Рис. 1

Мета, основні зміст і результати досліджень

Зважаючи на наявність вищевикладеної проблеми метою виконаної роботи є розробка і апробація концепції розрахункової технології оцінки впливу прогнозованих деградаційних процесів в бетоні на несучу спроможність будівельних конструкцій. Вказана концепція – розрахункова технологія/процедура передбачає реалізацію наступного алгоритму:

1) постулювання в об'ємі БК зони/зон деградації з заданими (найбільш очікуваними/імовірними) положенням, габаритами (просторовою геометрією), механізмом деградації і стадією розвитку (еволюції) процесу деструкції;

2) розробка в програмному засобі (ПЗ), призначеному для механіко-міцнісних розрахунків БК методом скінчених елементів (МСЕ) – в нашому випадку ПЗ «ЛІРА САПР» [2] – МСЕ-моделі БК, зокрема, МСЕ-моделі постульованої в об'ємі БК зони деградації;

3) призначення фізико-механічних характеристик (ФМХ) для матеріалу основного («здорового») бетону БК і для матеріалу ЗД; для ЗД – характеристик, притаманних обраній для розгляду стадії (етапу) розвитку (еволюції) процесу деструкції;

4) виконання механіко-міцнісних розрахунків МСЕ-моделі і визначення дефіциту або запасу несучої спроможності БК для випадків призначення зоні деградації:

«4) а» ФМХ основного («здорового») бетону БК;

«4) б» ФМХ матеріалу ЗД, притаманних обраній для розгляду стадії (етапу) розвитку (еволюції) процесу деструкції

5) порівняння розрахованого запасу або дефіциту несучої спроможності БК для випадків «4) а» і «4) б» і складання висновку про вплив постульованої ЗД на несучу спроможність об'єкту для обраних до розгляду етапу експлуатації БК і еволюційного стану матеріалу ЗД.

Результати апробації вищеозначеної концепції (розрахункової технології) на тестовій БК – бетонній балці в умовах чистого згину з зоною деградації

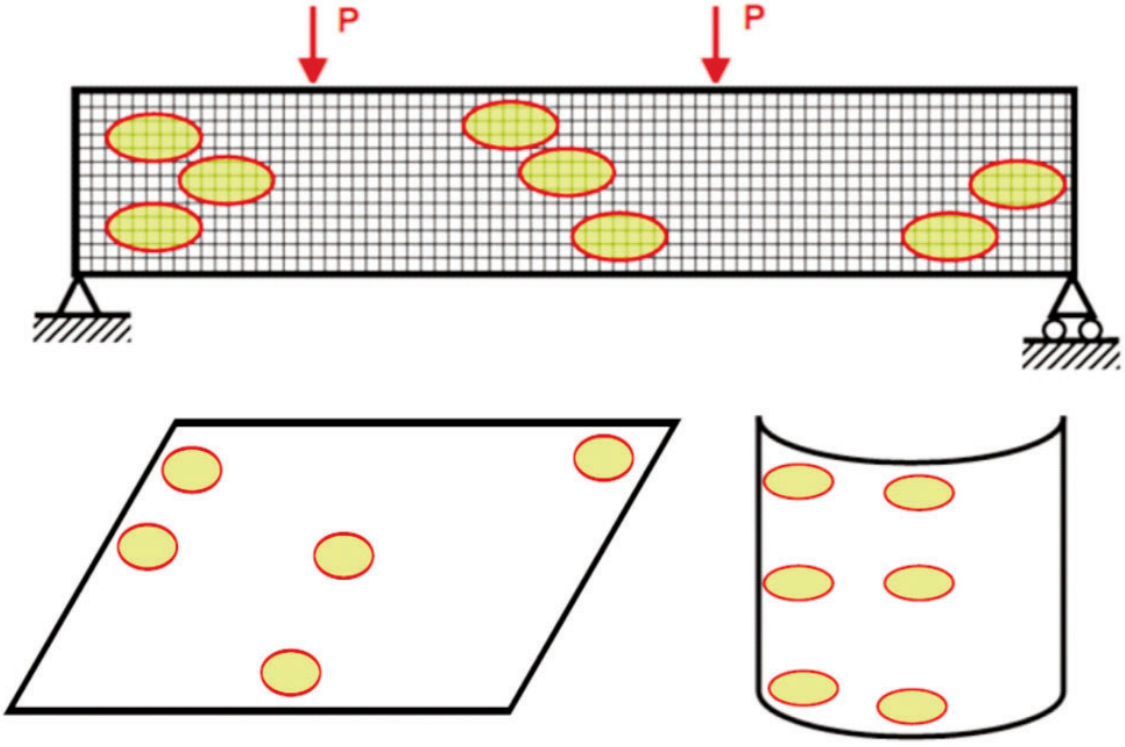


Рис. 1. Можливі варіанти локалізації постульованих зон деградації в конструкціях-прототипах «балка», «плита», «оболонка»

тривимірної еліпсоїдної конфігурації в середині прогону для механізму деградації «сульфатна корозія» згідно [3-5] продемонстровані нижче:

1) Крок 1 алгоритму. Створена в інтегрованому середовищі ПЗ «ЛІРА САПР» [2] скінченоелементна модель (МСЕ-модель) конструкції-прототипу «Балка», діючі на конструкцію навантаження і постульоване розрахункове положення потенційних зон деградації бетону наведені на Рис. 2 нижче.

Для забезпечення прийнятної гладкості функцій розподілу параметрів напружено-дефмованого стану (НДС) бетону при моделюванні описаних деградаційних зон, моделювання балки здійснювалось достатньо густою сіткою скінчених елементів (СЕ). Параметри МСЕ-моделі конструкції-прототипу «Балка» наступні:

кількість СЕ – 60000 шт.;

кількість вузлів – 68541 шт.;

кількість невідомих розв'язуючої системи рівнянь МСЕ – 205623 шт.;

астрономічний час розрахунку однієї постановки задачі – від 5-ти до 8-ми хвилин залежно від ступеню завантаження процесора комп'ютера іншими задачами.

2) Крок 2 алгоритму. Конфігурація зони деградації бетону в складі МСЕ-моделі досліджуваної конструкції-прототипу «Балка» була прийнята типової «пухлинної» форми – у вигляді тривимірного еліпсоїду повністю прихованого в середини габаритів «Балки» під поверхневим шаром «здорового» бетону. Просторове зображення реалізованої МСЕ-моделі зони деградації в складі МСЕ-моделі наведено на Рис. 3 нижче.

3) Крок 3 алгоритму. Оскільки, як вказано вище, на поточний час відсутні систематизовані або нормативно затверджені відомості щодо фізико-механічних властивостей деградованого бетону, залежність механічних властивостей – опору (пружності, жорсткості, міцності) деградованого бетону – прийнята для досліджуваного випадку залежно від терміну (кількості років) експлуатації БК на підставі результатів досліджень, викладених в джерелах [3-5], і має для випадку сульфатної корозії конфігурацію, наведену на Рис. 4 нижче.

4) Крок 4 алгоритму. За результатами виконання механіко-міцнісних розрахунків досліджуваної конструкції-прототипу «Балка» були отримані (див. Рис. 5, Рис. 6) функції зміни максимальних значень параметрів НДС неураженого бетону залежно від ступеню залишкового опору (пружності, жорсткості, міцності) деградованого бетону.

Результати апробації вищеозначеної концепції на тестовій БК – конструкції-прототипі «Балка» в умовах чистого згину з ЗД тривимірної еліпсоїдної конфігурації в середині прогону для механізму деградації «сульфатна корозія» згідно [3-5] засвідчили наступне:

1 На початковому – умовно першому, безпечному (зелена зона) етапі еволюція деградаційного процесу – протягом перших 15 ти років експлуатації БК – може призвести до втрати 25-30% опору (пружності, жорсткості) бетону в ЗД і збільшення значення максимального прогину БК на 1%. Таке збільшення максимального прогину знаходиться в межах похибки вимірювання і не може бути зафіксовано візуально. Відповідне зменшення несучої спроможності БК становитиме 10 12%, компенсується типовими проектними коефіцієнтами запасу і, відповідно, можна стверджувати, що в зазначений період еволюція деградаційного процесу практично не впливає на несучу спроможність БК і не вимагає обов'язкового призначення спеціальних заходів з моніторингу можливого негативного впливу наявних ЗД.

2 На середньому – умовно другому, передкритичному (жовта зона) етапі еволюція деградаційного процесу – протягом 15 20 років експлуатації БК – може призвести до втрати 70 75% опору (пружності, жорсткості) бетону в ЗД і збільшення значення мак-

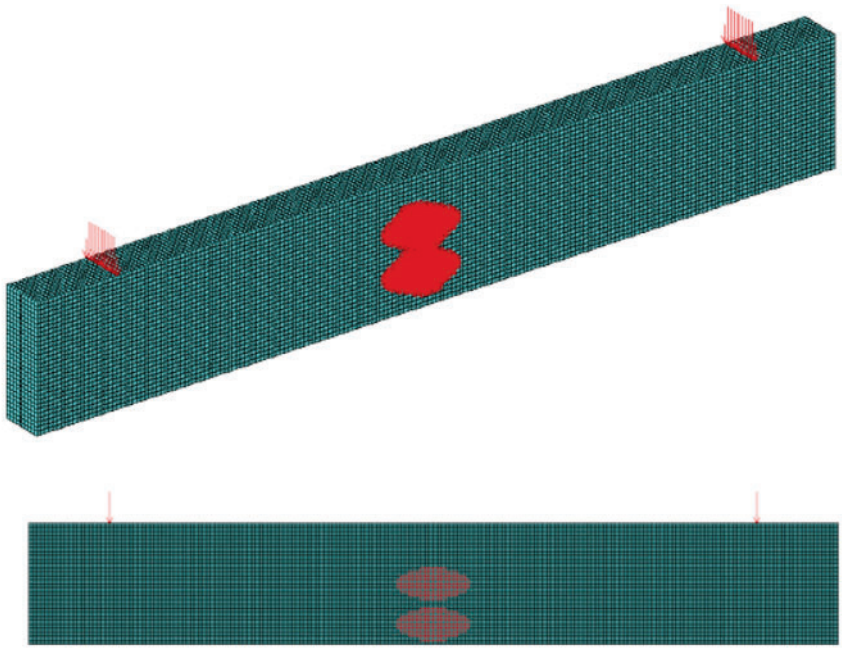


Рис. 2. Досліджена МСЕ-модель конструкції-прототипу «Балка», діючі на конструкцію навантаження і постульоване розрахункове положення потенційних зон деградації бетону

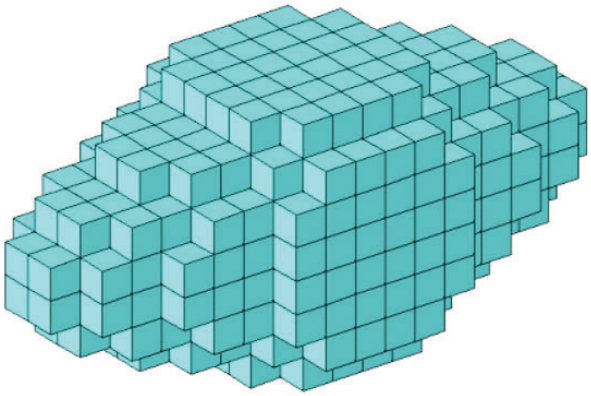


Рис. 3.Просторова МСЕ-модель зони деградації бетону – у вигляді тривимірного еліпсоїду – в складі МСЕ-моделі досліджуваної конструкції-прототипу «Балка»

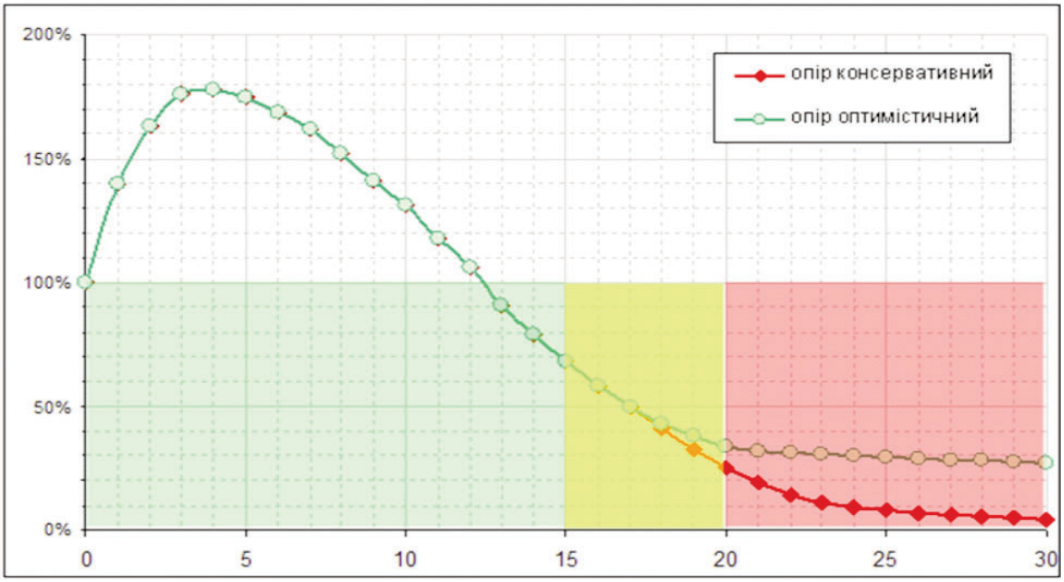


Рис. 4. Прийнята в дослідженні залежність (від кількості років експлуатації БК) зміни (зниження) механічних властивостей – опору (пружності, жорсткості, міцності) – ураженого бетону для випадку сульфатної корозії

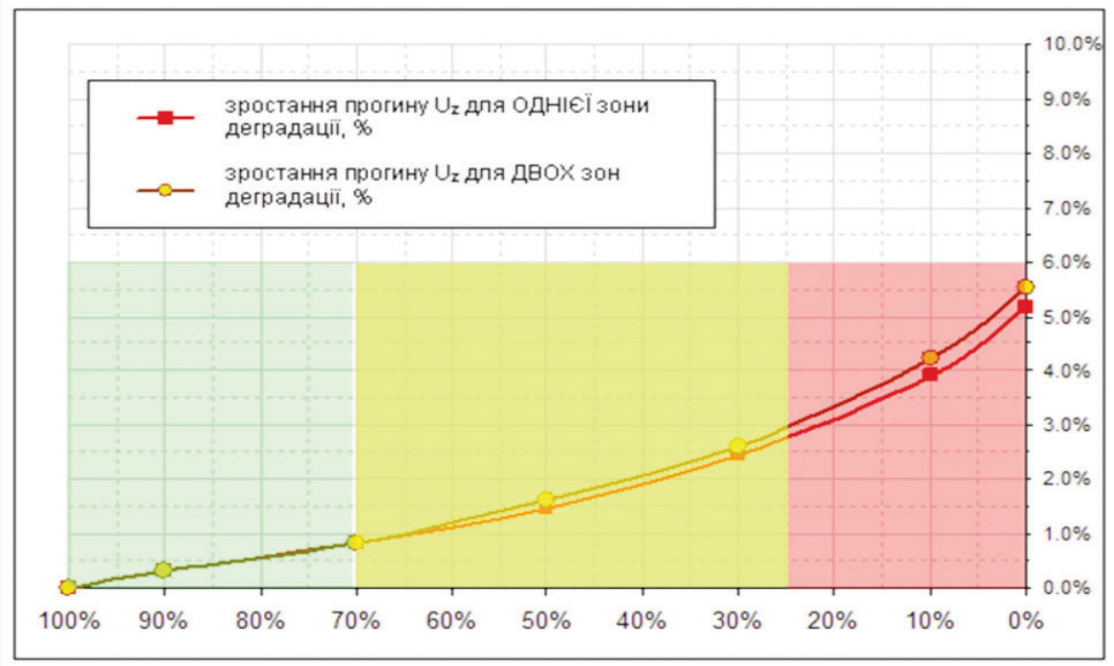


Рис. 5. Визначені за результатами розрахунків функції зміни (зростання) максимальних значень параметрів НДС (прогину) конструкції-прототипу «Балка» залежно від ступеню зміни (зниження) механічних властивостей – втрати опору (пружності, жорсткості, міцності) – ураженого бетону для випадку сульфатної корозії

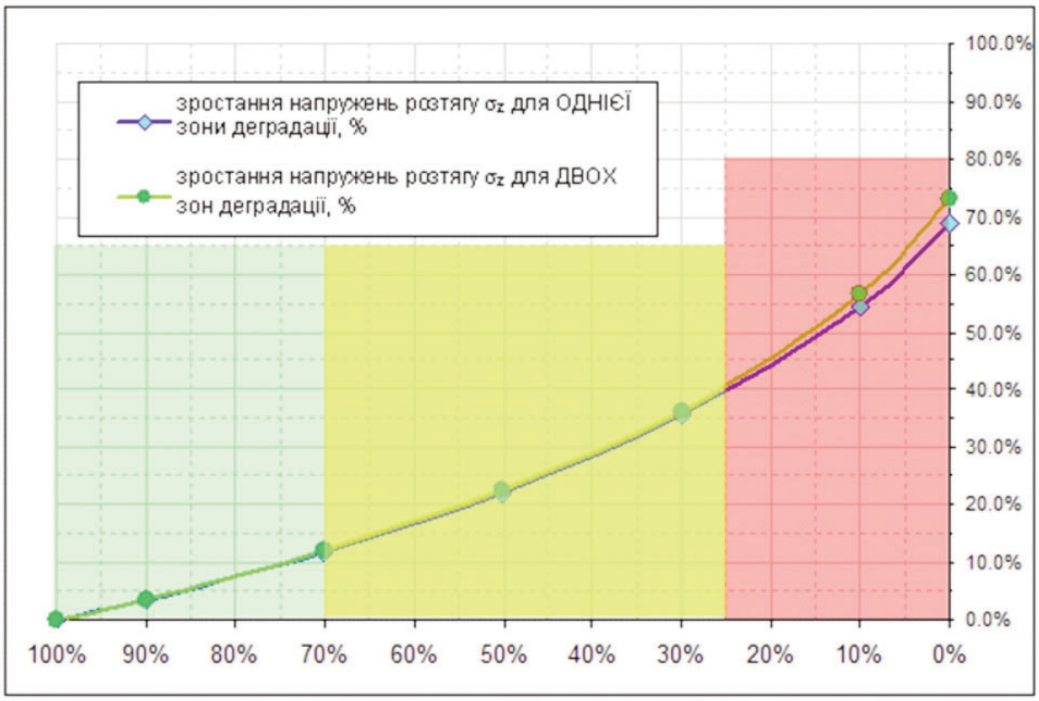


Рис. 6. Визначені за результатами розрахунків функції зміни (зростання) максимальних значень параметрів НДС (напружень розтягу) конструкції-прототипу «Балка» залежно від ступеню зміни (зниження) механічних властивостей – втрати опору (пружності, жорсткості, міцності) – ураженого бетону для випадку сульфатної корозії

симального прогину БК на 3-4%. Таке збільшення максимального прогину вже може бути зафіксовано візуально і є ознакою необхідності проведення інструментального обстеження БК. Відповідне зменшення несучої спроможності БК становить 35 40% може перевищити позитивний вплив проектних коефіцієнтів запасу. Таким чином, в зазначений період еволюція деградаційного процесу може суттєво негативно вплинути на несучу спроможність БК і вимагає впровадження спеціальних заходів з моніторингу можливого негативного впливу наявних ЗД інструментальними засобами.

3 На фінальному (заключному) – умовно третьому, критичному (червона зона) етапі еволюція деградаційного процесу – протягом 20 30 років експлуатації БК – може призвести до втрати 90 100% опору (пружності, жорсткості) бетону в ЗД і збільшення значення максимального прогину БК до 5.5%. Таке збільшення максимального прогину вже може бути зафіксовано візуально і є ознакою необхідності проведення інструментального обстеження БК. Відповідне зменшення несучої спроможності БК становитиме 70 75%. В зазначений період еволюція деградаційного процесу практично гарантовано негативно вплине на несучу спроможність БК і вимагає реалізації спеціальних заходів з підсилення БК.

Висновки і рекомендації

1 Аналіз науково-технічної літератури з будівництва свідчить, що на поточний час в Україні практично відсутні дослідження щодо впливу деградаційних процесів в бетоні на несучу спроможність відповідальних БК і споруд.

2 Відомі на поточний час технології моніторингу технічного стану будівельних конструкцій не мають інструментальних засобів неруйнівного контролю БК, які дозволяють достовірно визначити належність бетону внутрішнього об'єму БК до деградованого стану, а тим більше коректно ідентифікувати межі зон деградації, фізико-хімічний механізм виникнення і прогресування деградації, стадію розвитку (еволюції) процесу деструкції матеріалу тощо.

3 Отримані результати свідчать про актуальність виявлення деградаційних процесів у бетоні в рамках зеленої зони та суміжної із зеленою частині жовтої зони з метою завчасного визначення наявності, меж локалізації та ступеня еволюції зон деградації, а також з метою вчасної розробки комплексу заходів щодо забезпечення несучої здатності конструкції у зазначених умовах – особливо у правій частині жовтої зони та у червоній зоні.

4 В означених вище в пп. 1, 2, 3 умовах запропонована в цій публікації і апробована розрахунково-модельна технологія оцінки впливу прогнозованих деструкційних процесів в бетоні на несучу спроможність будівельних конструкцій імовірно є єдиним практично реалізованим підходом щодо виконання коректної оцінки безпеки експлуатації відповідальних БК і споруд підвищеної небезпеки.

5 Доцільно продовжити викладені в публікації дослідження для інших, ніж розглянута конструкція-прототип «Балка», типових залізобетонних конструкцій, а також реальних відповідальних споруд, що тривалий час перебувають в експлуатації.

6 За результатами означених досліджень уявляється перспективною розробка галузевих рекомендацій стосовно розрахункової оцінки впливу прогнозованих деструкційних процесів в бетоні на несучу спроможність відповідальних будівельних конструкцій і споруд.

Література

1 Victor E. Saouma, Mohammad Amin Hariri-Ardebili. Seismic capacity and fragility analysis of an ASR-affected nuclear containment vessel structure // Nuclear Engineering and Design. – № 346 (2019), 2019. – pp. 140-156.
2 Программный комплекс ЛИРА-САПР®. Версия «ЛИРА САПР 2018». Паспорт программного комплекса. – К.: ООО «ЛИРА САПР», 2018. – 13 с.
3 Москвин В.М. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: «Стройиздат», 1980. – 536 с.
4 Иванов Ф.М. и др. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М.: «Стройиздат», 1990. – 320 с.
5 Бардах О.Ю. Довговічність бетону в умовах дії сульфатних розчинів і температури // Автореферат дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Дніпро, 2021. – 23 с.

Reference

1 Victor E. Saouma, Mohammad Amin Hariri-Ardebili. Seismic capacity and fragility analysis of an ASR-affected nuclear containment vessel structure // Nuclear Engineering and Design. – № 346 (2019), 2019. – pp. 140-156.
2 Prohrammnыi kompleks LYRA-SAPR®. Versyia «LYRA SAPR 2018». Pasport prohrammnoho kompleksa. – K.: OOO «LYRA SAPR», 2018. – 13 s.
3 Moskvyn V.M. y dr. Korrozyia betona y zhelezobetona, metodы ykh zashchyty. – M.: «Stroiyzdat», 1980. – 536 s.
4 Yvanov F.M. y dr. Dolhovechnost zhelezobetona v ahressyvnыkh sredakh. – M.: «Stroiyzdat», 1990. – 320 s.
5 Bardakh O.Iu. Dovhovichnist betonu v umovakh dii sulfatnykh rozchyniv i temperatury // Avtoreferat dys. na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk. – Dnipro, 2021. – 23 s.

[1] V.B.Krytskyi, PhD, Chief of Department of JSV, orcid: 0000 0002 67244 5884;
[2] I.V.Genzerskyi, PhD, Deputy of Director, orcid: 0000 0003 1957 1236;
[3] V.P.Maksimenko, PhD, Chief of Laboratory, orcid: 0000 0002 7684 9495;
[4] N.I. Krytska, junior researcher, orcid: 0000-0002-6550-6980

[1] «Kyiv Scientific-Research and Design Institute «Energoproject»» (JSV KIEP), Kyiv, Ukraine
[2] «LIRA SAPR» Ltd., Kyiv, Ukraine
[3] SE «The State Scientific-Research Institute of Building Production» (SE SSRIBP), Kyiv, Ukraine
[4] SE «The State Scientific Technical Center for Nuclear and Radiation Safety» (SE SSTC NRS), Kyiv, Ukraine

COMPUTATIONAL-MODELING TECHNOLOGY FOR ASSESSING THE IMPACT OF PREDICTED DESTRUCTIVE PROCESSES IN CONCRETE ON THE BEARING CAPACITY OF BUILDING STRUCTURES

Abstract: *The discovery in recent years in the United States of the destructive processes in concrete of hydraulic structures (dams) and reinforced concrete contaminants of reactor halls of NPPs has led to great interest and attention to relevant processes as phenomena / factors that can significantly impair operational safety of facilities, in particular to lead to non-compliance with the requirements of nuclear and radiation safety for the operation of nuclear installations under the event of technological emergencies as well as under seismic influences. This issue is also relevant for Ukraine, where there are 15 NPP units under operation, and also more two units during a long time are under construction.*
It should be noted that currently known technologies for monitoring the technical state of building structures (BS) do not have tools for non-destructive testing of BS, which allow to reliably determine the belonging of the concrete of internal volume of BS to the degraded state and even more identify correctly the boundaries of degradation zones, the physical-chemical mechanism of occurrence and progression of degradation, the stage of development (evolution) of the process of the material destruction, etc.
Taking into account the above mentioned problem - the practical lack of tools and technologies to detect and assess the impact of internal massifs of damaged concrete on the overall serviceability of BS - the authors of article (in frames of the search study) have elaborated and approbated the calculative-model approach of determining of the degree of loss of serviceability (bearing capacity) of investigated structure for the case of the postulated conditions - the most probable and dangerous totality of geometric and physicochemical parameters inherent in structurally damaged concrete in the area of its localization in the BS. This approach - formalized as a computational-modeling technology / procedure - involves the implementation of a certain computational algorithm, the description and results of practical approbation of which are presented in the publication.
Key words: *concrete, building structures, corrosion, degradation, destruction of concrete, zone of degradation, serviceability, bearing capacity, computational-modeling technology.*

УДК 69.51

[1] Т.Л. Чебанов, кандидат технічних наук, доцент, ORCID: 0000-0002-8814-971X
[1] Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ПРО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗАЦІЇ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Анотація. *Проектування багатофункціональних технологічних систем базується на відомих теоріях дослідження операцій використання виробничих будівельних систем різного рівня та призначення, а також системотехніки, методів прийняття рішень та оптимізації. З урахуванням положень систем ефективності та надійності.*
Виробничі будівельні системи , як клас функціональних систем створюються, проектуються для реалізації певних задач, які можуть бути спеціалізованими (одна задача) або багатофункціональними (декілька задач)
Результатом формування таких систем є кінцевий корисний результат, який досягається шляхом взаємодії та , відповідно, взаємного впливу його учасників. Динаміка та здатність змінюватись в процесі реалізації систем забезпечується моделями , що мають похожі структури та набори показників і параметрів для предмету та продукту праці. Його головну складову можна показати як в вигляді систематизованих інформацій про явища та закономірності, що в них проявляються. Та утворюють теоретичні основи відповідного аспекту технології.
Декомпозіція складних систем на складові підсистеми з метою оптимізації їх елементів вирішується шляхом формалізації процедур проектування та створює метод проектування багатофункціональних систем.
Розширення універсальних можливостей будівельних та дорожних машин за рахунок оснащення їх додатковими змінними робочими органами дозволяє забезпечувати гнучкий підхід до проектування багатофункціональних технологічних систем.
Їх ефективність особливо проявляється при проектуванні та реалізації багатофункціональних систем при виконанні земляних робіт, робіт з благоустрою, а також зведенню агропромислових споруд із легких та особливолегких металевих конструкцій
Ключові слова: *будівельні технології; багатофункціональні системи; будівельні машини; спеціалізовані машини; універсальні машини; змінні робочі органи; динаміка виробничих процесів.*

Вступ

Не вимагає доказів твердження, що прогрес будь-якої технології безпосередньо забезпечується вдосконаленням її технічної складової - машин, обладнання, інструменту тощо.

Управління процесом удосконалення будівельних технологій передбачає насамперед наявність механізму, що дозволяє відстежувати реалії та тенденції в динаміці виробничих процесів. Його головна складова представляється у вигляді систематизованих знань про явища і проявляються в них закономірності, що утворюють теоретичні основи відповідного аспекту технології.

Прагнення надати універсальні властивості засобам механізації завжди було притаманне будівельному виробництву. Воно отримало додатковий імпульс у зв'язку із збільшенням обсягів розробок , виробництва та впровадження універсальних машин, а також розширенням універсальних можливостей традиційної техніки за рахунок її оснащення змінними робочими органами.

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз досліджень по розглядаємому питанню наведено в основній частині роботи

Постановка завдання, основна частина

Процес конструювання та виготовлення універсальних машин та змінних робочих органів здійснюється з урахуванням про раціональні технологічні схем використання, принципи організації роботи таких машин, виявлення області раціонального застосування, а також виявлення доцільної кількості робочих органів на одній базовій машині.

ЦНДІОМТП та ВНДІбуддормаш при розгляді досвіду та області застосування одноковшових навантажувачів [1] були наведені основні способи взаємодії ковша навантажувача з ґрунтовою масою та схеми використання фронтальних навантажувачів під час роботи разом із автотранспортом.Крім розгляду конструкцій змінних робочих органів (ЗРО) розглянуті питання прогнозування в визначенні їх потреби для багатофункціональних будівельних машин.

В роботі НДІБВ [2] розроблена методика вибору області ефективного застосування ЗРО універсальних будівельних машин для умов малооб'ємних розосереджених робіт.

Прийнявши як критерій оцінки економічної ефективності механізації окремих видів будівельно-монтажних робіт мінімум приведених питомих витрат на одиницю продукції, запропоновано зосередженість обсягів робіт визначати як відношення сумарного обсягу робіт до відстані і переміщення продукції та засобів механізації , а мобільність будівельних машин, - як відношенням швидкості перебазування до продуктивності .

При розробці технології реконструкції промислових підприємств були розроблені раціональні технологічні схеми застосування універсальних

машин у стиснених умовах. Запропоновані схеми роботи універсальних машин при розробці ґрунтів, зворотній засипці, розбиранні конструкцій (фундаментів, підлоги, стін та ін.) та інших процесів з використанням змінних робочих органів (ковшів, гідромолотів, бурового обладнання, спеціальних захватів тощо

У зв'язку з різким збільшенням на той час обсягів реконструкції підприємств, було прийнято рішення про виготовлення універсальних машин із змінними робочими органами, у тому числі і для машин малогабаритного виконання. Результотом цих рішень стало , зокрема, випуск базових машин малогабаритних навантажувачів на заводах Ленбудробіт, Дарницькому (м.Київ) та Бердянському машинобудівних заводах. З одним робочим органом, - фронтальним ковшем. Та можливістю приєднання інших робочих органів через спеціальну робочу рамку.

К. Н. Трубецький розробив теоретичні основи проектування та технологія застосування кар'єрних навантажувачів на відкритих гірничих виробітках [3].Грунтуючись на великій кількості результатів експериментальних досліджень (тисячі хронометражних та сотні тензометричних замірів) отримано основні кореляційні залежності, що характеризують умови та особливості виконання вантажних та вантажно-транспортних робіт мобільними потужними кар єрними навантажувачами. Показано вплив якості підготовки гірських порід на показники процесу їх розробки та продуктивність. В результаті вивчення робочого процесу та механізму взаємодії ковша навантажувача з розпушеною гірською масою різних розмірів кусків , а також з штучним негабаритним каменем на уступі виділено п'ять характерних режимів черпання по відокремленню від масиву гірської породи.

В силу своїх конструктивних особливостей, а також умов виконання робіт кар'єрні навантажувачі переважно спеціалізовані машини. Разом з тим значний діапазон щільності (густини) гірських порід, що розробляються (в основному, від 2,2 до 3,4 т/куб.м), визначає використання змінних робочих органів - ковшів різної місткості. Крім основного ковша, на замовлення споживача, кар'єрні навантажувачі є можливість оснащуватися змінними ковшами збільшеної та зменшеної місткості, а також ковшом для транспортних робіт .

Для умов транспортного будівництва С. Я. Луцьким у складі можливих організаційно-технологічних рішень розглянуто застосування універсальних машин. Відзначається, щ великим недоліком робіт при зведенні колійного господарства на малих розосереджених об'єктах є значні обсяги важкої фізичної праці робітників. Основним комплектом машин, який виконує балансування шляху на цих об'єктах, є комплект, до якого входять тракторний дозувальник, підйомник елементів колії , шпалопідбивальна машина та механізований інструмент (4)

Основні засади комплексної механізації будівельно- монтажних робіт розробив в НДІБВ М. С. Канюка. Вибір комплектів машин для комплексної механізації будівельно-монтажних пропонується здійснювати у два етапи (5) На першому етапі в залежності від об'ємно-планувальних конструктивних характеристик об'єкта або його частини, а також прийнятої технології виконання робіт, технологічної структури процесу або спеціалізованого потоку визначаються необхідні експлуатаційні параметри основних машин, їх типи та марки, а також перелік технологічно необхідних допоміжних машин та їх типи.

В якості однієї можливих схем комплексної механізації розглядається основна машина з комплектом навісного змінного обладнання .

На другому етапі проводиться вибір оптимального варіанта механізації

на підставі техніко-економічного порівняння показників - основних (собівартість та трудомісткість одиниць продукції механізованого процесу, тривалість виконання робіт, термін окупності капітальних вкладень на придбання машин) та додаткових (питомі показники маси, метало- та енерго-ємності, розраховані на одиницю годинної продуктивності комплекту машин , експлуатаційна надійність та мобільність машин тощо).

І. П. Кривцов досліджував виконання вантажнорозвантажувальних робіт на транспортному будівництві та залізничному транспорті універсальними кранами та навантажувачами 6]. Для порівняльної оцінки комплексного впливу характеристик трудових витрат та надійності використання обладнання запропоновано показник якості конструкції робочого органу , що дозволяє отримати кількісну оцінку якісних переваг конструктивної схеми вантажозахоплювального пристрою або методу його експлуатації.

Ю. М. Сосновський у роботі (7) підкреслює, що багатофункціональна мобільна машина, гнучко адаптується до різних технологічних процесів, найповніше відповідає критерію «ергономічності», тобто має максимум тих властивостей, які створюють умови для найбільшої реалізації власних і професійних можливостей людини-оператор. Виконано комплекс досліджень по ергономічному вдосконаленню машин з метою підвищення продуктивності та безпеки праці.

Ю. А. Вільман розробив (8] основи теорії вдосконалення технології будівельно-монтажних робіт шляхом широкого впровадження автоматизованих і роботизованих систем. Прогресивність технології запропоновано визначати зниженням ручної трудомісткості і зростанням продуктивних витрат машинного часу технічних засобів Збільшення останніх відбувається так, що сумарні витрати трудомісткості та машинного часу , що припадають на одиницю будівельної згідно з виразом продукції, що зменшуються

Значних результатів по розглядаємому питанню було досягнуто в Київському інженерно- будівельному інституті під керівництвом Бєлякова Ю.І. Дослідження проводились стосовно різних будівельних машин та механізмів з комплектом змінних робочих органів. В якості об єктів – представників було вибоано будівництво та реконструкція теплиць та тепличних комбінатів. Розвитку таких досліджень сприяло створення в 1988 році Мінвузом УРСР та Держагропромом СРСР на базі КІБІ та спеціалізованого тресту « Теплицьтехмонтаж» науково-дослідної лабораторії , що спеціалізувалась на дослідженнях та розробці технологій та засобів механізації при будів-

ництві та реконструкції теплиць. При цьому , як основні засоби механізації розглядались багатофункціональні машини та механізми.

Створено довідник по теплицям та тепличним комбінатам [9], де були використані оригінальні розробки та результати впровадження різних технологій виконання робіт. В розвиток цих досліджень на прикладі будівництва теплиць підготовлено монографію[10], де розглянуто універсальне використання машин в будівництві.

У роботі Л.П.Мотовилової [11] запропоновані технологічні схеми використання малогабаритних навантажувачів з найбільш характерними змінними робочими органами (навантажувальний ківш, зворотна лопата, гідробур, вила та ін) при виконанні малооб'ємних виїмок, вузьких траншей і т. п. При цьому особлива увага була приділено питанням застосування малогабаритних навантажувачів у обмежених умовах та при реконструкції підприємств, зокрема, було встановлено зміну продуктивності малогабаритного навантажувача залежно від глибини виїмки (при зворотній лопаті), кута повороту, виду ґрунту тощо, що дозволило запропонувати раціональні параметри забоїв навантажувачів, схеми їх використання [12].

У роботі [13] узагальнено результати багаторічних досліджень та запропоновано раціональні схеми використання навантажувачів у різних умовах, у тому числі в обмежених і при реконструкції підприємств. Велику увагу при цьому було приділено схемам використання малогабаритних навантажувачів вітчизняного та зарубіжного виробництва з різним змінним робочим обладнанням (гідромолот , гідробур, зворотна лопата, вантажні вила та ін.). Розглянуто також специфічні схеми використання малогабаритних навантажувачів під час будівництва та реконструкції теплиць.

Вивчення досвіду та аналізу застосування гусеничних одноківшевих навантажувачів , в т.ч. при будівництві Байкало – Амурської магістралі, запропоновано класифікацію та рекомендовані технологічні параметри ЗРО. Встановлені експрес - методи прогнозу техніко-економічних показників виконання робіт [14]

Для різних умов експлуатації розроблено економіко-математична модель вибору рапіональної області застосування навантажувачів багатоцільового призначення. Запропонована інженерна методика вибору технології виконання робіт навантажувачами з комплектом ЗРО [15]

Канд. техн . наук В. А. Галімуллін [16] в якості ефективного способу підготовки розробки мерзлих і міцних ґрунтів одноківшевим екскаваторами розроблено технологію руйнуванням ґрунтів та твердих покриттів, а також ущільнення останніх спеціальними насадками на піку гідромолота екскаватора .

В роботі канд.техн.наук В.Л.Хазанета [17] досліджено технологію виконання земляних та допоміжних робіт одноківшевими фронтальними навантажувачами типу ТО-18, ТО-25 і ДЗ-33 виробництва мінських заводів « Ударник» та НВО « Дормаш», а також напівповоротного навантажувача типу UN-050 (Чехія). Останній використовується з комплектом змінних робочих органів.

Підготовлено також декілька кандидатських дисертацій, довідників, рекомендацій [18,19] та популярна технічна література [20] по виконанню будівельно-монтажних робіт. Для умов нового будівництва та реконструкції.

П.П.Іваненко [21] в своїй роботі досліджував технології виконання найбільш трудоємних процесів при будівництві теплиць 3-го покоління Розроблено оригінальні технології та засоби механізації по монтажу фундаментів, металоконструкцій та систем опалення. Визначено область раціонального використання нових технологій.

А.А.Руденко [22] досліджував технології виконання будівельно-монтажних робіт при реконструкції теплиць. Розроблено технологія демонтажу-монтажу систем опалення , в тому числі виконання комплексу робіт по фарбуванню елементів конструкцій та систем.

Мотовилова Л.П. досліджувала технології виконання робіт малогабаритними навантажувачами [11,18]. В тому числі при зведенні фундаментів теплиць. Результати роботи також знайшла своє використання в практичному виробництві [19].

Умови та технології виконання робіт при значному розосереджені об’єктів будівництва тепличних господарств вивчала Бахаєва О.Б. [23].

Питання трансформації та адаптації будівництві розглянуто в працях Осіпова О.Ф. [24].Задачі забезпечення адаптивності технологічних схем полягають в обґрунтуванні та виборі методів та засобів, що забезпечують зменшення функціонального зв’язку між головним параметром технологічних систем та умовами їх функціонування.

При цьому, до основних методів та засобів адаптації відносять: збільшення функціональної інертності системи (резервування продуктивності та (або) оперативного часу);функціональне резервування цільової функції; структурне резервування елементів та взаємозв’язків.

Проектування адаптивних динамічних трансформующихся технологічних систем розглянуто на прикладі реконструкції будівель та споруд [25].

Розглянуто та названо умови ефективного використання адаптивних динамічних технологічних систем, що трансформуються:динамічний фронт робіт;безперервний та дискретний фронт робіт.

Коефіцієнт неоднорідності характеризує різні будівельно-технологічні характеристики об’єкту та фронту робіт за їх структурною величиною.

Розосередженість розглядається як рівень непродуктивних витрат часу на перебазування технологічної системи елементу на елемент фронту робіт.

Розглянуті дослідження , в основному, присвячені технології будівництва та реконструкції зимових блокових теплиць третього та четвертого покоління (класифікація автора) з огороджуючими конструкціями із скла.Технологія та засоби механізації зведення плівкових теплиць практично не досліджувалась. Пояснюється це наступним.

Плівкові теплиці на протязі тривалого часу розглядались як сезонні, допоміжні споруди , з примітивними архітектурно- конструктивними та інженерно- технологічними рішеннями. За останні десятиліття розвиток захищеного ґрунту взагалі і технології будівництва, зокрема, набув нового якіс-

ного змісту та наповнення.Викликано це, в перше чергу, значним збільшенням цін на енергоносії та необхідністю їх збереження.

Плівкові теплиці розглядалися, в основному, як сезонні споруди. З орієнтацією на регіони півдня нашої країни. В умовах високих цін на енергоносії, необхідність пошуку альтернативних джерел енергії для опалення теплиць, розглядається можливість переміщення спеціальних конструкцій теплиць між джерелами енергії. Наприклад, між сміттєзвалищами крупних та середніх міст, покладами ділової деревини тощо. Саме конструктивне рішення виконання металевих каркасів сучасних плівкових теплиць, а також огороджуючих конструкцій із плівки, дозволяє розглядати їх як таких, що здатні для переміщення шляхом їх демонтажу-монтажу.

На кафедрі будівельних технологій КНУБА продовжуються дослідження по технології зведення теплиць під керівництвом Тонкачеєва Г.М. Одним із вагомих результатів цієї роботи є участь спеціалістів кафедри у підготовці нової редакції ДБН В.2.2.2 - 2022 « Теплиці та парники» [26]

В роботі Т.Л. Чебанова [27] розглянуто основні архітектурні конструктивні та технологічні особливості сучасних плівкових теплиць. Нова авторська оригінальна класифікація теплиць розглядає їх різні особливості, що впливають на вибір способів виконання робіт та визначають особливості технології виконання будівельно-монтажних робіт. Показано, що найбільша трудоємкість виконання робіт має місце при влаштуванні фундаментів [28], несучого оцинкованого каркасу та елементів огорожи із спеціальної подвійної плівки з технологічним обладнанням по забезпеченню повітряного прошарку.

Розроблено методику та виконано експериментальні дослідження трудоємких процесів зведення теплиць. Обробка результатів роботи дозволила отримати кореляційні залежності основних технікоекономічних показників: трудоємкості, тривалості та вартості виконання робіт від ряду факторів, що характеризують конструктивні особливості теплиць, умови виконання робіт тощо.

Технологія монтажу-демонтажу фундаментів базується на їх відповідних конструктивних рішеннях. Це дозволяє забезпечити виконання робіт з окремо стоячими мікропалями-стійками, а також з елементами огороджуючих конструкцій, - ростверку, цоколю.

Процес монтажу-демонтажу несучих конструкцій металевого каркасу розглядається з одночасним влаштуванням огорожі – подвійної плівки із спеціальним повітряним прошарком [29] Оригінальна конструкція спеціального монтажного пристрою, захищена патентом України [30].

Висновки

1.Механізація багатофункціональних технологічних систем розглянуто на прикладі виконання земляних та транспортних робіт

2. Зведення агропромисловмх споруд із легких металевих конструкцій характеризується розосередженістю робіт, значними витратами ручної праці.Як ефективний спосіб виконання робіт розроблено та реалізовано на практиці технології використання універсальних машин з комплектом змінних робочих органів.

Література

1. Варфоломеев В. П., Гилула М. Д., Миловидов В. В. Прогнозирование потребности в сменном оборудовании для многофункциональных строительных машин. - М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1988. - 44 с.

2. Методические рекомендации по выбору съемного навесного оборудования универсальных строительных мащин в сельском строительстве. - К. : НИИСП, 1973- 58 с.

3. Трубецкой К. Н. Технология применения и параметры карьерных погрузчиков. - М. : Недра, 1985. - 264 с.

4. Луцкий С. Я., Смирнов В. С. Эффективность механизации транспортного строительства. - М. : Транспорт, 1982.- 191 с.

5. Комплексная механизация трудоемких работ в строительстве / Н. С. Канюка, А. В. Резуник, А. А. Новацкий- К.: Будівельник, 1981.- 232 с.

6.Кривцов И. П. Исследование сменных рабочих органов универсальных погрузчиков и кранов : Автореф, дис. ... д-ра техн. наук по специальности 05.05.04.Строительные и дорожные машины - Харьков, 1971.- 45 с.

7. Сосновский Ю. М. Научно-методические основы эргономической оценки и совершенствования мобильных бурильных и погрузочно-транспортных машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук:Фрунзе, 1988-57с.

8. Вильман Ю. А. Основы роботизации в строительстве. - М. : Высш. шк., 1989.-271 с.

9. Теплицы и тепличные хозяйства / Г. Г. Шишко, В. А. Потапов, Л. Т. Сулима, Л. С. Чебанов / Под ред. Г. Г. Шишко.- К. : Урожай, 1993,- 424 с.

10.Чебанов Л.С., Фролов А.В. Универсальное применение машин в строительстве. – К.: Будівельник, 1994. – 288с.

11. Мотовилова Л.П. Технология производства земляных работ малогабаритными погрузчиками: Автореф. дис. ...канд. техн. наук по специальности 05.23.08 Технология и организация строительства. - К., 1989.- 17 с.

12. Беляков Ю. И., Чебанов Л. С.,Мотовилова Л. П. Технические возможности малогабаритных погрузчиков //Механизация стр-ва.-1988.- № 2.- С. 17-18.

13.Чебанов Л. С. Повышение эффективности применения погрузчиков многоцелевого назначения в строительстве: Автореф. дис.... канд. техн. наук по специальности 05.23.08 Технология и организация строительства - К.: КИСИ, 1985.- 17 с.

14. Рекомендации по рациональному применению одноковшовых погрузчиков / Ю. И. Беляков, Л.С.Чебанов, Д. И. Анисимов и др.- М. : Главбамстрой, 1984.-- 78 с.

15. Чебанов Л.С. Эффективность применения погрузчиков в строительстве.- К. : Будівельник, 1987. - 80 с.

16. Галимуллин В. А. Технология разработки предварительно разрыхленных грунтов одноковшовыми экскаваторами: автореф. дис. ...канд. техн. наук по специальности 05.23.08 Технология и организация строительства.- К. : КИСИ, 1989.- 17 С

17.ХазанетВ.Л.Технология применения одноковшовых строительных погрузчиков со сменными рабочими органами: автореф. дис. ...канд. техн.наук по специальности 05.23.08 технология и организация строительства – К.: КИСИ, 1990. - 17 с.

18. Рекомендации по производству строительно-монтажных работ при реконструкции теплиц / Ю. И. Беляков, Л. С. Чебанов, А.А.Руденко и др. - К. : КИСИ, 1990.- 224 с.

19. Индустриализация строительства тепличных комбинатов и овощефруктохранилищ / П. Ф. Иваненко, И. С. Полисский, А. А. Руденко, Л. С. Чебанов:- К. :Урожай, 1989.- 120 с.

20.Иваненко П.Ф .Разработка и совершенствование технологии строительства теплиц: автореф. дисс. ....канд. техн. наук по спец. 05.23.08 технология и организация строительства. Киев: КИСИ, 1988.

22. Руденко А. А. Совершенствование технологии возведения и реконструкции теплиц: автореф. дис. ... канд. техн. наук по специальности 05.23.08 технология и организация строительства. - К.: КИСИ, 1991, - 17 С.

23. Бахаєва О.Б. Технологія зведення агропромислових споруд із легких металевих конструкцій.: автореф... канд. техн. наук по спец. 05.23.08 технологія і організація будівництва – Київ, КДТУБА, 1998. – 21с.

24. Осипов О.Ф. Система обгрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель: автореф. дис. д-ра техн. наук: спец. 05.23.08. «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва»/ О.Ф. Осипов. – Одеса, 2015, 49с.

25.Осипов А.Ф. Адаптивные динамически трансформирующиеся технологические системы. Методология проектирования организационно-технологических решений реконструкции зданий: монография/ А.Ф. Осипов. 2-е изд.доп.и испр.– К.: ЦП «Компринт», 2022. – 393 с.

26.ДБН В.2.2.2-2022 « Теплиці і парники»-К.:Мінрегіон України, 2022, 45с.

27.Чебанов Т.Л. Технологія зведення швидко-збірних та розбірних плівкових теплиць – автореф.дис.... канд. техн. наук по спец. 05.23.08 технологія і організація будівництва – Київ, КНУБА, 2020, – 21с.

28.Тонкачеєв Г.М., Чебанов Т.Л., Хохлачов М.Р. Технологія монтажу-демонтажу огороджуючих конструкцій плівкових теплиць/ Г.М. Тонкачеєв, Т.Л. Чебанов, М.Р. Хохлачов// Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – Київ: КНУБА, - 2018. - №35, - с. 166 – 173.

29.Тонкачеєв Г.М., Чебанов Т.Л. Спосіб монтажу покриття плівкової теплиці. – Патент України на корисну модель № 121386. Зареєстровано в Держреєстрі патентів України на корисні моделі 11.12.2017р.

References

1. Varfolomeev V. P., Gilula M. D., Milovidov V. V. Prognozirovanie potrebnosti v smennom oborudovanii dlya mnogofunkcionalnyh stroitelnyh mashin. - M. : CNIITEstrojmash, 1988. - 44 s.

2. Metodicheskie rekomendacii po vyboru semnogo navesnogo oborudovaniya universalnyh stroitelnyh mashin v selskom stroitelstve. - K. : NIISP, 1973- 58 c.

3. Trubeckoj K. N. Tehnologiya primeneniya i parametry karernyh pogruzchikov. - M. : Nedra, 1985. - 264 s.

4. Luckij S. Ya., Smirnov V. S. Effektivnost mehanizacii transportnogo stroitelstva. - M. : Transport, 1982.- 191 s.

5. Kompleksnaya mehanizaciya trudoemkih rabot v stroitelstve / N. S. Kanyuka, A. V. Rezunik, A. A. Novackij - K. : Budivelnik, 1981.- 232 s.

6.Krivcov I. P. Issledovanie smennyh rabochih organov universalnyh pogruzchikov i kranov: Avtoref dis. ... d-ra tehn. nauk po specialnosti 05.05.04.Stroitelnye i dorozhnye mashiny - Harkov, 1971.- 45 s.

7. Sosnovskij Yu. M. Nauchno-metodicheskie osnovy ergonomicheskoj ocenki i sovershenstvovaniya mobilnyh burilnyh i pogruzochno-transportnyh mashin: Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk: Frunze, 1988. - 57 s.

8. Vilman Yu. A. Osnovy robotizacii v stroitelstve. - M. : Vyssh. shk., 1989.-271 s.

9. Teplicy i teplichnye hozyajstva / G. G. Shishko, V. A. Potapov, L. T. Sulima, L. S. Chebanov / Pod red. G. G. Shishko.- K. : Urozhaj, 1993,- 424 s.

10.Chebanov L.S., Frolov A.V. Universalnoe primenenie mashin v stroitelstve / L.S. Chebanov, A.V. Frolov. – K.: Budivelnik, 1994. – 288s.

11. Motovilova L.P. Tehnologiya proizvodstva zemlyanyh rabot malogabaritnymi pogruzchikami: Avtoref. dis. ...kand. tehn. nauk po specialnosti 05.23.08 Tehnologiya i organizaciya stroitelstva. - K., 1989.- 17 c.

12. Belyakov Yu. I., Chebanov L. C.,Motovilova L. P. Tehnicheskie vozmozhnosti malogabaritnyh pogruzchikov // Mehanizaciya str-va.-1988.- № 2.- C. 17-18.

13. Chebanov L. S. Povyshenie effektivnosti primeneniya pogruzchikov mnogocelevogo naznacheniya v stroitelstve: Avtoref. dis.... kand. tehn. nauk po specialnosti 05.23.08 Tehnologiya i organizaciya stroitelstva - K.: KISI, 1985.- 17 s.

14. Rekomendacii po racionalnomu primeneniyu odnokovshovyh pogruzchikov / Yu. I. Belyakov, L.C.Chebanov, D. I. Anisimov i dr.- M. : Glavbamstroj, 1984.-- 78 c.

15. Chebanov L.C. Effektivnost primeneniya pogruzchikov v stroitelstve.- K. : Budivelnik, 1987. - 80 s.

16. Galimullin V. A. Tehnologiya razrabotki predvaritelno razryhlennyh gruntov odnokovshovymi ekskavatorami: avtoref. dis. ...kand. tehn. nauk po specialnosti 05.23.08 Tehnologiya i organizaciya stroitelstva.- K. : KISI, 1989.- 17 S

17. Hazanet V. L. Tehnologiya primeneniya odnokovshovyh stroitelnyh pogruzchikov so smennymi rabochimi organami: avtoref. dis. ...kand. tehn.nauk po specialnosti 05.23.08 tehnologiya i organizaciya stroitelstva – K.: KISI, 1990. - 17 s.

18. Rekomendacii po proizvodstvu stroitelno-montazhnyh rabot pri rekonstrukcii teplic / Yu. I. Belyakov, L. S. Chebanov, A.A.Rudenko i dr. - K. : KISI, 1990.- 224 c.

19. Industrializaciya stroitelstva teplichnyh kombinatov i ovoshefruktohranilish / P. Ivanenko, I.Polisskij, A.Rudenko, L.Chebanov:- K. :Urozhaj, 1989.- 120 s.
20.Ivanenko P.F .Razrabotka i sovershenstvovanie tehnologii stroitelstva teplic: avtoref. diss. ....kand. tehn. nauk po spec. 05.23.08 tehnologiya i organizaciya stroitelstva. / P.F. Ivanenko. Kiev: KISI, 1988. 22s.
21.Ivanenko P.P., Chebanov L.S.,Chebanov T.L. Tehnologiya vlashtuvannya fundamentiv teplic metodom vdavlyuvannya. / P.P. Ivanenko, L.S. Chebanov, T.L. Chebanov// Novi tehnologiyi v budivnictvi, № 33/1, Kiyiv – 2017, s. 69 – 74.
22. Rudenko A. A. Sovershenstvovanie tehnologii vozvedeniya i rekonstrukcii teplic: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk po specialnosti 05.23.08 tehnologiya i organizaciya stroitelstva. - K.: KISI, 1991, - 17 C.
23.Bahayeva O.B. Tehnologiya zvedennya agropromislovih sporud iz legkih metalevih konstrukcij.: avtoref... kand. tehn. nauk po spec. 05.23.08 tehnologiya i organizaciya budivnictva / O.B. Bahayeva. – Kiyiv, KDTUBA, 1998. – 21s.
27.Osipov O.F. Sistema obgruntuvannya ta viboru organizacijno-tehnologichnih rishen rekonstrukciyi budivel: avtoref. dis. d-ra tehn. nauk: spec. 05.23.08. «Tehnologiya ta organizaciya promislovogo ta civilnogo budivnictva»/ O.F. Osipov. – Odesa, 2015, 49s.
28.Osipov A.F. Adaptivnye dinamicheski transformiruyushiesya tehnologicheskie sistemy. Metodologiya proektirovaniya organizacionno-tehnologicheskih reshenij rekonstrukcii zdanij: monografiya/ A.F. Osipov. 2-e izd.dop.i ispr.– K.: CP «Komprint», 2022. – 393 s.
29.DBN V2.2.2-2022 « Teplici i parniki» - K.: Minregion Ukrain, 2022, -45s
30. Chebanov T.L. Tehnologiya zvedennya shvidko-zbirnih ta rozbirnih plivkovih teplic – avtoref.dis.... kand. tehn. nauk po spec. 05.23.08 tehnologiya i organizaciya budivnictva – Kiyiv, KNUBA, 2020, – 21s.
28.Tonkacheyev G.M., Chebanov T.L., Hohlachov M.R. Tehnologiya montazhu-demontazhu ogorodzhuyuchih konstrukcij plivkovih teplic/ G.M. Tonkacheyev, T.L. Chebanov, M.R. Hohlachov//Shlyahi pidvishennya efektivnosti budivnictva v umovah formuvannya rinkovih vidnosin. – Kiyiv:KNUBA,-2018. - №35,s.166 – 173.
29.Tonkacheyev G.M., Chebanov T.L. Sposib montazhu pokrittya plivkovoyi teplici. – Patent Ukrayini na korisnu model № 121386. Zareyestrovano v Derzhreyestri patentiv Ukrayini na korisni modeli 11.12yu2017r.

[1] T. Chebanov Ph.D ORCID: 0000-0002-8814-971X
[1] Kyiv National University, whose construction and architecture, Kyiv

ON RESEARCH OF THE MECHANISM OF MULTIFUNCTIONAL TECHNOLOGICAL BUILDING SYSTEMS

Abstract. *The design of multifunctional technological systems is based on well-known theories of operations research using production building systems of various levels and purposes, as well as system engineering, decision-making and optimization methods. Taking into account the provisions of efficiency and reliability systems.*
Production building systems, as a class of functional systems, are created and designed to implement certain tasks, which can be specialized (one task) or multifunctional (several tasks)
The result of the formation of such systems is the final useful result, which is achieved through interaction and, accordingly, the mutual influence of its participants. Dynamics and the ability to change in the process of system implementation are provided by models that have similar structures and sets of indicators and parameters for the subject and product of work. Its main component can be shown in the form of systematized information about the phenomena and patterns that manifest in them. They form the theoretical foundations of the relevant aspect of technology.
The decomposition of complex systems into component subsystems in order to optimize their elements is solved by formalizing design procedures and creates a method of designing multifunctional systems.
Expanding the universal capabilities of construction and road machines by equipping them with additional interchangeable working bodies allows for a flexible approach to the design of multifunctional technological systems.
Their effectiveness is especially evident in the design and implementation of multifunctional systems during earthworks, landscaping works, as well as the construction of agro-industrial structures from light and especially light metal structures
Keywords: *construction technologies; multifunctional systems; construction machines; specialized machines; universal machines; variable working bodies; dynamics of production processes*

УДК 528

[1] **А.В. Ковров,** д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-9408-3246;
[2] **О.М.Нахмуров,** к.т.н., професор, ORCID: 0000-0003-1081-8140;
[3] **Н.Ю. Шишкалова,** ст. викладач, ORCID: 0000-0003-1749-5428;
[4] **В.В. Захарчук,** ст. викладач, ORCID: 0000-0002-0370-4113;
[5] **В.В. Стадніков,** к.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-2479-9780
[1, 2, 3, 4, 5] Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

ПІСЛЯАВАРІЙНІ ГЕОДЕЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Анотація. *Величний, старовинний шестиповерховий будинок, що займав більше половини кварталу на розі вулиць Троїцької і Пушкінської в центрі Одеси зазнав руйнації внаслідок пожежі і її гасіння. Згоріли всі міжповерхові перекриття і покрівля. Будинок в своїх верхніх поверхах зі сторони фасаду втратив несучу здатність. З міркувань безпеки стіни до третього поверху були демонтовані. Кількісна оцінка наявних деформацій та прогнозування наступних можливих деформацій і підготовка гарантованих рекомендацій по подальшому використанню об'єкта вимагає проведення геодезичного моніторингу. Ще у 1913 році на місці будинку Г. Грінвальд (1832р. арх. І.С. Козлов), на розі вулиць Пушкінської та Троїцької було розпочато будівництво величезного на ті часи, прибуткового будинку для тютюнового фабриканта К. Асвадурова. У будинку Г. Грінвальд на початку 1910-х років перебувала картонна фабрика міщанина Юдкі Ізраїлевича Каплана. Будинок належить до архітектурної пам'ятки місцевого значення.*
Досвід геодезичного моніторингу, виконаного Науково-дослідною лабораторією Одеської державної академії та архітектури (далі ОДАБА) «Геодезичне забезпечення будівництва та реконструкції будівель і споруд» на численних об'єктах Одеси, та рекомендації кафедри «Геодезії та землеустрою», підготовлені з використанням сучасного математичного апарату, дозволили своєчасно вжити заходів із забезпечення подальшої безаварійної експлуатації цих споруд.

Ключові слова: *геодезичний моніторинг, деформаційні марки, нівелювання, осідання, цикл спостережень, крен, нівелір, тахеометр.*

Вступ (постановка проблеми)

Підвалини досліджуваної будівлі розміщені на лесових ґрунтах. Просідаючі породи та основні їх представники - лесові ґрунти, що широко розповсюджені в Україні, займають більше 80% її території.

Лесові ґрунти за гранулометричним складом містять більше 50% пилуватих (розміром 0,05 - 0,005 мм) частинок, легко- та середньо-розчинні солі і карбонати кальцію. Характерні ознаки цих ґрунтів: палевий (світло-жовтий) колір, велика пористість (часто помітна неозброєним оком), борошнистість на дотик. Особливістю лесів є їхня здатність просідати (опускання поверхні) при замочуванні внаслідок до ущільнення. Лесові ґрунти легко розмокають і розмиваються, а при повному водонасиченні можуть переходити в пливунний стан.

У сухому стані леси відзначаються великою міцністю і можуть слугувати надійними основами, але при замочуванні можуть викликати просідання, часто нерівномірні, на схилах - зсуви.

Умови, що необхідні для прояву просідання:

1) наявність навантаження, здатного при зволоженні перевищити сили зчеплення ґрунту;

2) достатнє зволоження, при якому в значній мірі знижується міцність ґрунту.

Виникнення нерівномірних просідань, що загрожує споруді руйнівними деформаціями, можливі саме через гасіння пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тільки кількісна оцінка, отримана геодезичними спостереженнями, гарантує безпеку щодо подальшої безаварійної експлуатації або знесення будівлі.

Досвід геодезичного моніторингу, виконаного Науково-дослідною лабораторією Одеської державної академії та архітектури (далі ОДАБА) «Геодезичне забезпечення будівництва та реконструкції будівель і споруд» на численних об'єктах Одеси, та рекомендації кафедри «Геодезії та землеустрою», підготовлені з використанням сучасного математичного апарату, дозволили своєчасно вжити заходів із забезпечення подальшої безаварійної експлуатації цих споруд.

Мета та завдання

Для вирішення питання доцільності реконструкції будинку для подальшої експлуатації або його знесення було прийнято рішення про систематичні геодезичні спостереження за планово-висотним положенням будинку та його змінами з метою кількісної оцінки деформацій, що виникли в результаті пожежі і наслідків по її ліквідації, і прогнозування можливих подальших деформацій.

Матеріали та методика досліджень

В центральній частині міста Одеси на перехресті вулиць Троїцької та Пушкінської знаходиться пам'ятка архітектури - шестиповерховий прибутковий будинок К. Асвадурова, який побудований у 1914р.(рис.1-2)

Рис. 1. Прибутковий дім К.Асвадурова 1914 рік

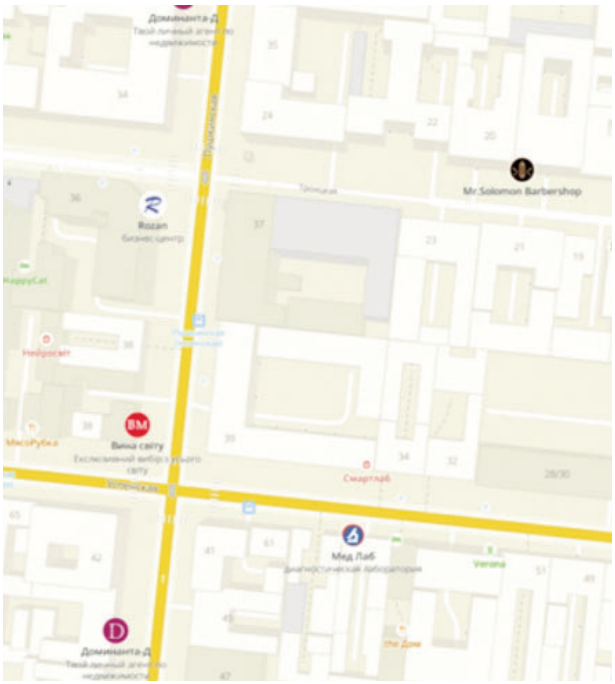


Рис. 2. Розташування будинку по вул. Троїцька,25

Рис. 3. Пожежа 4 грудня 2019 року по вул. Троїцькій, 25

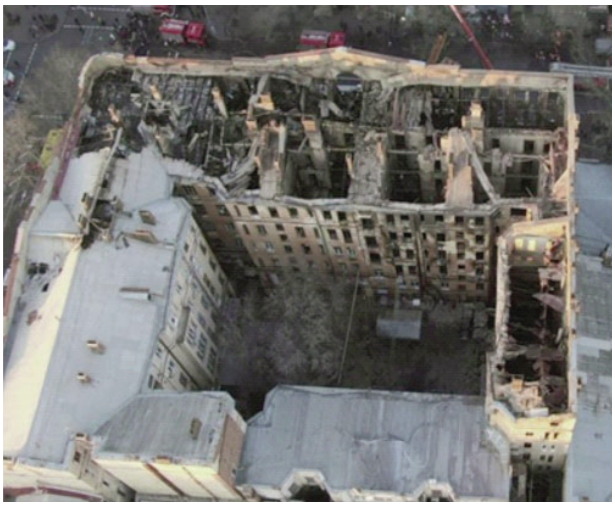


Рис. 4. Аварійний стан будинку К.Асвадурова після пожежі

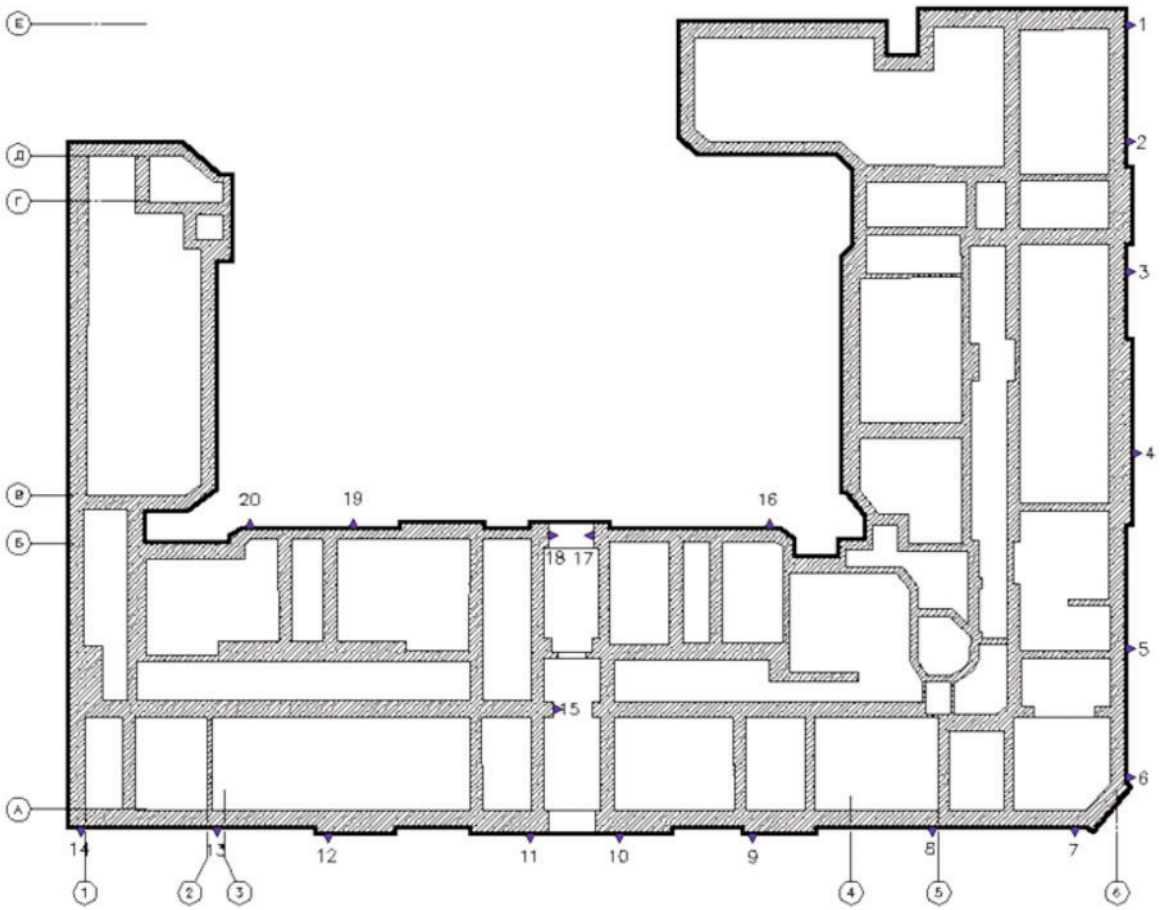


Рис.5. Схема встановлення деформаційних марок на будинку К. Асвадурова по вул. Троїцька, 25

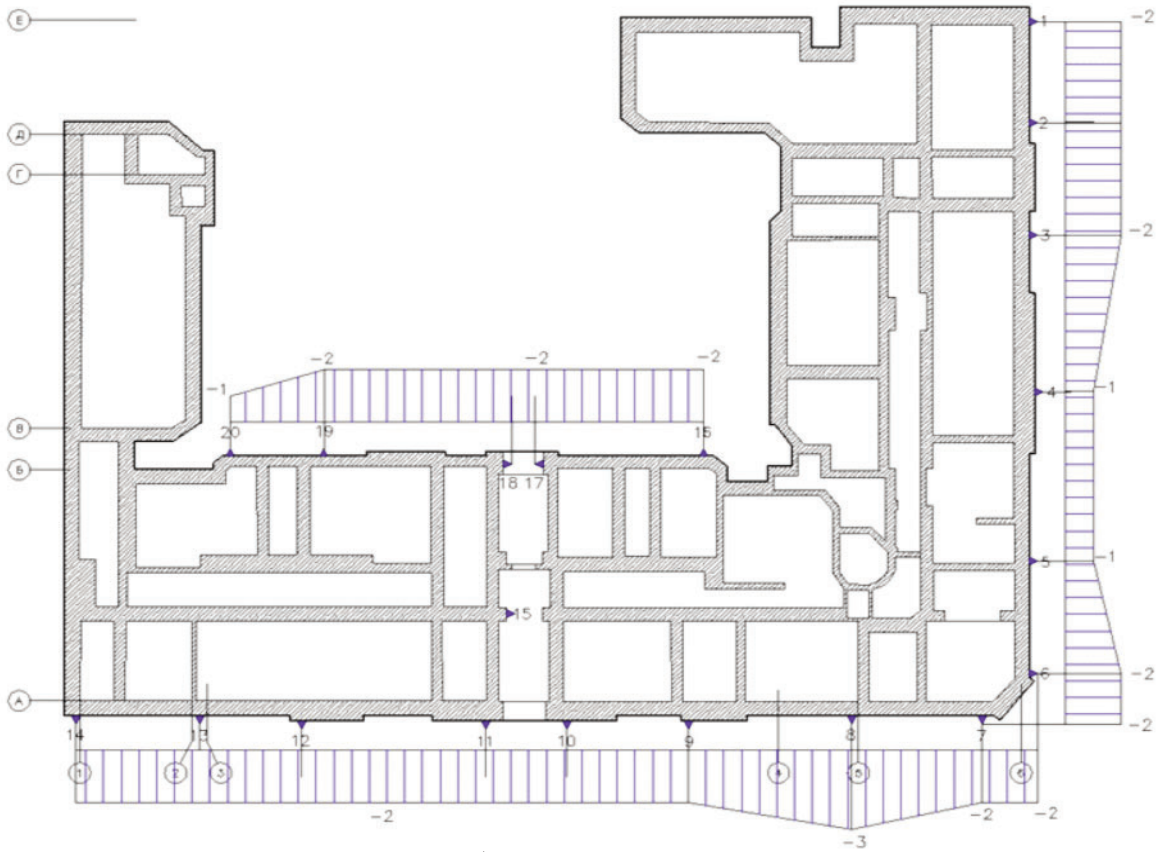


Рис. 6. Епюри деформації будинку К. Асвадурова по вул. Троїцькій, 25
у м. Одеса за весь період геодезичних спостережень з 01.02.2020 по 07.08.2020 рр.

Рис. 7. Визначення крену будинку К. Асвадурова по вул. Троїцька, 25

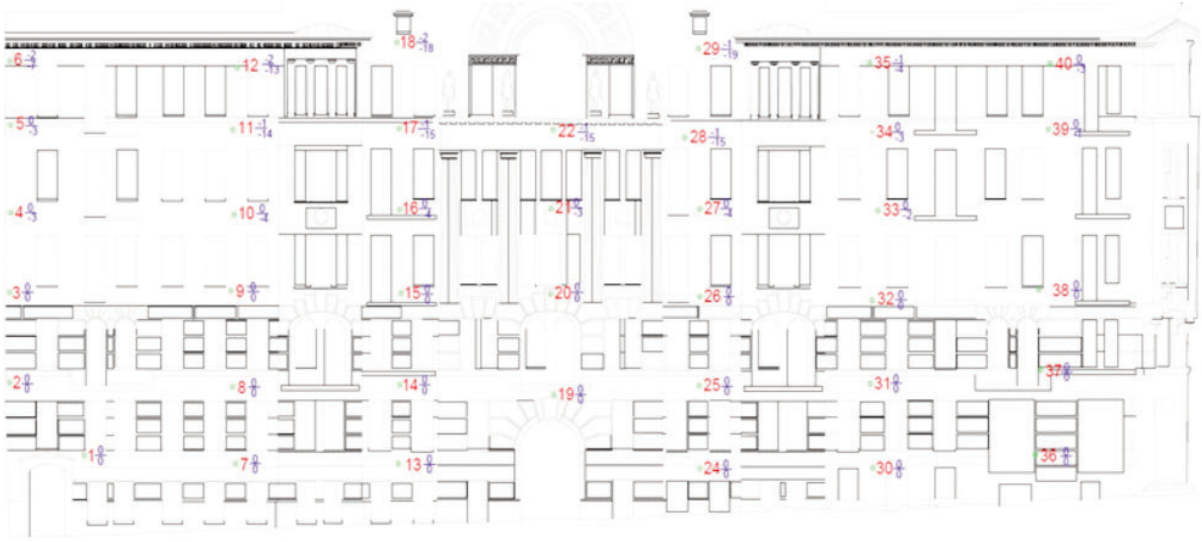


Рис. 8. Схема відхиленя марок на головному фасаді будинку К. Асвадурова по вул. Троїцькій, 25

Останнім часом у будинку розміщувались: Одеський коледж економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу, інститут морської біології НАН України, Одеська філія інституту археології НАН України та деякі інші.

4 грудня 2019 року історична будівля зазнала значних руйнувань в результаті масштабної пожежі. 20 грудня Прем'єр-міністр України О. Гончарук повідомив, що пожежа сталася внаслідок займання побутового електрообладнання на третьому поверсі у приміщені коледжу, а «основними причинами є недбале ставлення керівництва та персоналу коледжу до протипожежної безпеки». В коледжі були відсутні пожежна сигналізація та в окремих кімнатах вогнегасники (рис.3).

Через вогонь та дії по гасінню пожежі будинок зазнав суттєвих руйнівних деформацій і опинився в аварійному стані (рис. 4).

Для вирішення питання її знесення чи реконструкції для подальшої експлуатації Лабораторії ОДАБА було доручено Одеською міською радою проведення геодезичного моніторингу просторово-часового стану будівлі.

Для спостережень за осіданням була створена вимірювальна мережа, яка складається з 20 деформаційних марок, закріплених на рівні цоколя будинку (рис.5), і нерухомих грунтових реперів.

Нівелювання деформаційних марок виконувалось за програмою нівелювання II класу електронним нівеліром DINI – 12. Було виконано 4 цикли спостережень з 15.01.2020 до 11.09.2020 рр.

Оскільки осідання марок визначились відносно першого (вихідного) вже післяаварійного циклу від 15.01.2020 року то реально було зафіксоване те саме осідання, викликане аварією, а тенденція - до подальшого осідання будинку. (рис.6)

Більш реальну картину післяаварійної зміни просторового положення будинку дають спостереження за кренами стін будинку, яке виконувалось методом координат електронним тахеометром Sokkia FX 102. Виміри виконувались в умовній системі координат.

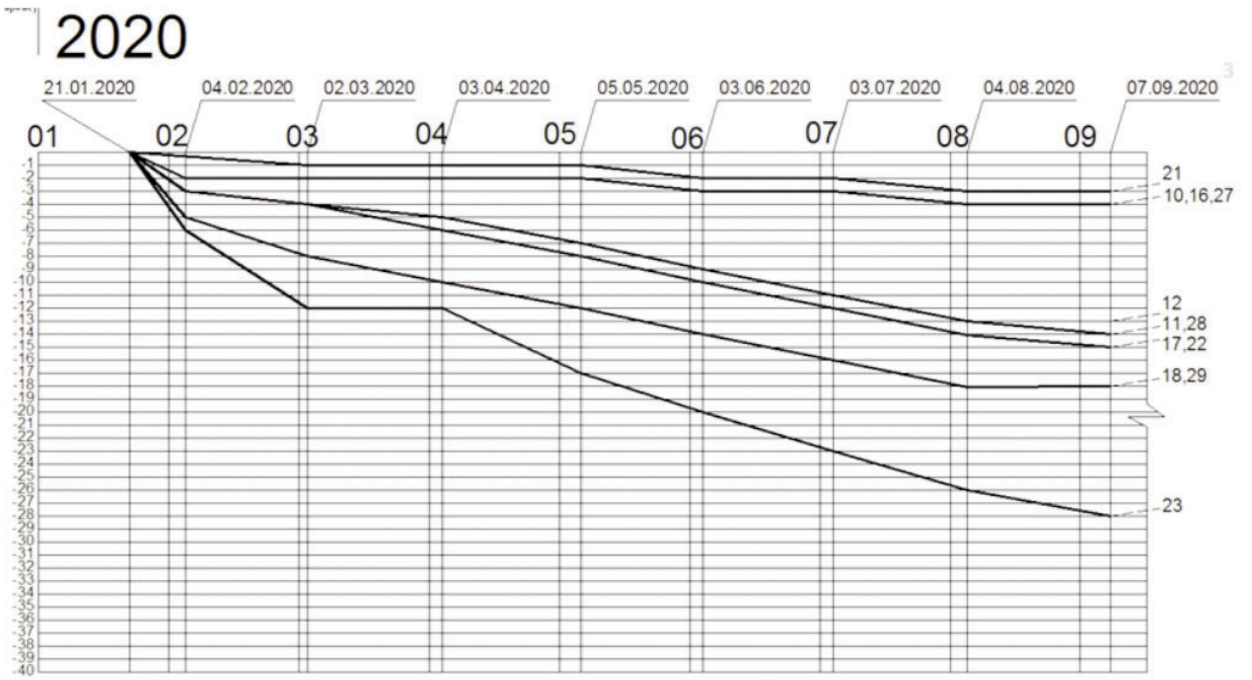


Рис. 9. Графік горизонтального переміщення характерних світловідбивних марок у часі

Результати досліджень

Проведено тахеометричне знімання головного і дворового фасадів, після чого за допомогою методів і прийомів роботі в програмі AutoCAD Civil 3D по крайнім нижнім фактичним відміткам стін побудовано умовну вертикальну площину, від нуля якої були розраховані всі відмітки.

З метою підвищення точності геодезичних вимірювань на головному фасаді закріплені світловідбивні деформаційні марки.

У зв'язку з неможливістю встановлення деформаційних марок на стінах дворового фасаду тахеометричне знімання виконувалось у безвідбитковому режимі.

Всього за період з 07.08.2020 по 11.09.2020 рр. виконано 4 цикла геодезичних спостережень за осіданням і 8 циклів за креном стін головного і дворового фасадів.

Аналіз отриманих результатів геодезичних спостережень свідчить про те, що максимальні відхилення від вертикалі мають місце деформаційні марки середньої частини головного фасаду (рис. 7-8), які складають від 0 до 228 мм. При цьому максимальні переміщення має деформаційна марка Дм 23, яка облаштована на верхній частині фронтону (228 мм). Слід зазначити що стіни першого та другого поверхів мають нульовий крен (вертикальні).

На рис. 9 приведений графік переміщення характерних деформаційних марок головного фасаду за період з 21.01. по 07.09.2020 р. За час спостережень має місце практично прямолінійна залежність горизонтального переміщення деформаційних марок у часі.

За період з 21.01. по 07.09.2020 р. крен стін дворового фасаду будівлі збільшився на 3-7 мм.

Осідання будинку за період останнього циклу геодезичних спостережень з 07.08.2020 по 11.09.2020 рр. коливається в межах від 0 до -1 мм.

Осідання будівлі за весь період геодезичних спостережень з 15.01.2020 по 07.08.2020 рр. коливається в межах від +1 до -2 мм.

Максимальна величина крену стіни головного фасаду від підлоги 3-го поверху до верху фронтону складає 227 мм. Таким чином, відносна величина крену на цій ділянці складає 0,012, що у 2,5 рази перевищує допустиму. Із рис. 8, на якому приведена залежність переміщення характерних деформаційних марок стіни головного фасаду у часі, має місце відсутність її стабілізації. Таким чином, стіна головного фасаду потребує постійного геодезичного спостереження.

Крен стін дворового фасаду знаходиться у межах допустимих нормативними документами, але також при відсутності стабілізації потребують постійного геодезичного моніторингу.

Висновок

Підвалини будинку К. Асвадурова на лесових ґрунтах при гасінні пожежі було вилито значну кількість води, що скоріш за все призвело до просідання будинку. Але оскільки до аварії геодезичні спостереження не проводились, то зараз фіксується лише деформаційні тенденції культурної спадщини місцевого значення.

Література

1. ДБН В.2.1-10-2009 «Основи і фундаменти будівель та споруд».
2. ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві». Київ, Мінрегіон України, 2010. – 49 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 «Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд»
4. ДБН А.2.1-1-2014 «Інженерні вишукування в будівництві»
5. ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи в будівництві». Київ, Мінрегіон України, 2018. – 32 с.
6. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 «Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд». Київ, Мінрегіон України, 2015. – 29 с.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., «Недра», 1974. 160 с.

References

1 DBN V.2.1-10-2009 «Osnovy i fundamelty budyvel ta sporud».
2 DBN V.1.3-2:2010 «Geodezyichni roboti u budivnicztvi». Kiyiv, Minregion Ukrayini, 2010.
3 DSTU B V.2.1-302014 «Metody Vymiriuvannia Deformatsii Osnov Budynkiv I Sporud»
4 DBN A.2.1-1-2014 «Inzhenerni Vyshukuvannia V Budivnytstvi»
5 DBN V.1.3-2:2010 «Sistema zabezpechennya tochnosti geometrichnix parametriv u budivnicztvi. Geodezichni roboti v budivnicztvi». Kiyiv, Minregion Ukrayini, 2018.
6 DSTU B V.2.1-30:2014 «Grunti. Metodi vimiryuvannya deformacij osnov budinkiv i sporud». Kiïv, Minregion Ukraïni, 2015.
7 Instrukciya po nivelirovaniyu I, II, III et IV klassov. Moscow, Nedra, 1974.

[1] **A.V. Kovrov,** d.t.s., Professor, ORCID: 0000-0001-9408-3246;
[2] **O.M. Nakhmurov,** PhD, Professor, ORCID: 0000-0003-1081-8140;
[3] **N. Y. Shyshkalova,** senior lecturer, ORCID: 0000-0003-1749-5428;
[4] **V. V. Zakharchuk,** senior lecturer, ORCID: 0000-0002-0370-4113;
[5] **V.V. Stadnikov,** PhD, Professor, ORCID: 0000-0002-2479-9780
[1, 2, 3, 4, 5] Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa

AFTER EMERGENCY GEODESIC OBSERVATIONS

Annotation. *The majestic, ancient six-story house, which occupied more than half of the block at the intersection of Troitskaya and Pushkinskaya streets in the center of Odessa, collapsed as a result of a fire and its extinguishing. All floors and roofs burned down. The house in its upper floors from the side of the facade has lost its bearing capacity. For security reasons, the walls to the third floor were dismantled. Quantitative evaluation of existing deformations and prediction of the further possible deformations and preparation of the guaranteed for the further use of the object requires geodetic monitoring. Back in 1913 at the place where the house of G. Greendewald (1832 architect IS Kozlov) stood, on the corner of Pushkinskaya and Troitskaya streets, the reconstruction of the huge at the time revenue house for the tobacco manufacturer K. Asvadurov began. In the early 1910 in the house of G. Greende wald there was a cardboard factory of a burgher Yudka Izrailevich Kaplan. The house belongs to the architectural monument of local significance.*

The experience of geodetic monitoring carried out by the Research Laboratory of the Odessa State Academy of Architecture (hereinafter ODABA) "Geodesic support of the construction and reconstruction of buildings and structures" at numerous objects in Odessa, and the recommendations of the Department of "Geodesy and Land Management", prepared using modern mathematical apparatus , made it possible to take measures in a timely manner to ensure the further trouble-free operation of these facilities.

Key words: *geodetic monitoring, deformation marks, leveling, precipitation, observation cycle, roll, level, tacheometer.*

УДК 666.97 (075.8)

[1] Таха Лотфі, аспірант, orcid.org/0000-0002-3489-911X
[1] Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків,

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧОГО РЕЖИМУ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ З ДОБАВКАМИ ЗОЛИ-УНОСА І МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ НА МІЦНІСТЬ БЕТОНУ

Анотація. *Розглянуто аспекти розширення сфери застосування неармованих виробів, зокрема, труб з достатніми показниками міцності, підтверджено об'єктивну необхідність розробки відповідних складів бетону та технології ущільнення, а також номенклатури та параметрів добавок. У статті викладено тенденції підвищення характеристик міцності бетону за рахунок раціоналізації способів ущільнення бетону із застосуванням відходів. Підтверджено, що для матеріалу труб необхідним є забезпечення підвищеної міцності виробу на розтяг. Після ущільнення є необхідним видалення рідини з бетону, що забезпечує максимальне зближення та об'єднання частинок твердої фази. Для визначення впливу кожного з факторів дослідження міцності бетону на розтяг використано метод ітерацій. Розглянуті способи ущільнення бетонної суміші, відповідно до особливостей та реологічних властивостей яких при ущільненні реалізуються два принципи: видалення зайвого залученого повітря та надлишкової води з малорухливих і жорстких сумішей зовнішнім впливом та видалення повітря з високорухливих сумішей. Особливу увагу приділили технології ущільнення пресуванням, вакуумуванням та вібровакуумуванням. Зразки бетону, що ущільнений пресуванням та вібровакуумуванням, забезпечили одержання бетону практично однакової структури з ущільненням усіх складових. Наведено результати випробувань, електронна мікроскопія цементного каменю, рентгенограми, отримані при різних способах ущільнення. Зафіксовано збільшення ступеня кристалічності за рахунок більшої швидкості досягнення пересичення рідкої фази цементного тесту при гідратації. При обробці результатів досліджень проведено регресійний аналіз, отримано аналітичні моделі прогнозування параметрів. Отримано результати, що дрібнозерниста бетонна суміш при ущільненні пресуванням забезпечує підвищення міцності за умови пресування шарами.*
Ключові слова: *бетон, технологія, добавка, відходи, міцність, ущільнення.*

Вступ

Сьогодні великий потенціал має тенденція до оптимізації параметрів бетонних виробів. Розвиваючись у цьому напрямі, необхідно покращувати показники міцності бетону під час сприйняття зовнішніх навантажень. Для розширення області застосування неармованих виробів з достатніми показниками міцності існує об'єктивна необхідність розробки відповідної складів бетону та технології ущільнення, а також номенклатури та параметрів добавок [1, 2].

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Мікрокремнезем застосовується як високоактивна мінеральна добавка до бетону і цементу [3] і призначена для приготування бетонів високих класів за міцністю і марок водонепроникності, а також високої корозійної стійкості. Зола-унос Зміївської ТЕС – тонкодисперсний матеріал, що складається з мікроскопічних частинок розміром від сотих часток мікрона до 0,14 мм, що утворюється з мінеральної частини твердого палива. За допомогою електрофільтрів зола уловлюється і в сухому стані відбирається золовідбірниками на виробничі потреби або разом із водою та шлаком пускається на золовідвал. Зола-унос складається в основному зі скляних сферичних частинок з варіацією вмісту кальцію та заліза [5-7].

Постановка задач

Відповідно до проведених досліджень Вандоловського А.Г. та Юніса Б.М. [6, 7] для матеріалу труб необхідним є забезпечення підвищеної міцності матеріалу на розтяг (Rbt). Теоретичному обґрунтуванню було піддано способи підвищення цього показника: вдосконалення технології (спосіб ущільнення), варіативність складу, запровадження ефективних добавок.

Були розглянуті способи ущільнення бетонної суміші, відповідно до особливостей та реологічних властивостей яких при ущільненні реалізують два принципи: видалення зайвого залученого повітря та надлишкової води з малорухливих і жорстких сумішей силовим зовнішнім впливом та видалення повітря з високорухливих сумішей [8, 9].

Виклад основного матеріалу

Технологія ущільнення пресуванням. Одним із ефективних методів ущільнення дрібнозернистого бетону є пресування. При цьому методі знижуються сили внутрішнього тертя, в'язкість та структурна міцність суміші, в результаті великі зерна суміші розміщуються найбільш щільно, а порожнечі між ними заповнюються цементним розчином. У процесі ущільнення рідкої фазі (вода) відбувається ряд перетворень. Три шари у структурі рідини: адсорбційний (міцно пов'язана рідина у вигляді подвійного електричного шару); дифузійний (рихлозв'язана рідина структурована слабше, ніж адсорбційний); вільна рідина (будова вільної води звичайна - у процесі пресування грає роль мастила, забезпечуючи вільне переміщення та зближення частинок твердої фази).

Після пресування необхідно її видалення, що

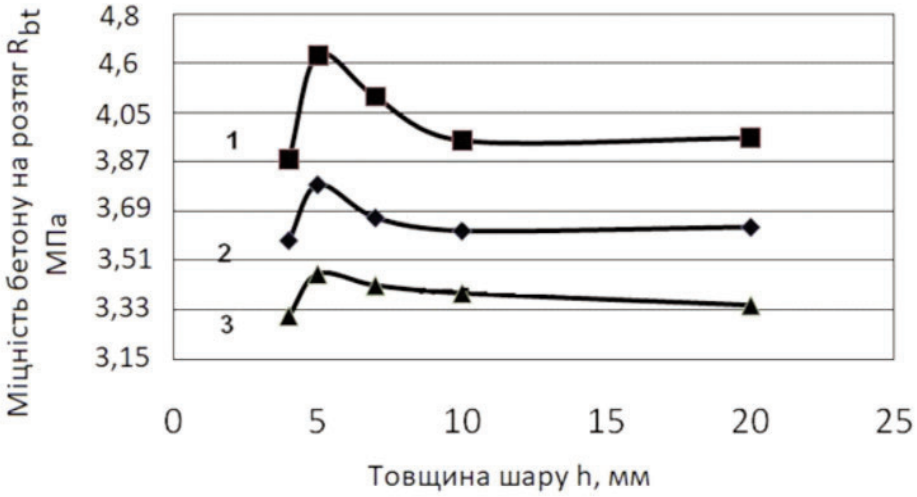


Рис. 1. Вплив товщини шару пресування бетону на міцність на розтяг (R_{bt}):
1 В/Ц= 0,5; 2 В/Ц= 0,4; 3 В/Ц= 0,65

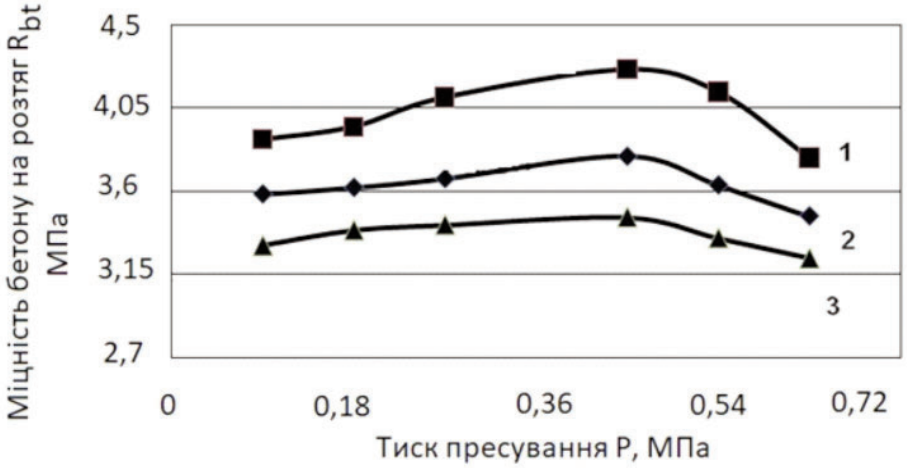


Рис. 2. Залежність міцності на розтяг R_{bt} від тиску пресування Р:
1 В/Ц= 0,5; 2 В/Ц= 0,4; 3 В/Ц= 0,65.

забезпечує максимальне зближення та об'єднання через адсорбційну та рихлозв'язану рідину частинок твердої фази. Для визначення впливу кожного з факторів дослідження міцності бетону під час розтягу проводилося методом ітерацій. Високий рівень ущільнення бетонної суміші характеризується коефіцієнтом ущільнення 0,98÷1,0. Для проведення випробувань міцності бетону, ущільненого пресуванням, був виготовлений пуансон, що входить у форму «вісімки» із зазором 1мм. При ущільненні варіювалися: В/Ц, тиск Р і товщина шарів *h*. Результати випробувань представлені на рис. 1. Залежність $R_{bt}=f$(В/Ц) представлена рівнянням регресії:

$$R_{bt}= - 0.0649h^2+1.6211h+37.35 \qquad (1)$$

Встановлено вплив товщини пресованого шару та тиску пресування на міцність бетону. Визначено область їх оптимальних значень (рис. 2), в результаті отримано рівняння регресії:

$$R_{bt}=-0.4291P^2+3.444P+39.507 \qquad (2)$$

Технологія ущільнення вакуумуванням та вібровакуумуванням. Зважаючи на те, що методом пошарового пресування фасонні частини виготовити неможливо, досліджено можливість виготовлення таких виробів з ущільненням бетонної суміші вібрацією, для того, щоб міцність провіброваного бетону відповідала міцності пресованого, розглянута можливість віброущільнення у поєднанні з вакуумуванням.

Вібровакуумування забезпечує позитивні властивості бетону як інтенсивне зростання міцності в початковий період твердіння, скорочення часу на теплову обробку виробів, зменшення металомісткості технологічного обладнання тощо [8]. Для ущільнення бетонних сумішей амплітуда коливань знаходиться в межах 0,3ч0,7 мм при частоті коливань близько 3000 за хвилину. Було досліджено вплив В/Ц та часу вакуумування на міцність при розтягуванні (рис. 3, 4).

На рис. 5 представлена електронна мікроскопія цементного каменю, що отримано при різних способах ущільнення бетонної суміші.

Представлені фото показують, що зразки бетону, ущільненого пресуванням та вібровакуумуванням, забезпечують одержання бетону практично однакової структури з ущільненням усіх складових.

Також було проведено рентгенівські дослідження (установка ДРОН-2,0 в випромінюванні Си, котрі

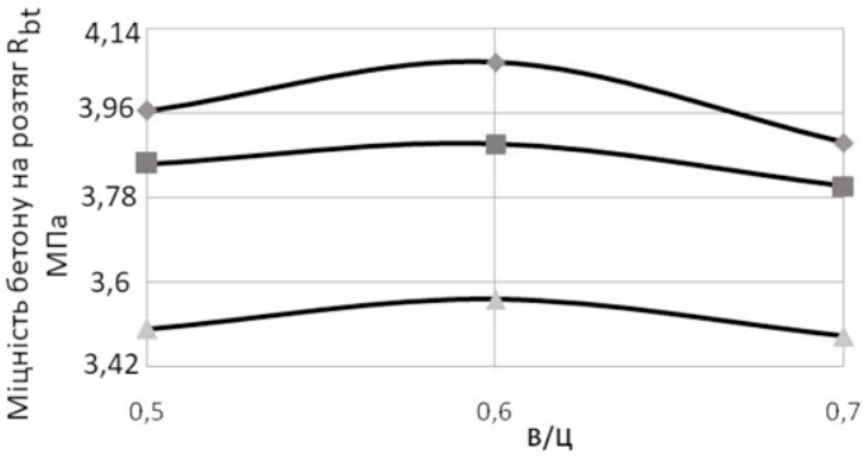
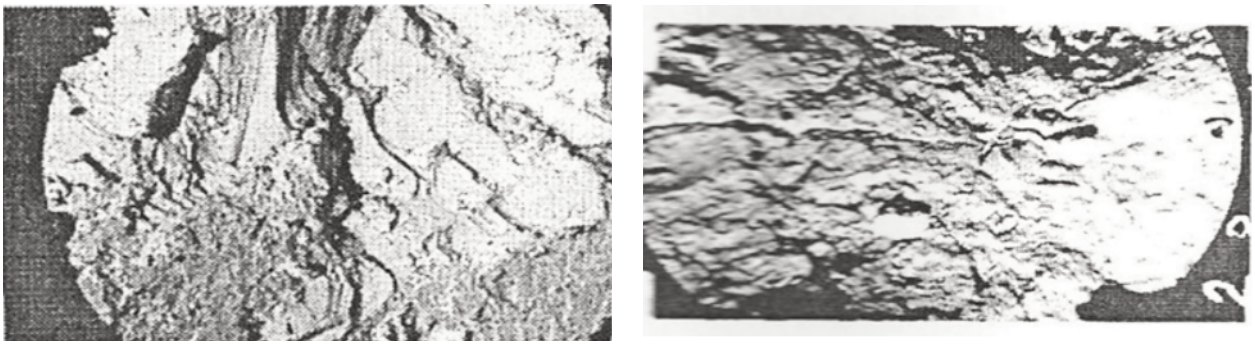


Рис. 3. Вплив В/Ц на міцність на розтяг при ущільненні вібровакуумуванням:
1 тривалість вакуумування 1 хв.; 2 – те ж, 3 хв.; 3 – те ж, 2 хв.



а) б)

Рис. 5. Електронна мікроскопія цементного каменю дрібнозернистих бетонів, ущільнених:
а) пресуванням, б) вібровакуумуванням

проводились з метою виявлення та ідентифікації кристалічних фаз в продуктах гідратації (рис. 6).

За даними рентгенівського аналізу фіксується збільшення ступеня кристалічності та вмісту портландиту за рахунок більшої швидкості досягнення пересичення рідкої фази цементного тесту при гідратації. У табл. 1 представлені результати точності вимірювань Rbt та величини відхилень при ущільненні зразків бетону методом пресування та вібровакуумування.

Висновки. При обробці результатів досліджень проведено регресійний аналіз, який дозволив зробити висновок, що дрібнозерниста бетонна суміш при ущільненні пресуванням забезпечує підвищення міцності за умови пресування шарами завтовшки 4ч6 мм. Дослідження ущільнення вакуумуванням дозволяє екстрагувати до 35% води замішування і зменшити вихідне В/Ц=0,65 до В/Ц=0,35ч0,4. Електронна мікроскопія та рентгенівський аналіз показали ущільнену структуру всіх складових бетонної суміші.

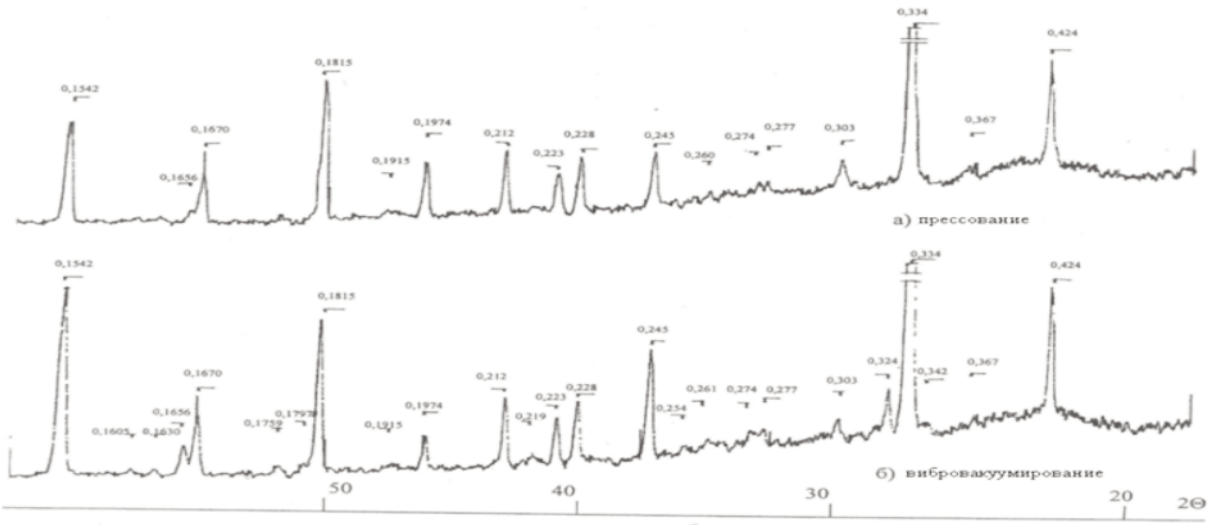


Рис. 6. Рентгенограми цементного каменю дрібнозернистих бетонів, ущільнених різними способами

Таблиця 1.

Показники точності вимірювань R_{bt} і величини відхилень при різних способах ущільнення

Номер вимірювання	Міцність на розтяг, кг/см^2					
	1П	2П	3П	4В	5В	6В
1	37,99	38,45	37,68	45,23	41,67	38,41
2	47,32	45,64	43,97	43,72	40,25	39,38
3	42,08	40,74	40,36	43,93	39,11	34,50
Середньоарифметичне значення	42,46	41,61	40,67	44,29	40,34	37,43
Дисперсія (Д)	21,80	13,46	9,85	0,65	1,63	6,65
Середньоквадратичне відхилення σ	4,67	3,67	3,14	0,81	1,28	2,58
Варіація (*Кв*), %	10,99	8,81	7,72	1,82	3,17	6,89
Середньоарифметичне середньоквадратичного відхилення σ_0	2,69	2,11	1,81	0,46	0,74	1,48
Показник точності (ε),%	6,35	5,07	4,45	1,03	1,83	3,97
Межі довірчого інтервалу M_{CT}	11,56	9,07	7,78	1,97	3,18	6,36

Примітка: 1П, 2П, 3П зразки, що ущільнюються методом пресування з товщиною ущільненого шару 3; 5; 10 мм;
4В, 5В, 6В зразки, що ущільнюються методом вібровакуумування з часовим інтервалом 1; 2; 3 хв.

Література:

1. Зайченко Н.М., Матвиенко В.А. Регулирование реологических свойств бетонных смесей с добавкой микрокременезёма. Зб.: Формування навколишнього середовища на урбанізованих територіях Криму. Сімферополь, 1996. Ч.ІІІ. 25 с.

2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезёма на свойства бетона. Бетон и железобетон. 1992. №7. С.4-7.

3. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / под ред. Л.И. Дворкина. К.: Будівельник, 1991. 136 с.

4. Писанко Г.К. Сопротивление высокопрочных бетонов растяжению. Бетон и железобетон. 1970. № 3. С. 37-39.

5. Тышкевич Ю.А., Вандоловский А.Г. К методике определения прочности бетона труб при растяжении. Сб. Технология и организация строительства гидромелиоративных систем. Киев: УкрНИИГиМ, 1973. С. 186-195.

6. Вандоловский А.Г., Юнис Б.Н. Анализ эффективности методов формования бетонных и железобетонных труб прессованием. Разработка решений по увеличению прочности. Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. Вип. 56. С. 102-107.

7. Вандоловский А.Г., Юнис Б.Н. Повышение прочности бетона при растяжении путём его модификации. Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. Вип.57. С. 38-40.

8. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 673 с.

9. Костенко Ю.А., Толмачев С.Н., Кондратьева И.Г. Взаимосвязь уровня прессования и свойств цементобетонных изделий. Вісник ХНАДУ. Харків : вид-во ХНАДУ, 2012. Вип.19. С.118-121.

References

1. Zaichenko N.M., Matvyenko V.A. Rehulyrovanye reolohycheskykh svoistv betonnikh smesei s dobavkoi mykrokremenezëma. Zb.: Formuvannia navkolyshnoho seredovyshcha na urbanizovanykh terytoriiakh Krymu. Simferopol, 1996. Ch.III. 25 s.

2. Kapryelov S.S., Sheinfeld A.V., Kryvoborodov Yu.R. Vlyianye strukturi tsementnoho kamnia s dobavkamy mykrokremnezema na svoistva betona. Beton y zhelezobeton. 1992. №7. S.4-7.

3. Dvorkyn L.Y., Solomatov V.Y., Virovoi V.N., Chudnovskyi S.M. Tsementnie betoni s myneralnimy napolnyteliamy / pod red. L.Y. Dvorkyna. K.: Budivelnyk, 1991. 136 s.

4. Pysanko H.K. Soprotyvlenye visokoprochnikh betonov rastiazhenyiu. Beton y zhelezobeton. 1970. № 3. S. 37-39.

5. Tishkevych Yu.A., Vandolovskyi A.H. K metodyke opredelenyia prochnosty betona trub pry rastiazhenyy. Sb. Tekhnolohyia y orhanyzatsyia stroytelstva hydromelyoratyvnikh system. Kyev: UkrNYYHyM, 1973. S. 186-195.

6. Vandolovskyi A.H., Yunys B.N. Analyz effektyvnosty metodov formovanyia betonnikh y zhelezobetonnikh trub pressovanyem. Razrabotka reshenyi po uvelychenyiu prochnosty. Naukovyi visnyk budivnytstva : zb. nauk. pr. Kharkiv : KhDTUBA, KhOTV ABU, 2010. Vyp. 56. S. 102-107.

7. Vandolovskyi A.H., Yunys B.N. Povishenye prochnosty betona pry rastiazhenyy putem eho modyfykatsyy. Naukovyi visnyk budivnytstva : zb. nauk. pr. Kharkiv : KhDTUBA, KhOTV ABU, 2010. Vyp.57. S. 38-40.

8. Bazhenov Yu.M., Komar A.H. Tekhnolohyia betonnikh y zhelezobetonnikh yzdelyi. M.: Stroiyzdat, 1984. 673 s.
9. Kostenko Yu.A., Tolmachev S.N., Kondrateva Y.H. Vzaymosviaz urovnia pressovanyia y svoistv tsementobetonnikh yzdelyi. Visnyk KhNADU. Kharkiv : vyd-vo KhNADU, 2012. Vyp.19. S.118-121.

[1] Taha Lotfi, graduate student, orcid.org/0000-0002-3489-911X
[1] O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL MODE OF COMPACTION OF CONCRETE MIXTURE WITH FLY ASH AND MICROSILICA ADDITIVES ON THE STRENGTH OF CONCRETE

Abstract. *The aspects of expanding the scope of application of non-reinforced products, in particular, pipes with sufficient strength indicators, were considered, and the objective necessity of developing appropriate concrete compositions and compaction technology, as well as the nomenclature and parameters of additives, was confirmed. The article outlines the trends of increasing concrete strength characteristics due to the rationalization of methods of concrete compaction with the use of waste. It has been confirmed that for the material of the pipes it is necessary to ensure the increased tensile strength of the product. After compaction, it is necessary to remove the liquid from the concrete, which ensures maximum convergence and unification of the particles of the solid phase. The method of iterations was used to determine the influence of each of the factors of concrete strength research on tension. Considered methods of concrete mixture compaction, according to the features and rheological properties of which two principles are implemented during compaction: removal of excess entrapped air and excess water from low-mobility and rigid mixtures by external influence and removal of air from high-mobility mixtures. Special attention was paid to the technologies of compaction by pressing, vacuuming and vibrovacuuming. Samples of concrete compacted by pressing and vibrovacuum ensured the production of concrete of almost the same structure with compaction of all components. Test results, electron microscopy of cement stone, radiographs obtained with different methods of compaction are presented. An increase in the degree of crystallinity was recorded due to the higher speed of reaching the supersaturation of the liquid phase of the cement test during hydration. When processing the research results, a regression analysis was performed, and analytical models for predicting parameters were obtained. The results were obtained that the fine-grained concrete mixture when compacted by pressing provides an increase in strength under the condition of pressing in layers.*
Key words: *concrete, technology, additive, waste, strength, compaction.*

УДК 004.942 : 624.046.2 : 624.073.5

[1] А. В. Томашевський, аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва, ORCID: 0000-0001-5960-2100
[1] Національний авіаційний університет, Київ, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДИК КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНКУ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, ПІДСИЛЕНИХ РЕБРАМИ

Анотація. *У статті пропонується огляд застосовуваних в Україні методик комп'ютерного моделювання та розрахунку армування залізобетонних плит, підсилених ребрами. Розглядаються основоположні гіпотези і допущення представлених методик, аналізується можливість втілення вимог нормативних документів у автоматизованих розрахунках. За результатами чисельних експериментів підтверджується наявність зв'язку між характером розподілу нормальних напружень у перерізі елемента ребра та шириною зони плити, що включається в роботу ребра на згин. Наголошується необхідність розробки універсальної методики розрахунку таких конструкцій, придатної до втілення в сучасних програмних комплексах на основі методу скінченних елементів, що реалізують технологію інформаційного моделювання будівель (BIM). Розрахункові зусилля в елементах монолітних ребристих перекриттів визначають з урахуванням пластичних деформацій. В основі цього підходу покладено припущення про утворення зі збільшенням навантаження в статично невизначуваних системах пластичних шарнірів, кожен з яких призводить до зниження статичної невизначуваності системи на один ступінь. Поява пластичних шарнірів призводить до перерозподілу згинальних моментів, що обчислюється статичним чи кінематичним способом. У загальному випадку сума прольотного моменту та половин опорних моментів для прольоту нерозрізної балки завжди дорівнює прольотному моменту в аналогічній однопрольотній балці. Тобто співвідношення опорних і прольотних моментів не впливає на несучу здатність статично невизначуваної системи в цілому, а лише обумовлює порядок утворення пластичних шарнірів. Поява пластичних шарнірів у залізобетонних конструкціях зумовлена текучістю розтягнутої арматури та утворенням зон надмірних деформацій бетону з тріщинами. Отже, розрахункові зусилля в елементах монолітного ребристого перекриття визначаються з огляду на вид армування (зварні рулонні сітки, жорсткі плоскі сітки або в'язана арматура) та бажану для проектувальника схему розподілу моментів .*

Ключові слова: *монолітне ребристе перекриття; залізобетонна ребриста плита; розрахунок армування; метод скінченних елементів.*

Постановка проблеми

Залізобетонні плити, підсилені ребрами, набули широкого використання в практиці проектування. До конструкцій такого типу можна віднести монолітні ребристі перекриття, збірні залізобетонні ребристі плити, залізобетонні плити, підсилені сталевими ребрами тощо. Спільною рисою таких конструкцій є те, що їх можна віднести до комбінованих будівельних систем, в яких елементи за рахунок взаємного розташування і способу кріплення працюють сумісно, компенсуючи недоліки один одного, перетворюючи систему на єдине ціле та підвищуючи ефективність роботи конструкції в цілому.

Існують окремі рекомендації для розрахунку та підходи до комп'ютерного моделювання вищевказаних конструкцій, проте розробка узагальнюючої методики, придатної до застосування в сучасних системах автоматизованого проектування, є досі актуальним питанням.

Метою роботи є виконання огляду й критичного аналізу відомих в Україні методик комп'ютерного моделювання і розрахунку залізобетонних ребристих плит, виділення їхніх переваг й недоліків, визначення доцільності їхнього застосування в сучасних автоматизованих розрахунках

Методика ручного розрахунку залізобетонних плит, підсилених ребрами

Класична методика ручного розрахунку монолітних залізобетонних плит, підсилених ребрами, як статично невизначуваних систем ґрунтується на методі граничної рівноваги. Згідно з даним методом руйнування конструкції відбувається за рахунок надмірного росту загальних незворотних деформацій без повного руйнування будь-якої частини конструкції. Деформаціями конструкцій до моменту вичерпання їхньої несної здатності нехтують [1, с. 11].

Плити монолітних ребристих перекриттів розрізняють за принципом роботи залежно від співвідношення їхніх прольотів у взаємно перпендикулярних напрямках та схеми розташування опор, поділяючи їх на балкові, тобто такі, що працюють в одному напрямку, та на оперті по контуру. що працюють як системи плоских трикутних або трапецієподібних сегментів, поєднаних між собою пластичними шарнірами [2, с. 425].

Другорядні балки розраховують як багатопрольотні нерозрізні, шарнірно оперті на головні балки, завантажені рівномірно розподіленим навантаженням. Обвідну епюру моментів в них будують в залежності від співвідношення між постійним та тимчасовим навантаженням на балки. Головні балки розраховують подібним чином, але навантаження приймають у вигляді зосереджених сил, що прикладаються в місцях спирання другорядних балок. Розрахункові зусилля в головних балках обчислюють як в пружній системі залежно від розрахункової схеми та різних комбінацій тимчасового навантаження. Розрахункові перерізи балок приймають тавровими в тих точках, де плита перебуває в стиснутій зоні,

та прямокутними, де робота плити в розтягнутій зоні умовно не враховується.

Розрахункові зусилля в елементах монолітних ребристих перекриттів визначають з урахуванням пластичних деформацій. В основі цього підходу покладено припущення про утворення зі збільшенням навантаження в статично невизначуваних системах пластичних шарнірів, кожен з яких призводить до зниження статичної невизначуваності системи на один ступінь. Поява пластичних шарнірів призводить до перерозподілу згинальних моментів, що обчислюється статичним чи кінематичним способом. У загальному випадку сума прольотного моменту та половин опорних моментів для прольоту нерозрізної балки завжди дорівнює прольотному моменту в аналогічній однопрольотній балці. Тобто співвідношення опорних і прольотних моментів не впливає на несучу здатність статично невизначуваної системи в цілому, а лише обумовлює порядок утворення пластичних шарнірів. Поява пластичних шарнірів у залізобетонних конструкціях зумовлена текучістю розтягнутої арматури та утворенням зон надмірних деформацій бетону з тріщинами. Отже, розрахункові зусилля в елементах монолітного ребристого перекриття визначаються з огляду на вид армування (зварні рулонні сітки, жорсткі плоскі сітки або в'язана арматура) та бажану для проектувальника схему розподілу моментів [2, с. 430].

Перелічені розрахункові схеми елементів монолітного ребристого перекриття є певною ідеалізацією, необхідною для переходу від розглядання дійсної роботи просторових конструкцій до аналізу їхньої роботи за плоскими розрахунковими схемами. Класична методика також певною мірою враховує нелінійні властивості залізобетону за рахунок введення пластичних шарнірів. Однак можна виділити наступні обставини, що ставлять під сумнів доцільність застосування даної розрахункової методики в сучасних, у тому числі автоматизованих, розрахунках:

– Поділ плит перекриттів на балкові та оперті по контуру є умовним та може бути виконаний лише для прямокутних в плані плит, завантажених рівномірно розподіленим навантаженням, при ортогональному розташуванні ребер. Методика також може бути застосована лише для плоских плит. Слід зазначити, що сучасні будівлі все частіше мають нестандартні конструктивні схеми з довільним розташуванням отворів та ребер плит, а навантаження не завжди можна прийняти рівномірно розподіленими по всій площі плит.

– Неможливо чітко виділити головні та другорядні балки, тобто визначити які елементи є опорами для інших елементів, адже у багаторазово статично невизначуваних системах кожен елемент вносить свій вклад у загальну жорсткість конструкції.

– Розрахунок ведеться на одну комбінацію навантажень, у той час як надійний та водночас економічний розрахунок армування слід проводити з урахуванням багатьох розрахункових сполучень навантажень і зусиль.

– Призначення ефективної ширини полиці таврового перерізу балки вимагає певного теоретичного обґрунтування.

– Для розрахунку армування визначаються лише згинальні моменти та поперечні сили за наближеною методикою. Вплив поперечних ребер, згинальні моменти в яких повинні прикладатись як крутні моменти в поздовжніх ребрах, не враховується.

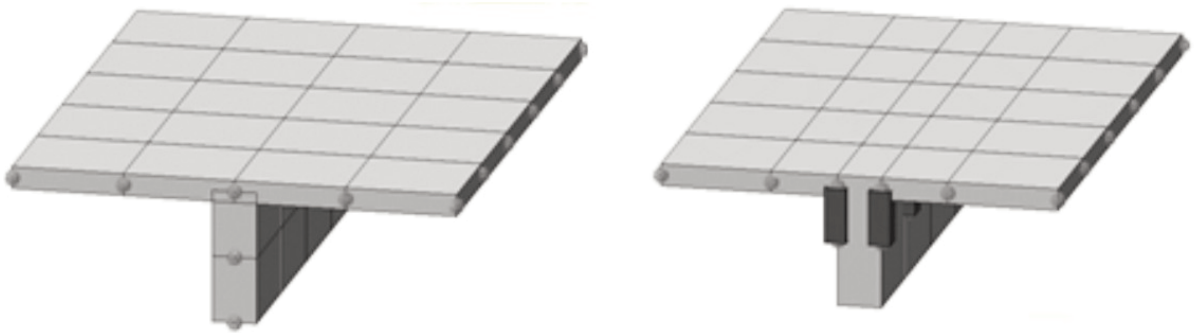
– Ребра вважаються шарнірними нерухомими опорами для плити, у той час як в дійсності ребра поєднані з плитою жорстко та набувають певного прогину.

Методики комп'ютерного моделювання залізобетонних плит, підсилених ребрами

У сучасних автоматизованих розрахунках, що базуються на методі скінченних елементів (МСЕ) використовуються одновимірні (стержні), двовимірні (оболонки) та тривимірні (об'ємні тіла) скінченні елементи. Розрахунок конструкцій з використанням об'ємних тіл дозволяє висвітлити характер розподілу внутрішніх зусиль в елементах конструкцій, що може бути використано в дослідницьких задачах. Проте в практиці проектування за умови, що розрахункові схеми містять значну кількість скінченних елементів, для яких необхідно виконувати автоматизовані розрахунки армування, застосовують переважно скінченні елементи просторових стержнів і оболонок. При цьому першочерговим питанням стає спосіб моделювання жорсткості ребра та його поєднання з плитою, а також вплив цих чинників на результати підбору армування в ребрах і плитах.

Моделювання ребра елементами оболонок. Ребро плити може бути змодельоване за допомогою оболонкових скінченних елементів. Елементи ребра можуть бути розташовані перпендикулярно (рис. 1, а) або паралельно площині плити, являючи собою локальне потовщення плити на місці ребра (рис. 1, б). При такому підході вирішується задача суцільності скінченно-елементної моделі, адже розподіл внутрішніх зусиль та деформацій в оболонкових елементах плити та ребер, поєднаних вузлами, відбувається рівномірно вздовж граней скінченних елементів. Однак на етапі конструювання такий підхід викликає певні труднощі. Так, арматура в згинному елементі має бути розташована переважно біля коротких граней поперечного перерізу, а не розподілена рівномірно по площі бічних граней, як це випливає зі способу конструювання оболонкових елементів. Таким чином, внутрішні зусилля й переміщення, одержані в результаті розрахунку на міцність, хоча й відповідають певною мірою дійсній роботі конструкції, не можуть бути застосовані для розрахунку армування.

Моделювання ребра стержнем таврового перерізу. Ребро плити може бути змодельоване як стержень таврового перерізу (рис. 2). Такий підхід дозволяє врахувати вплив жорсткості плити на переміщення й внутрішні зусилля в стержневому елементі, а також правильно виконати конструювання ребра як згинного стержневого елемента за умови, що арматура буде розташована лише в межах стінки тавра. Поздовжня вісь елемента ребра знаходиться в площині плити. Ексцентриситет, що виникає між нейтральною площиною плити та поздовжньою віссю ребра, враховується самим перерізом елемента: товщина полиці тавра відповідає товщині плити, стінка тавра повторює обрис поперечного перерізу прямо-



а) б)

Рис. 1. Моделювання ребра елементами оболонок: а з розташуванням перпендикулярно плиті; б з розташуванням у площині плити

кутної балки. Стержневий елемент сприймає мембранну (полицею, що моделює частину плити, включену в роботу ребра) й згинну групи зусиль, елементи плити – лише згинну. Слід зазначити, що така модель призводить до підвищення і загальної жорсткості системи, і навантаження від власної ваги конструкцій при його автоматичному розрахунку та вимагає коригувань інженера для одержання більш точних результатів. Полиця тавра в цьому випадку дублює плиту, тобто ця частина конструкції враховується двічі. Однак таке припущення можна вважати прийнятним, оскільки мембранна група зусиль сприймається плитою із значним запасом. Окремим завданням постає визначення ширини полиці тавра, що вводиться в розрахунок. Існують об'єктивні чинники, що обмежують ширину полиці перерізу та можуть бути враховані інженером при моделюванні: отвори та зовнішні межі плити, сусідні ребра та вертикальні елементи, що виступають опорами для перекриття. Окрім них, ширина полиці при розрахунку обмежується також певною робочою (ефективною) величиною, визначення якої пропонується за відповідними нормативними документами з проектування залізобетонних конструкцій. Передбачається, що в межах цієї величини розподіл мембранних напружень можна вважати рівномірним.

Згідно СНіП [3, п. 3.16] ефективна ширина полиці визначається з урахуванням прольоту елемента, товщини плити, наявності або відсутності поперечних та інших поздовжніх ребер. З аналізу вимог випливає, що ширину полиці пропонується призначати тим більшою, чим більшим є співвідношення між товщиною плити та повною висотою прямокутного перерізу ребра, тобто чим більшим є потенційний вклад полиці в загальну роботу перерізу. Втілення даних норм в автоматизованих розрахунках пов'язане з певними труднощами, адже скінченно-елементна модель в такому разі повинна бути доповнена інформацією про топологію конструктивної схеми, яку вона відображає, а також поняттям «поздовжнє» та «поперечне» ребро мають бути надані чіткі визначення для схем з неортогональним розташуванням ребер.

У Єврокоді [4, п. 5.3.2.1] та ДБН [5, п. 5.3.2.1] пропонується визначати робочу ширину полиці з урахуванням прольотних відстаней елемента, що вимірюються між точками з нульовими моментами в елементі. Припущення про зв'язок між точками нульових моментів у балці та величиною ділянки плити, що включається в її роботу, вимагає додаткової перевірки. Застосування даного підходу в автоматизованих розрахунках передбачає визначення окремих форм перерізів (і як наслідок – армування) для кожного із розрахункових сполучень навантажень оскільки епюра моментів в елементі змінюватиметься. Такий підхід також не може бути застосований при автоматизованому розрахунку армування за розрахунковими сполученнями зусиль.

Моделювання ребра стержнем прямокутного перерізу, розміщеним з ексцентриситетом відносно плити. З точки зору відображення дійсної форми конструкції в скінченно-елементній розрахунковій схемі найбільш вдалим буде моделювання ребра плити за допомогою стержневого елемента прямокутного перерізу, що з певним ексцентриситетом пов'язаний з елементами плити. Ексцентриситет формується за допомогою жорстких вставок або абсолютно жорстких тіл ($EI \to \infty$), принципом яких є забезпечення відповідності переміщень вузлів елементів плити та відповідних поєднаних з ними вузлів гнучкої частини стержневого елемента.

Ребро може бути змодельоване стержнем повної висоти, включно з товщиною плити (рис. 3, а), або в своїх дійсних розмірах – як прямокутний брус, що

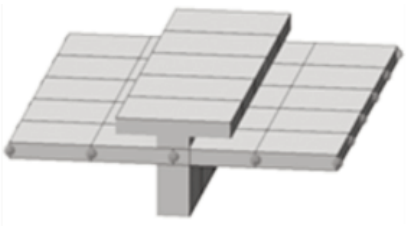
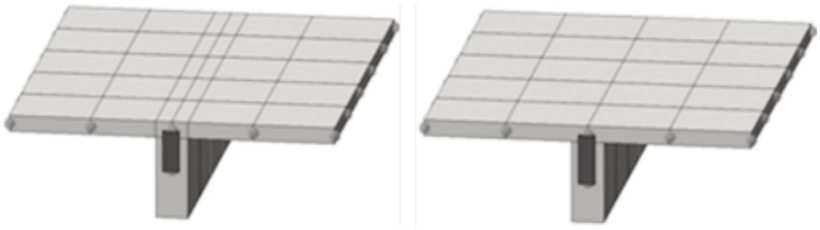


Рис. 2. Моделювання ребра тавровим стержнем



а) б)

Рис. 3. Моделювання ребра стержнем прямокутного перерізу з ексцентриситетом: а з перетином плити; б з примиканням до плити..

знизу прилягає до плити (рис. 3, б). У першому випадку, як і для стержня таврового перерізу, частина конструкції дублюється.

Моделювання поєднання елементів з ексцентриситетом призводить до появи в елементах плити та стержні мембранної групи зусиль. Отже, плита має бути змодельована скінченними елементами типу «оболонка» для сприйняття відповідних зусиль. Елемент ребра в такому разі одержує поздовжню силу. Розрахунок в лінійній постановці задачі за першою групою граничних станів дає задовільні результати внутрішніх зусиль, що певною мірою відображають дійсну роботу конструкції. Однак поява в елементі ребра значного поздовжнього зусилля може призвести до того, що при автоматизованому підборі армування (особливо за методом розрахункових сполучень зусиль) такий елемент буде законструйований як позацентрово розтягнутий (позацентрово стиснутий), а не згинний [6].

Моделювання ребра стержнем прямокутного перерізу, розміщеним з ексцентриситетом відносно плити, з перерахунком зусиль. Оскільки елемент ребра завідомо розглядається як згинний, то для правильного автоматизованого підбору армування можна виконати в ньому перерахунок внутрішніх зусиль з метою уникнення поздовжнього зусилля. Декілька таких методів були запропоновані О. С. Городецьким [7, с. 25]. Ребро пропонується розраховувати як елемент прямокутного перерізу, а конструювати як тавровий елемент, що сприймає лише зусилля згину. Ширина полиці тавра (тобто частина плити, що включається в роботу ребра) визначається на основі співвідношень зусиль в прямокутному перерізі.

Перший підхід ґрунтується на припущені, що мембранні сили плити, які зрівноважують нормальну силу в стержні $N_{ст}$, розподілені рівномірно в полиці тавра, а їхня рівнодіюча прикладена в центральній площині плити, у місці поєднання стержня жорсткою вставкою $h_в$ з плитою. Можемо розрахувати балковий момент $M_б$ в елементі ребра за формулою (1):

$$M_б = M_{ст} + N_{ст} \quad h_в. \qquad (1)$$

Зважаючи на нерівномірний розподіл згинального моменту $M_С$ та поздовжньої сили $N_С$ по довжині балки, рекомендується для визначення балкового моменту брати їхні осереднені значення в суміжних перерізах скінченних елементів. Поперечну силу в елементі можна розрахувати за формулою (2) як суму відповідних внутрішніх зусиль у скінченному елементі стержня $Q_{ст}$ та елементах плити $Q_{пл}$, і, що увійшли до утвореного таврового перерізу:

$$Q = Q_{ст} + \sum Q_{пл,\,i}. \qquad (2)$$

Для визначення ширини полиці bпл тавра за формулою (3) в елементі пропонується прийняти, що в граничному стані перерізу напруження в полиці дорівнюватимуть розрахунковій міцності бетону на стиск R_b:

$$b_{пл} = N_{ст} / (b_n \quad R_b). \qquad (3)$$

Оскільки припущення про розподіл напружень в плиті та про рівність цих напружень розрахунковій міцності бетону на стиск є достатньо грубими, другий підхід ґрунтується на побудові епюр нормальних напружень в перерізах елемента по їхній вертикальній центральній осі симетрії (рис. 4). Згідно з гіпотезою плоских перерізів пропонується розрахувати нормальні напруження на рівні нижньої грані ребра ст,н та на рівні стику ребра з плитою ст,в та екстраполювати напруження в зону плити пл за формулою (4):

$$\sigma(z) = - z \quad M_{ст} / I_{ст} + N_{ст} / A_{ст}. \qquad (4)$$

Далі визначається величина та положення рівнодіючих напружень в стержні та плиті з умови рівноваги рівнодіючих напружень розтягу $R_{розт}$ та стиску $R_{стиск}$ в елементі ($\sum R = 0$)Балковий момент визначається за формулою (5) як добуток рівнодіючої напружень розтягу чи стиску в перерізі елемента на плече *z* між цією парою сил. Ефективна ширина полиці тавра $b_{пл}$, що вводиться в розрахунок, приймається такою, що забезпечує рівномірний розподіл визначених напружень у плиті. Вона визначається з виразу рівнодіючої напружень в зоні плити за формулою (6):

$$M_б = R_{розт} \quad z; \qquad (5)$$

$$b_{пл} = R_{стиск} / (0{,}5 \quad \sigma_{пл} \quad y). \qquad (6)$$

Зауважимо, що вказані підходи пропонують виконувати лише перерахунок зусиль, що описують роботу стержневого елемента в площині, однак робота з площини та кручення елемента залишаються поза увагою. Для ребристих плит з ортогональним розташуванням балок це можна вважати справедливим, якщо припустити, що балкові зусилля з площини та кручення будуть сприйняті плитою та перпендикулярними балками. Щоб досягти такого ефекту при розрахунку за МСЕ, інженерові необхідно знизити відповідні жорсткісні характеристики елементів розрахункової схеми.

Чисельні експерименти

Розглянемо результати чисельних експериментів, виконаних за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР [8]. Розрахункова схема, що моделювалася, (рис. 5) представлена плитою розмірами 6 × 6 м у плані і товщиною 0,2 м, що вільно лежить на двох опорах та підперта посередині ребром розмірами 0,3 × 0,4 м. На плиту прикладене вертикальне рівномірно розподілене навантаження 1,5 тс/м^2, власною вагою елементів нехтуємо.

Розрахункова схема була змодельована за наведеними вище методиками в кількох варіантах, з граничним розміром скінченного елемента 0,5, 0,25, 0,1 та 0,05 м. У якості контрольної застосовано модель, виконану з об'ємних скінченних елементів кубічної форми з розміром 0,05 м. Для моделювання застосовувалися скінченні елементи типу просторовий стержень (№ 10), просторова оболонка (№ 40) та просторовий об'ємний елемент (№ 36). Усім елементам були надані такі властивості матеріалів: модуль Юнга $3 \cdot 10^6$ тс/м^2 та коефіцієнт Пуассона 0,2.

Були розраховані прогини плити над ребром посередині прольоту та зусилля у відповідному перерізі ребра в статичній лінійній постановці задачі. Для стержневих елементів прямокутного перерізу з метою визначення балкового згинального моменту, був виконаний перерахунок зусиль за спрощеною методикою (формула (1)) та за методом визначення нормальних напружень у перерізі (формули (4) – (6)). Результати наведені в таблиці 1.

Щоб визначити зусилля в ребрі в моделі з об'ємних скінченних елементів, скористаємося розрахунком навантажень на фрагмент схеми. Таким фраг-

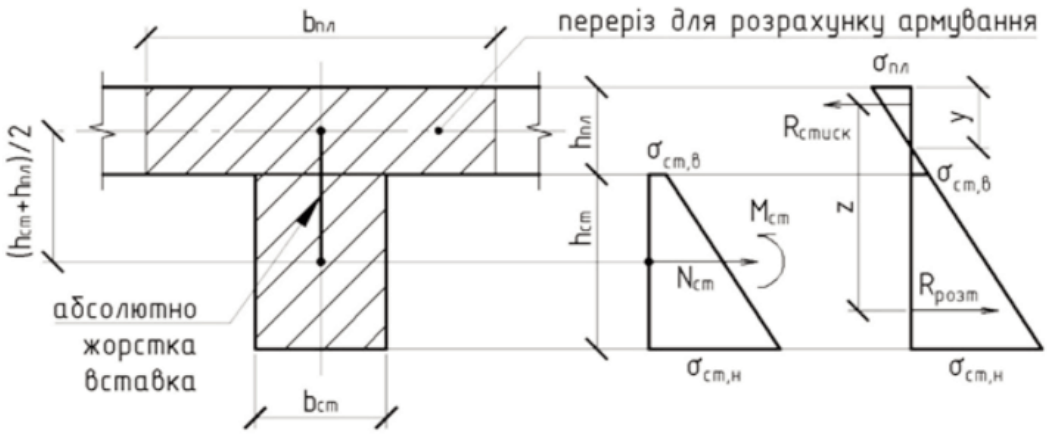


Рис. 4. Схеми до перерахунку внутрішніх зусиль

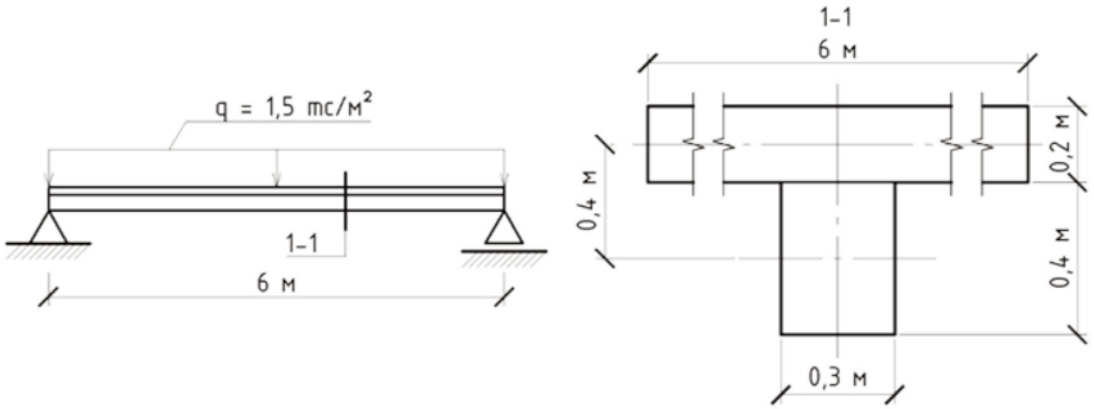


Рис. 5. Розрахункова схема до чисельних експериментів

Таблиця 1.

Результати чисельних експериментів

Номер варіанта моделі	Метод моделювання ребра	Розмір СЕ, м	Прогин плити, мм	Згинальний момент, тс·м			Ширина полиці розрахункового перерізу, м
				у перерізі елемента	за спрощеною методикою	за нормальними напруженнями	
1.1	Оболонка товщиною 0,3 м перпендикулярно плиті	0.50	3.110				
1.2		0.25	3.322				
1.3		0.10	3.386				
1.4		0.05	3.396				
2.1	Оболонка товщиною 0,6 м паралельно плиті	0.50	3.337				
2.2		0.25	3.342				
2.3		0.10	3.340				
2.4		0.05	3.340				
3.1	Тавр з полицею 1,2 × 0,2 м та стінкою 0,3 × 0,4 м	0.50	3.440	26.873			
3.2		0.25	3.443	26.790			
3.3		0.10	3.442	26.751			
3.3		0.05	3.442	26.747			
4.1	Прямокутник 0,3 × 0,6 м, що перстинає плиту	0.50	3.229	14.283	27.538		
4.2		0.25	3.224	14.110	27.484		
4.3		0.10	3.218	14.044	27.457		
4.4		0.05	3.218	14.037	27.455		
5.1	Прямокутник 0,3 × 0,4 м, що примикає до плити	0.50	3.377	4.572	27.063	30.135	1.612
5.2		0.25	3.335	4.360	27.143	30.878	2.056
5.3		0.10	3.317	4.289	27.155	31.181	2.252
5.4		0.05	3.315	4.280	27.157	31.226	2.280
6	Об'ємні скінченні елементи	0.05	3.381			26.081	1.500

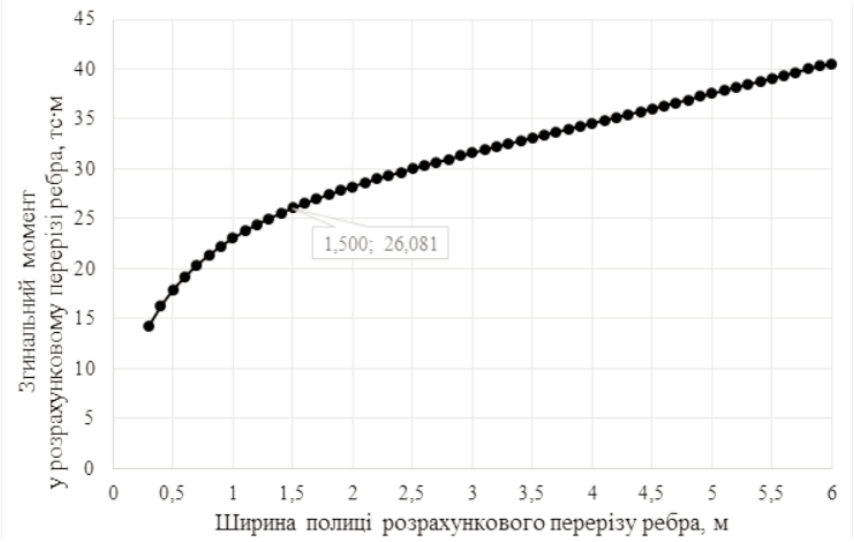


Рис. 6. Залежність згинального моменту від ширини полиці розрахункового перерізу ребра

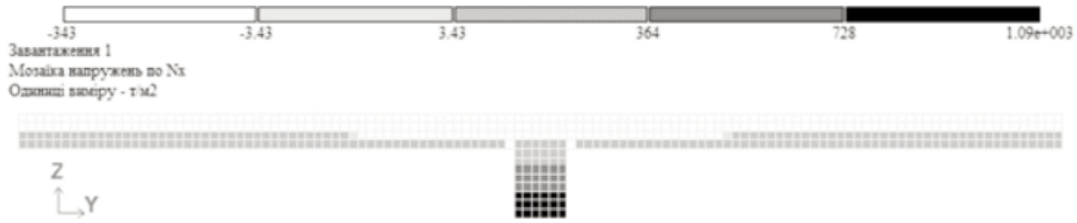


Рис. 7. Нормальні напруження в перерізі плити та ребра

ментом буде набір вузлів та елементів у відповідному перерізі плити та ребра. Згинальний момент у цьому перерізі можна визначити як суму добутків вузлових реакцій в елементах на відстань по вертикалі між відповідним вузлом та центром ваги перерізу. Розрахунковим перерізом ребра, що працює сумісно з плитою буде тавр, при цьому постає питання про обмеження ширини його полиці. На рис. 6 наведена залежність між шириною полиці таврового перерізу та одержаним згинальним моментом.

Як бачимо, величина моменту зростає нелінійно до певної точки на графіку, після чого залежність стає фактично прямою. Можна припустити, що ця точка й обмежує зону сумісної роботи плити та ребра. В умовах поставленої задачі ця точка приблизно відповідає ширині полиці плити 1,5 м та величині моменту 26,081 тс м. При аналізі нормальних напружень в скінченних елементах, що утворюють розрахунковий переріз, також видно, що ця точка знаходиться в тому діапазоні, де плита переходить в режим симетричної роботи по товщині (рис. 7).

Висновки та перспективи подальших досліджень

У ході аналізу методик розрахунку армування залізобетонних плит, підсилених ребрами, були одержані наступні висновки:

– Існуючі в Україні методики ручного розрахунку та комп'ютерного моделювання таких конструкцій містять значну кількість припущень та інженерних умовностей. Це пов'язано з необхідністю спрощення розрахункових схем конструкцій складних комбінованих будівельних систем, елементи яких працюють взаємопов'язано.

– Впровадження класичної методики ручного розрахунку, а також вимог застосовуваних на території СНД нормативних документів в автоматизовані розрахунки за МСЕ є недоцільним.

– Розглянуті методики комп'ютерного моделювання залізобетонних плит, підсилених ребрами, дають подібні результати, однак кожна з них містить власні недоліки, що призводить до труднощів при застосуванні їх у практиці сучасного будівельного проектування.

– Застосування методики моделювання ребра за допомогою стержня прямокутного перерізу, розміщеного відносно плити з ексцентриситетом, з подальшим перерахунком зусиль за нормальними напруженнями в перерізі ребра є доцільним у практиці проектування. Цей підхід є найбільш економічним з точки зору МСЕ. Однак при цьому існує потреба в додатковому теоретичному обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні положень про роботу елемента з площини та на кручення. Також поза увагою залишається вплив ребра на внутрішні зусилля й армування елементів плити.

– Дослідження розрахункових моделей з об'ємних скінченних елементів підтвердило наявність зв'язку між характером розподілу нормальних напружень в елементах та шириною зони плити, що включається в роботу ребра на згин.

– Необхідна розробка узагальнюючої методики комп'ютерного моделювання та розрахунку таких конструкцій на основі МСЕ, що дозволила б максимально автоматизувати процес: мінімізувати обсяг вихідних даних, виключити необхідність створення проміжних

розрахункових моделей або виконання проміжних ручних розрахунків. Така методика має ґрунтуватися на автоматизованому аналізі взаємовпливу елементів комбінованих будівельних систем. Необхідно визначити спільні принципи роботи взаємопов'язаних конструктивних елементів, щоб мати можливість застосовувати ці принципи для розрахунку конструкцій комбінованих будівельних систем різних класів.

Література

1. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций / Научно исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР (НИИЖБ). Москва : Стройиздат, 1975. 192 с.

2. Залізобетонні конструкції : Підручник / А. Я. Барашиков, Л. М. Буднікова, Л. В. Кузнєцов та ін. ; за ред. А. Я. Барашикова. Київ : Вища школа, 1995. 591 с. : іл.

3. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 80 с.*

4. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT). Вид. оф. [Чинний від 2013-07-01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012. 301 с.

5. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Вид. оф. [На заміну СНиП 2.03.01-84; чинний від 2011-06-01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 73 с.*

6. Скорук Л. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий // CADmaster. 2004. № 3. С. 78–83.

7. Городецкий А. С., Батрак Л. Г., Городецкий Д. А., Лазнюк М. В., Юсипенко С. В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона (проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии). Киев : Факт, 2004. 106 с. : ил.

8. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства : Монография. Киев : Сталь, 2014. 301 с.

References

1. Guidelines for the calculation of statically indeterminate reinforced concrete structures. NIIZhB. Moscow, Stroiizdat, 1975.

2. A. Ya. Barashikov, L. M. Budnikova, L. V. Kuznietsov, Reinforced concrete structures. Kyiv, Vyscha shkola, 1995.

3. SNiP 2.03.01-84. Concrete and reinforced concrete structures. Moscow: TsITP Gosstroya SSSR, 1989.*

4. DSTU-N B EN 1992-1-1:2010. Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1-1. General rules and regulations for structures (EN 1992-1-1:2004, IDT). Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 2012.

5. DBN V.2.6-98:2009. Concrete and reinforced concrete structures. General rules. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011.

6. L. Skoruk. "Search for effective design models for ribbed reinforced concrete slabs and floors", CADmaster, vol 3, pp. 78–83, 2004.

7. A. S. Gorodetskiy, L. G. Batrak, D. A. Gorodetskiy, M. V. Laznyuk, S. V. Yusipenko. Calculation and design of structures of high-rise buildings from reinforced concrete (problems, experience, possible solutions and recommendations, computer models, information technology).. Kyiv, Fakt, 2004.

8. M. S. Barabash. Computer simulation of construction objects' life cycle processes : Monograph. Kyiv: Stal, 2014. 301 p.

[1] A. V. Tomashevskyi graduate student of the department of computer technology of construction, ORCID: 0000-0001-5960-2100

[1] National Aviation University, Kyiv

PROBLEMS OF COMPUTER STRUCTURAL ANALYSIS AND REINFORCEMENT CALCULATION TECHNIQUES OF REINFORCED CONCRETE RIBBED SLABS

Abstract. *This paper proposes an overview of computer structural analysis and reinforcement calculation techniques of reinforced concrete ribbed slabs that are used in Ukraine. It considers the fundamental hypotheses and assumptions of these techniques and analyzes the possibility of implementation of the building codes' requirements into automated calculations. Numerical experiments confirm the existence of a relationship between the normal stress distribution pattern in the rib's cross section and the width of the slab zone, which participates in the rib's bending. We conclude the need to develop a generalizing methodology of FEM structural analysis for such structures, which could be implemented in modern FEM-analysis packages implementing building information modelling technology (BIM).*

Design forces in the elements of monolithic ribbed floors are determined taking into account plastic deformations. This approach is based on the assumption of the formation with increasing load in statically indeterminate systems of plastic hinges, each of which leads to a decrease in the static indeterminacy of the system by one degree. The appearance of plastic hinges leads to a redistribution of bending moments, which is calculated using a static or kinematic method. In the general case, the sum of the span moment and half of the support moments for the span of a single-span beam is always equal to the span moment in a similar single-span beam. That is, the ratio of support and span moments does not affect the bearing capacity of the statically indeterminate system as a whole, but only determines the order of formation of plastic hinges.

Keywords: *monolithic ribbed overlap, reinforcement calculation, finite element method.*

УДК 698.12

[1] В.О. Галушко, д.т.н, проф. кафедри будівельних конструкцій, будівель та споруд, ORCID 0000100011574410486;
[2] Д.Ю. Уваров, аспірант кафедри ТБВ, ОДАБА, керівник проектно-конструкторського відділу ТОВ «ІБП «ФОРТ», ORCID: 000010002135911342X;
[3] А.С. Уварова, студентка , ORCID: 0000-0002-1416-7181.

[1] Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ, Україна;
[2] Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, Україна;
[3] Хортицька навчально-реабілітаційна академія, м. Запоріжжя, Україна

ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ В ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. *У статті розглядаються деякі завдання економіки та організації будівництва, які можна вирішити методом лінійного програмування за допомогою PTC Mathcad Prime, Microsoft365 Excel та ранжуванням даних. Авторами проаналізовано літературу, де представлено існуючи методи оптимізації в різних галузях та галузі будівельного виробництва. Показані основні принципи використання лінійного програмування в різних програмних засобах. Авторами детально розібрано порівняння різних методів для підбору оптимальних технологічних послідовностей. Представлено приклади вирішення задач оптимізації у будівельному виробництві засобами лінійного програмування та методом ранжування даних. Для рішення задачі використовували технологію нанесення суміші на вертикальну поверхню. А саме: очистки фасаду, штукатурення поверхні, фарбування поверхні. Були розглянуті три технології. Для нанесення на вертикальну поверхню використовують стандартні обладнання це риштування, драбини та люльки. Технологічна послідовність складається з наступних процесів. Це підготовка поверхні. Вона може виконуватись трьома способами: очищення вручну, піскоструменевим апаратом, гідроструменеве очищення. Наступний процес це технології штукатурення поверхні. На цьому етапі розглянуто два варіанта: ручне штукатурення та механізоване нанесення штукатурного розчину. Далі виконується процес гуртування поверхні. Цей процес може виконуватись або в ручну, або за допомогою пульвелізатора. І останній процес – фарбування поверхні. Розглянуто ручне фарбування або механізованим пристроїм. Наступним кроком було проаналізовано можливості кожного з методів оптимізаційного пошуку та надано рекомендації з їх можливого застосування при вирішенні аналогічних задач. Створено математичну модель, що може бути масштабована для впровадження оптимізаційного пошуку в групах технологічних послідовностей з різними методами виконання робіт. Також були зроблені висновки, щодо використання представлених методів у вирішенні аналогічних задач будівельного виробництва. Данна стаття може бути аналогом для розрахунку не тільки механізаційних процесів, але вона може стати нарадою для автоматизації будівельних процесів.*

Ключові слова: *лінійне програмування, метод оптимізації, технологічні процеси при виконанні оздоблювальних робіт.*

Вступ

Методи оптимізації широко застосовуються на вирішення практичних завдань будівництва. Наприклад, у статтях [1-3] методи оптимізації використовуються визначення оптимального розташування об'єктів будівельного майданчика. Також оптимізаційні методи використовуються широко і для вирішення завдань будівельної механіки, наприклад, для визначення граничного рівноважного стану пружно-пластичних систем для розрахунку вантових систем в геометрично-нелінійній постановці [4-6]. У статті [7] автори застосували оптимізаційні методи для підбору значень попередньої напруги волокон у композиційних матеріалах та плитах. Математичні методи оптимізації були застосовані в програмуванні [8] та для розрахунку оптимальних параметрів у задачах економіки [9].

Одним із найпоширеніших методів оптимізації є лінійна оптимізація чи лінійне програмування, де розглядаються оптимізаційні задачі із лінійними цільовими функціями і областю пошуку, що задається лінійними обмеженнями, тобто є багатогранником чи багатогранною областю. Цей метод, зокрема, застосовується в будівельній механіці для визначення граничної рівноваги пружно-пластичних конструкцій [4-6] та плануванні та керуванні [10]. Теорія методу лінійного програмування та приклади вирішення багатьох завдань викладені, зокрема, у [11, 12].

Матеріали і методи досліджень

Сьогодні метод лінійної оптимізація дуже поширений не лише в промисловості, а й у будівництві. Спробуємо за допомогою цього метода обрати ефективний спосіб для нанесення фарби на вертикальну поверхню. Оберемо три технології. Для нанесення на вертикальну поверхню використовують стандартні обладнання це риштування, драбини та люльки. Технологічна послідовність складається з наступних процесів. Це підготовка поверхні. Вона може виконуватись трьома способами: очищення вручну, піско-

струменевим апаратом, гідроструменем. Наступний процес це технології штукатурення поверхні. На цьому етапі розглянуто два варіанта: ручне штукатурення та механізоване нанесення штукатурного розчину. Далі виконується процес грунтування поверхні. Цей процес може виконуватись або в ручну, або за допомогою пульвелізатора. І останій процес – фарбування поверхні. Розглянуто ручне фарбування або механізованим пристроїм. Таким чином ми задаєм три варіанта по дев'ять процесів. Спробуємо за допомогою трудомісткості підібрати ефективні варіанти при нанесенні фарби на вертикальну поверхню.

Мета досліджень.
підібрати теоретично за допомогою метода лінійної оптимізації найбільш ефективний варіант технологічного процесу при нанесені фарби на вертикальну поверхню.

Виклад основного матеріалу

Рішення типової задачі організації будівельного виробництва. До типових задач організації будівельного виробництва є пошук оптимальних методів виконання технологій та технологічних послідовностей в циклах будівельного виробництва.

Для вибору оптимальних технологій та знаходження кращих технологічних послідовностей для фасадних робіт, розробимо таблицю на основі витрат труда робітників, розділюючи по відповідним групам технологій.

Таблиця 1.

Дані для аналізу

№з./п.	Назва технології	Витрати труда робітників, не зайнятих обслуговуванням машин, люд.-год. На 100 кв. м витрати труда робітників, що обслуговують машини, люд.-год. На 100 кв. м (Шифр і номер позиції нормативу)		
		Спосіб виконання робіт		
		З землі та риштувань	З драбин або навісних систем	З люльок
1	2	3	4	5
1. Технології очистки фасаду				
1.1	Очищення вручну	42,41 - (РН12-65-4)	53,13 - (РН12-65-5)	50,99 - (РН12-65-6)
1.2	Піскоструменевим апаратом	26,07 11,4224 (РН11-51-2)	31,28 13,7069 (Р11-51-1)	31,19 13,7116 (РН11-51-2)
1.3	Гідроструменеве очищення	45,5 1,78 (ПР13-8037)		
2. Технології штукатурення поверхні				
2.1	Ручне штукатурення	211 1,8035 (ПР15-1109)		437,42 1,3038 (РН11-19-1)
2.2	Механізоване	34,98 0,4704 (ПР15-5411)		
3. Технології грунтування поверхні				
3.1	Ручне грунтування	18,95 0,25 (ПР15-5399)		
3.2	Грунтування пульвелізатором	8,34 0,4715 (РН12-27-1)	11,66 0,6095 (РН12-27-2)	13,53 0,575 (РН12-27-3)
Технології фарбування поверхні				
4.1	Ручне фарбування	14,3 0,0222 (ЕН15-158-1)		21,89 - (ЕН15-162-1)
4.2	Механізоване фарбування	12,40 0,2381 (Е13-21-2)		

Пошук оптимальних технологічних послідовностей засобами PTC Mathcad Prime.

Для пошуку загальних оптимальних послідовностей необхідно знайти оптимальні значення в кожній групі та підгрупі.

Обмеження кількості даних в групі технологій

$$t := \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix}$$

Рис. 1 – призначення матриці t.

Додаємо відповідні дані способів виконання робіт з таблиці 1 у матриці a, b, c, що відповідають способу (рис. 2).

Норми часу технологій

$$a := \begin{bmatrix} 42.41 \\ 26.07 \\ 45.50 \\ 211 \\ 34.98 \\ 18.95 \\ 8.34 \\ 14.30 \\ 12.40 \end{bmatrix} \quad b := \begin{bmatrix} 50.99 \\ 31.28 \\ 45.50 \\ 211 \\ 34.98 \\ 18.95 \\ 11.66 \\ 14.30 \\ 12.40 \end{bmatrix} \quad c := \begin{bmatrix} 50.99 \\ 31.19 \\ 45.50 \\ 437.42 \\ 34.98 \\ 18.98 \\ 13.53 \\ 21.89 \\ 12.40 \end{bmatrix}$$

Рис. 2 – призначення матриць a, b, c

Задаємо нульові значення коефіцієнтів для кожного значення, де x відповідає a, y відповідає b, z відповідає c (рис. 3).

Попередні значення невідомих

$$x := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad y := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad z := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 3. призначення матриць x, y, z.

Цільовою функцією буде сума добутків значень та їх коефіцієнтів в межах технологічної підгрупи t (рис. 4).

Цільова функція

$$f(x,y,z) := \sum_{i=1}^{\sum t} a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^{\sum t} b_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^{\sum t} c_i \cdot z_i$$

Рис. 4. призначення функції f(x, y, z), що буде цільовою

Загальними обмеженнями для пошуку мінімального значення цільової функції будуть значення коефіцієнтів більші за нуль (рис. 5).

Обмеження цільової функції

$$x > 0 \qquad y > 0 \qquad z > 0$$

Рис. 5. задавання обмежень x, y, z.

Оскільки може використовуватись лише один спосіб технологічної групи, то коефіцієнти однієї групи технологій є дихотомічними значеннями та їх сума має дорівнювати одиниці. Враховуючи, що перша група рахується з початку, немає необхідності введення нижньої межі обмежень i. Отже обмеження для першої групи технологій буде наступним (рис. 6).

1 група технологій

$$\sum_{i=1}^{t_1} x_i + \sum_{i=1}^{t_1} y_i + \sum_{i=1}^{t_1} z_i = 1$$

Рис. 6. задавання обмежень по першій групі технологій

Для обмежень другої групи технологій необхідно задати верхні і нижні межі i, тому введено змінну n, що відповідає за номер групи (рис. 7).

2 група технологій (n - номер групи)

$$n := 2$$

$$\sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} x_i + \sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} y_i + \sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} z_i = 1$$

Рис. 7. задавання обмежень по другій групі технологій

Аналогічними є обмеження для третьої та четвертої груп (рис. 8).

3 група технологій

$$n := 3$$

$$\sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} x_i + \sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} y_i + \sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} z_i = 1$$

4 група технологій

$$n := 4$$

$$\sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} x_i + \sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} y_i + \sum_{i=\sum_{l=1}^{n-1} t_l + 1}^{\sum_{l=1}^{n} t_l} z_i = 1$$

Рис. 8. задавання обмежень по третій та четвертій групах технологій

Для вирішення задачі використовуємо функцію оптимізації minimize() цільової функції f з вхідними аргументами x, y, z, а матрицю з результатом збережемо в змінній s (рис. 9).

$$s := \text{minimize}(f, x, y, z)$$

Рис. 9. призначення змінній s результату функції оптимізації

Результатом функції оптимізації буде матриця з дихотомічними коефіцієнтами, де s1 відповідає x, s2 відповідає y, s3 відповідає z (рис. 10).

$$s_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad s_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad s_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Знаходимо суми коефіцієнтів по кожному способу всіх підгруп (рис. 11).

$$\sum s_1 = 4.00 \qquad \sum s_2 = 0.00 \qquad \sum s_3 = 0.00$$

Рис. 11. пошук сум коефіцієнтів

Підставивши отримані коефіцієнти в цільову функцію отримаємо мінімальне значення, що відповідає результату підбору оптимальної технологічної послідовності з таблиці 1 (рис. 12).

$$f(s_1, s_2, s_3) = 81.79$$

Рис. 12. знаходження результату цільової функції

Використання описаної структури в PTC Mathcad Prime може бути масштабоване для пошуку оптимальних технологічних послідовностей не тільки для окремих видів робіт, а й для циклу будівельного виробництва в цілому.

Збільшення критеріїв, таких як вартість робіт та витрати матеріалів для даної структури розрахунку також не є проблемою масштабування: в цільову функцію додаються добутками відповідні додаткові дані у відповідній залежності з попередньо створених масивів значень додаткових критеріїв.

Пошук оптимальних технологічних послідовностей засобами Microsoft365 Excel.

Для пошуку оптимальних послідовностей проведемо оцінку наявних даних засобами надбудови «Розв'язувач» табличного процесора Microsoft365 Excel.

Занесемо дані з таблиці 1 у таблицю Excel. Масиву a будуть відповідати чарунки із діапазоном C3:C11, масиву b будуть відповідати чарунки із діапазоном D3:D11, масиву c будуть відповідати чарунки із діапазоном E3:E11 (рис. 13).

Розмірності масивів коефіцієнтів x, y, z відповідають розмірності масивів даних a, b, c.

Масиву x відповідають чарунки J3:J11, масиву y відповідають чарунки K3:K11, масиву z відповідають чарунки L3:L11 (рис. 14).

Змінюючи значення в чарунках діапазону J3:L11 (x1:z9) ми отримаємо коефіцієнти цільової функції які мають наступні обмеження:

$$a_i \quad x_i + b_i \quad y_i + c_i \quad z_i = 1, \qquad (1)$$

	A	B	C	D	E
1	№ з./п.	Назва технології	a з риштувань	b з навісних систем	c з люльок
2	1	2	3	4	5
3	1	1.1 Очищення вручну	42,41	50,13	50,99
4	2	1.2 Піскоструменевим апаратом	26,07	31,28	31,19
5	3	1.3 Гідроструменеве очищення	45,50	45,50	45,50
6	4	2.1 Ручне штукатурення	211,00	211,00	437,42
7	5	2.2 Механізоване	34,98	34,98	34,98
8	6	3.1 Ручне грунтування	18,95	18,95	18,95
9	7	3.2 Грунтування пульвелізатором	8,34	11,66	13,53
10	8	4.1 Ручне фарбування	14,30	14,30	21,89
11	9	4.2 Механізоване фарбування	12,40	12,40	12,40
12	Мінімальна сума оптимальних значень (цільова функція)				

Рис. 13. вхідні значення

	A	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	i (№ з./п.)	a · x	b · y	c · z	MIN	x з риштувань	y з навісних систем	z з люльок	x+y+z =	1	SUM 1-3, 4-5, 6-7, 8-9
2	1	9	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	
4	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	0
5	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	
6	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	0
7	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	
8	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	0
9	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	
10	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	0
11	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	
12		Результат цільової функції			0,00	0	0	0			

Рис. 14. структура вихідних значень, де x, y та z відповідні коефіцієнти для a, b, c

де a, b, c – значення кожної з технологій;

x, y, z - коефіцієнти для відповідних значень a, b, c;

i – номер способу в технології;

$$\Sigma_{(i=1..3,4..5,6..7,8..9)}\ a_i \bullet x_i + b_i \bullet y_i + c_i \bullet z_i = 1, \quad (2)$$

Цільова функція – сума всіх значень з відповідними коефіцієнтами

$$f(x, y, z) = \Sigma\ (a \bullet x + b \bullet y + c \bullet z), \quad (3)$$

Вносимо необхідні параметри в розв'язувач:

Результат цільової функції: I12;

Зміна коефіцієнтів *x, y, z* діапазон: J3:L11;

Обмеження:

O3=N3, O6=N6, O8=N8, O10=N10 – сума коефіцієнтів підгруп дорівнює одиниці.

J3:J11<=N3:N11, K3:K11<=N3:N11, L3:L11<=N3:N11 – кожен коефіцієнт мусить бути дихотомічним значенням, оскільки спосіб використовується або не використовується. Комбінування способів в межах технології не допускається. (рис. 15).

Результатом роботи розв'язувача будуть знайдені коефіцієнти x, y, z в діапазоні чарунок J3:L11 та результат цільової функції в чарунці I12.

Чарунки J12, K12 та L12 – контрольні суми коефіцієнтів x, y, z в межах J3:L11 відповідно (рис.16).

Результат роботи розв'язувача Microsoft365 Excel повністю повторює результат PTC Mathcad Prime, однак масштабування моделі неможливе.

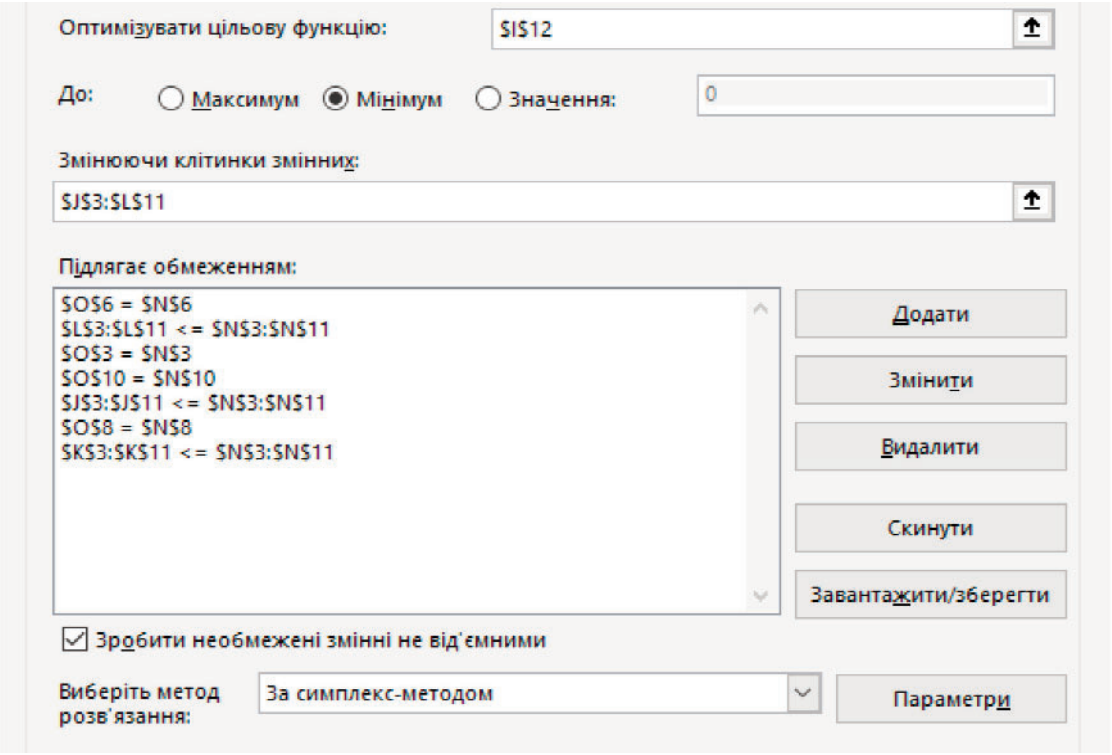


Рис. 15. внесення аргументів у розв'язувач

	A	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	i (№ з./п.)	a · x	b · y	c · z	MIN	x з риштувань	y з навісних систем	z з люльок	x+y+z =	1	SUM 1-3, 4-5, 6-7, 8-9
2	1	9	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	
4	2	26,07	0,00	0,00	26,07	1,000	0,000	0,000	1,00	1	1
5	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	
6	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	1
7	5	34,98	0,00	0,00	34,98	1,000	0,000	0,000	1,00	1	
8	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	1
9	7	8,34	0,00	0,00	8,34	1,000	0,000	0,000	1,00	1	
10	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	1	1
11	9	12,40	0,00	0,00	12,40	1,000	0,000	0,000	1,00	1	
12		Результат цільової функції			81,79	4	0	0			

Рис. 16. результат роботи розв'язувача

Будь-яке змінення структури (збільшення або зменшення) призведе до необхідності коригування цільової функції та встановленні нових обмежень по групам аналізу даних, що при великій кількості груп може призвести до технічних помилок та неправильного розв'язання задачі.

Пошук оптимальних технологічних послідовностей ранжуванням даних.

Вище представлені рішення є достатньо простим засобом пошуку оптимізації в будівельному виробництві, що можуть бути автоматизовані засобами обчислювальної техніки. Нажаль вказані методи не можуть надати інформацію щодо рейтингу технологічних послідовностей та надати можливість обрати декілька з них для порівнянь на рівні технологічної карти. Оптимальним методом аналізу рейтингу буде використання рангової системи аналізу даних. Крім того, простота рангової системи дозволяє використати її без залучення обчислювальної техніки та спеціалізованого програмного забезпечення.

Застосовуємо систему рангів для оцінки технологій використовуючи округлену норму часу від 1 до 100 відносно максимальної трудомісткості по групі технологій.

Розрахунок рангу виконується за наступною формулою:

$$G_j \quad \left\lceil \frac{X_{i \in G_j}}{\max\{X_{i \in G_j}\}} \cdot 100 \right\rceil, \tag{4}$$

де G1..a – послідовність групи технологій;

X1..n – трудомісткість технології виконання робіт $X_i \in G_j$;

Yi – ранг за розрахунком $Y_i \in G_j$;

i – номер способу в групі;

j – номер технологічної групи;

Середній ранг по групі технологій розраховується за формулою:

$$Z_{i \in G_j} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_{i \in G_j}}{n} \right\rceil, \tag{5}$$

де Zn – середній бал по технології;

n – кількість технологій в групі;

Результати заносимо в масив даних таблиці 2.

Отримані результати занесемо в таблицю 3.

Таблиця 2.

Масив даних

N	G	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z
1	1	42,41	53,13	50,99	80	100	96	92
2	1	26,07	33,28	31,19	49	63	59	57
3	1	45,5	45,5	45,5	86	86	86	86
1	2	211	211	437,42	48	48	100	65
2	2	34,98	34,98	34,98	8	8	8	8
1	3	18,95	18,95	18,95	100	100	100	100
2	3	8,34	11,66	13,53	44	62	71	59
1	4	14,3	14,3	21,89	65	65	100	77
2	4	12,4	12,4	12,4	57	57	57	57

Таблиця 3.

Ранжування підгруп даних

№з./п.	Назва технології	Ранг по способу виконання робіт			Середній ранг
		З землі та риштувань	З драбин або навісних систем	З люльок	
1	2	3	4	5	6
1. Технології очистки фасаду					
1.1	Очищення вручну	80	100	96	92
1.2	Піскоструменевим апаратом	49	63	59	57
1.3	Гідроструменеве очищення	86	86	86	86
2. Технології штукатурення поверхні					
2.1	Ручне штукатурення	48	48	100	65
2.2	Механізоване	8	8	8	8
3. Технології грунтування поверхні					
3.1	Ручне грунтування	100	100	100	100
3.2	Грунтування пульвелізатором	44	62	71	59
4. Технології фарбування поверхні					
4.1	Ручне фарбування	65	65	100	77
4.2	Механізоване фарбування	57	57	57	57

Найменший ранг означає найскоріше виконання робіт за технологією.

Обираємо та залишимо лише технологію з найменшим рангом.

За сумою балів визначимо кращу технологічну послідовність.

Розрахунок за формулою:

$$R_i = \sum_{j=1}^{a} Z_j \in G_j, \quad (6)$$

Де, Ri – сума балів технологічної послідовності.
Zj – середній ранг по технології в групі Z_j G_j;
а – кількість технологічних груп.
Запишемо результат у таблицю 4.

Таблиця 4.

Ранжування послідовностей

№ технології	Назва технології	Ранг по способу виконання робіт		
		З землі та риштувань	З драбин або навісних систем	З люльок
1	2	3	4	5
1. Технології очистки фасаду				
1.1	Піскоструменевим апаратом	26	31	31
2. Технології штукатурення поверхні				
2.2	Механізоване	34	34	34
3. Технології грунтування поверхні				
3.2	Грунтування пульвелізатором	8	11	13
4. Технології фарбування поверхні				
4.2	Механізоване фарбування	12	12	12
Сума рангів		80	88	90

Найкращими технологічними послідовностями для виконання вищевказаних оздоблювальних робіт є технологічна послідовність виконання робіт землі та риштувань, альтернативна може бути технологічна послідовність виконання робіт з землі та навісних систем.

Висновки.

У даній статті була розглянута задача оптимізації організації будівництва, яка може бути вирішена методом лінійного програмування, та ранжуванням даних. Детально розглянуто рішення завдання різними програмними засобами. Знайдено оптимальні технологічні послідовності виконання робіт за допомогою PTC Mathcad Prime, Microsoft365 Excel та ранжуванням даних. При порівнянні цих методів, більш точний результат дає PTC Mathcad Prime, по котрим і отримано рейтинги технологічних послідовностей.

Література

1. Papadaki I.N., Chassiakos A.P. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms // Procedia Engineering. 2016. №164. pp. 20-27.

2. Ning X., Qi J., Wu C., Wang W. Reducing noise pollution by planning construction site layout via a multi-objective optimization model // Journal of Cleaner Production. 2019. №222. pp. 218-230.

3. Hammad A.W.A., Rey A.D. A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout to minimize noise pollution and transport costs // Automation in Construction. 2016. №61. pp. 73-85.

4. Чирас А.А. Строительная механика. Москва: Стройиздат, 1989. 256 с.

5. Чирас А.А., Боркаускас А.Э., Каркаускас Р.П. Теория и методы оптимизации упруго-пластических систем. Л.: Стройиздат, 1974. 279 с.

6. Чирас А.А. Математические модели анализа и оптимизации упруго-пластических систем. Вильнюс, Мокслас, 1982. 112 с.

7. Suvorov A.P., Dvorak G.J. Optimized fiber prestress for reduction of free edge stresses in composite laminates // International Journal of Solids and Structures. 2001. №38. pp. 6751-6786.

8. Попов Ю.Д. Методи оптимізації. Навчальний електронний посібник для студентів спеціальностей "Прикладна математика", "Інформатика", "Соціальна інформатика" / Ю.Д. Попов, В.І. Тюптя, В.І. Шевченко – К.: Електронне видання. Ел. бібліотека ф-ту кібернетики КНУ імені Тараса Шевченка, 2003. 215 с.

9. Григорків В.С. Практикум з математичного програмування: Учбовий посібник для студентів економічних спеціальностей вузів / В.С. Григорків, М.В. Бойчук. – Чернівці: Прут, 1995. – 244 с.

10. Деордица Ю.С. Исследование операций в планировании и управлении / Ю.С. Деордица, Ю.М. Нефедов. — Киев: Вища школа, 1991. – 212 с.

11. Жалдак М. І. Основи теорії і методів оптимізації : навч. посіб. / М. І. Жалдак, Ю. В. Триус. – Черкаси : Брама-Україна, 2005. – 608 с.

12. Українець А. І. Задачі лінійного та нелінійного програмування: навч. посібник / А. І. Українець, А. М. Гуржій, В. В. Самсонов та ін. – К.: НУХТ, 2007. – 208 с.

References

1. Papadaki I.N., Chassiakos A.P. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms // Procedia Engineering. 2016. №164. pp. 20-27.

2. Ning X., Qi J., Wu C., Wang W. Reducing noise pollution by planning construction site layout via a multi-objective optimization model // Journal of Cleaner Production. 2019. №222. pp. 218-230.

3. Hammad A.W.A., Rey A.D. A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout to minimize noise pollution and transport costs // Automation in Construction. 2016. №61. pp. 73-85.

4. Chyras A.A. Stroytelnaia mekhanyka. Moskva: Stroiyzdat, 1989. 256 s.

5. Chyras A.A., Borkauskas A.Э., Karkauskas R.P. Teoryia y metodы optymyzatsyy upruho-plastycheskykh system. L.: Stroiyzdat, 1974. 279 s.

6. Chyras A.A. Matematycheskye modely analyza y optymyzatsyy upruho-plastycheskykh system. Vylnius, Mokslas, 1982. 112 s.

7. Suvorov A.P., Dvorak G.J. Optimized fiber prestress for reduction of free edge stresses in composite laminates // International Journal of Solids and Structures. 2001. №38. pp. 6751-6786.

8. Popov Yu.D. Metody optymizatsii. Navchalnyi elektronnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnostei "Prykladna matematyka", "Informatyka", "Sotsialna informatyka" / Yu.D. Popov, V.I. Tiuptia, V.I. Shevchenko – K.: Elektronne vydannia. El. biblioteka f-tu kibernetyky KNU imeni Tarasa Shevchenka, 2003. 215 s.

9. Hryhorkiv V.S. Praktykum z matematychnoho prohramuvannia: Uchbovyi posibnyk dlia studentiv ekonomichnykh spetsialnostei vuziv / V.S. Hryhorkiv, M.V. Boichuk. – Chernivtsi: Prut, 1995. – 244 s.

10. Deordytsa Yu.S. Yssledovanye operatsyi v planyrovanyy y upravlenyy / Yu.S. Deordytsa, Yu.M. Nefedov. — Kyev: Vyshcha shkola, 1991. – 212 s.

11. Zhaldak M. I. Osnovy teorii i metodiv optymizatsii : navch. posib. / M. I. Zhaldak, Yu. V. Tryus. – Cherkasy : Brama-Ukraina, 2005. – 608 s.

12. Ukrainets A. I. Zadachi liniinoho ta neliniinoho prohramuvannia: navch. posibnyk / A. I. Ukrainets, A. M. Hurzhii, V. V. Samsonov ta in. – K.: NUKhT, 2007. – 208 s.

[1] **V.O. Halushko,** Doctor of Technical Sciences, Prof. of the Department of Building Structures, Buildings and Structures, DonNaba, ORCID 0000100011574410486;
[2] **D. Yu. Uvarov,** graduate student of the Department of TBV, ODABA,
head of the design department of LLC UPS FORT. ORCID: 000010002135911342X;
[3] **A.S. Uvarova,** student of the . ORCID: 0000-0002-1416-7181
[1] Donbas National Academy of Construction and Architecture
[2] Odesa State Academy of Construction and Architecture, Odesa
[3] Khortitsky Educational and Rehabilitation Academy, Zaporiggia

RESEARCH OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL SEQUENCES IN THE ORGANIZATION OF CONSTRUCTION PRODUCTION

Abstract. *The article discusses some problems of economics and organization of construction, which can be solved by linear programming using PTC Mathcad Prime, Excel Microsoft365 and data ranking. The authors analyzed the literature, which presents the existing optimization methods in various industries and the field of construction production. Shows the basic principles of using linear programming in various software tools. The authors analyzed in detail the comparison of different methods for the selection of optimal technological sequences. Examples of solving optimization problems in construction production by means of linear programming and data ranking method are presented. To solve the problem, the technology of applying the mixture to a vertical surface was used. Namely: cleaning the facade, plastering the surface, painting the surface. Three technologies were considered. For applying to a vertical surface using standard equipment are scaffolding, ladders and cradles. The process flow consists of the following processes: This is surface preparation. It can be performed in three ways: manual cleaning, sandblasting apparatus, hydrojetting. The next process is the technology of plastering the surface. At this stage, two options are considered: manual plastering and mechanized plaster application. Next, you perform a surface grouping process. This process can be performed either manually or using a pulverizer. And the last process is painting the surface. Considered manual painting or mechanized device. The next step was to analyze the possibilities of each of the optimization search methods and provide recommendations for their possible application in solving similar problems. Created a mathematical model that can be scaled to implement optimization search in groups of technological sequences with different methods of work. Conclusions were also made regarding the use of the presented methods in solving similar problems of construction production.*
This article may be an analog for calculating not only the mechanization processes, but it may become a meeting for automating the construction processes.
Keywords: *linear programming, optimisation method, technological processes for finishing jobs.*

УДК 624.15

[1] **С. В.Романов,** канд. техн. наук;
[2] **М. М. Козаченко,** ст.н.співроб.
[1, 2] ДП "Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С.Балицького", м. Київ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВДАВЛЮВАННЯ ПАЛЬ У РІЗНИХ ҐРУНТОВИХ УМОВАХ

Анотація. *На основі використання досвіду ДП НДІБВ та ТОВ фірма «ТЕХКОМП» з розроблення та застосування технології вдавлювання паль та шпунту при будівництві нових та реконструкції існуючих будівель в статті розглянуті питання ефективності технології вдавлювання паль в різних ґрунтових умовах. Метою даної статті є встановлення ефективної області застосування методу вдавлювання паль при влаштуванні або при підсиленні фундаментів будівель.*
Для досягнення вказаної мети були: оброблені і узагальнені результати виконаних в минулі роки робіт з вдавлювання паль; проаналізовано аналітичні залежності (1) і (2) між основними параметрами процесу вдавлювання паль, порушення яких робить вдавлювання паль неможливим або недоцільним; на основі статистичної обробки результатів випробувань дослідних вдавлених паль уточнені і приведені значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлених паль у часі Кгр, величини яких змінюються в різних ґрунтових умовах від 0,6 до 1,5.
З залежності (2) випливає що чім більш значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлених паль у часі Кгр, тим менш необхідне вдавлююче зусилля для забезпечення однієї і тієї ж несучої здатності паль Fd. Наприклад, для забезпечення несучої здатності палі 1000 кН потрібні такі значення зусилля вдавлювання Nвд: при Кгр=1,5 Nвд=800 кН; при Кгр=1,0 Nвд=1200 кН; при Кгр=0,6 Nвд=2000 кН.
Це означає, що для досягнення одного і того ж ефекту при вдавлюванні палі в ґрунтових умовах, де Кгр=0,6 потрібне зусилля вдавлювання в 2,5 рази більш, ніж у ґрунтових умовах, де Кгр=1,5.
Виходячи з викладеного, усі ґрунтові умові, представлені кількома ґрупами, по ефективності застосування технології вдавлювання паль запропоновано класифікувати (грунтові умови) на три наступні групи: I група – «високоефективна» - ґрунтові умови, що мають Кгр 1,1; II група – «ефективна» - ґрунтові умові, що мають 0,9 Кгр 1,1; III група – «не ефективна»- ґрунтові умові, що мають Кгр 0,9.
В статті наведені наступні висновки.
Область застосування методу вдавлювання паль по ґрунтовим умовам характеризується наявністю трьох груп умов: група I – високоефективні умови; група II – ефективні умови; група III – не ефективні умови.
Ґрунтові умови I групи, в яких метод вдавлювання паль має високу ефективність представлені зверху до кровлі несучого шару пилувато-глинистими ґрунтами з показником консистенції IL > 0,25 і мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавлюваної палі у часі Кгр не менш ніж 1,10 (дивись п.п. 1,2,3,4 таблиці 1).
Ґрунтові умові II групи, в яких метод вдавлювання паль достатньо ефективен, відрізняються від умов групи I тім що в прорізаемих палями пилувато-глинистих ґрунтах з IL >0,25 можуть бути щільні прошарки пісчаних або пилувато-глинистих ґрунтів і мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавленої палі 0,9 Кгр <1,1 (див.п.п. 5,6,7 таблиці 1). В таких умовах вдавлювання паль, як правило, виконують через лідерні свердловини, або з використанням ефекту тиксотропії ґрунту бурінням свердловин без вилучення ґрунту. Це погіршує порівняно з ґрунтовими умовами I групи таки показники як вартість, продуктивність та строки виконання робіт.
Ґрунтові умови III групи, представлені пісками середньої щільності або щільними зі значенням коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавленої палі Кгр<0,9 необхідно виключити із області застосування технології вдавлювання паль.
Ключові слова. *Технологія вдавлювання, паля, ґрунтові умови, ефективність, коефіцієнт зміна, несуча здатність, ґрунт.*

Вступ

Протягом понад 35 років Науково-дослідним інститутом будівельного виробництва Мінрегіону України (ДП НДІБВ) спільно з ТОВ фірма «ТЕХКОМП» ведуться дослідження та відпрацювання в натурних умовах на експериментальних та дослідних зразках сваевдавлюючого обладнання технології занурення паль та шпунту вдавлюванням на реальних об'єктах будівництва нових і реконструкції існуючих будівель та споруд.

На основі узагальнення нашого досвіду нижче розглянуті питання ефективності методу вдавлювання паль у різних ґрунтових умовах.

Предмет і методи досліджень

Предметом досліджень даної статті є ефективність технології вдавлювання паль у різних ґрунтових умовах будівельних майданчиків при влаштуванні фундаментів при будівництві нових об'єктів та при підсиленні фундаментів реконструйруемих буді-

вель. Дослідження виконані на основі узагальнення багаторічного досвіду з використанням методів експериментальних досліджень і випробувань в натурних умовах, аналітичних, статистичних та інших.

Мета досліджень

Метою досліджень даної статті е встановлення ефективної області застосування методу вдавлювання паль по ґрунтовим умовам при влаштуванні фундаментів нових об'єктів будівництва або при підсиленні фундаментів існуючих будівель.

Виклад основного матеріалу

При застосуванні технології занурення паль методом вдавлювання одночасно повинні виконуватись наступні залежності

$$Рств \geq Nвд \geq Ргр \quad (1)$$

$$Nвд \cdot \frac{Кгр}{γк} \geq Fd \quad (2)$$

де Рств - поздовжнє стискуюче зусилля на стовбур палі з умови міцності матеріалу палі, що допускається в процесі вдавлювання, кН;

N вд - зусилля вдавлювання, що задовольняє умові (1), кН;

Ргр - опір ґрунту вдавлюванню палі проектних розмірів, кН;

Кгр - коефіцієнт, що враховує зміну несучої здатності ґрунтів навколо палі у часі;

γк - коефіцієнт надійності, що приймається рівним 1, 2;

Fd - розрахункова здатність однієї вдавленої палі, прийнята в проекті, кН. Ліва частина залежності (1) означає, що стовбур палі здатний витримати вдавлююче зусилля Nвд. Порушення цієї умови робить процес вдавлювання неможливим: паля руйнуватиметься у процесі вдавлювання.

Відповідно до Зміни №1 до ДБН В.2.1-10-2009 [1] значення Рств визначається розрахунком за міцністю матеріалу відповідно до вимог ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» [2], розглядаючи при цьому палю як стрижень, жорстко затиснений у ґрунті на глибині L1 і при цьому повинен враховуватися випадковий ексцентриситет не менше 1/600 довжини елемента та 1/30 від висоти поперечного перерізу паль. Більш детально питання розрахунку величини Рств при вдавлюванні залізобетонних паль з передачею зусилля, що вдавлює, через голову або через бічні грані (захопленням) роз-

Таблиця 1.

Значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавленої палі у часі Кгр.

№№ п/п	Ґрунтові умови будмайданчика		Кгр.
	Ґрунти, що прорізають палями	Ґрунт, в який заглиблені нижні кінці паль	
1	2	3	4
1.	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,5$	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,5$	1,5
2.	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,5$	Піски середньої щільності або щільні	1,2
3.	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $0,25 < J_L \leq 0,5$	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$	1,35
4.	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $0,25 < J_L \leq 0,5$	Піски середньої щільності або щільні	1,1
5.	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,25$ з прошарками до 50% глинистих ґрунтів консистенції $J_L < 0,25$ або пісків середньої щільності або щільних	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$	1,0
6.	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,25$ з прошарками до 50% глинистих ґрунтів консистенції $J_L < 0,25$ або пісків середньої щільності або щільних	Піски середньої щільності або щільні	0,9
7	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$ або піски середньої щільності та щільні з прошарками до 50% пилувато-глинистих ґрунтів консистенції $J_L > 0,25$	Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$	0,9
8.	Піски середньої щільності або щільні з прошарками до 50% пилувато-глинистих $J_L > 0,25$	Піски середньої щільності або щільні	0,8
9.	Піски середньої щільності або щільні	Піски середньої щільності або щільні	0,6

глянуті в окремій статті [13].

Права частина залежності (1) означає, що зусилля вдавлювання Nвд достатньо для занурення палі в ґрунт. Порушення цієї залежності також робить процес вдавлювання паль неможливим.

Величина опору ґрунту вдавлюванню Ргр при заданих розмірах палі повністю залежить від видів та фізико-механічних характеристик ґрунтів, що складають будівельний майданчик. Значення Ргр визначається за результатами польових випробувань натурних паль відповідно до ДСТУ Б.В.2.1-27 [3] або за даними випробувань ґрунтів палями відповідно до ДСТУ Б.В.2.1-1 (ГОСТ 5686) [4] або статичного зондування відповідно до ДСТУ Б.В.2.1-9 [5].

На практиці найчастіше, на стадії проектування значення Ргр визначають за даними статичного зондування ґрунтів, а перед початком масового занурення паль уточнюють за результатами вдавлювання контрольних робочих паль. Залежність (2) означає, що з часом (після «відпочинку» паль) при величині зусилля, що вдавлює Nвд буде забезпечена прийнята в проекті розрахункова несуча здатність паль Fd .

Між зусиллям вдавлювання палі в кінці занурення Nвд і несучою здатністю палі Fd існує прямий зв'язок: якщо з часом несуча здатність ґрунту навколо палі не буде змінюватися (Кгр = 1) і коефіцієнт надійності прийняти рівним одиниці, то несуча здатність палі Fd дорівнюватиме величині зусилля наприкінці занурення палі (Fd = Nвд.). Однак досвід показав [6], [7], що для вдавлюваних паль також як і для забивних паль, з часом (після «відпочинку») несуча здатність ґрунту навколо палі змінюється порізному в різних ґрунтах: в глинистих ґрунтах - збільшується тим більше, чим вище їхня консистенція; у піщаних ґрунтах – зменшується [8].

Отримані нами на основі обробки поки що обмеженої кількості результатів випробувань паль, занурених методом вдавлювання, значення коефіцієнтів зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлених паль у часі наведено в таблиці 1.

З залежності (2) випливає, що чим більше значення коефіцієнта Кгр. тим менше необхідно вдавлююче зусилля для забезпечення однієї і тієї ж необхідної несучої здатності паль Fd. Наприклад, для забезпечення несучої здатності палі 1000 кН потрібні такі значення зусилля вдавлювання Nвд.

при Кгр. = 1,5 Nвд. = 800 кН;
Кгр. = 1,0 Nвд. = 1200 кН;
Кгр. = 0,6 Nвд. = 2000 кН.

Це означає, що для досягнення одного і того ж ефекту – вдавлювання однієї палі із заданою несучою здатністю в ґрунтових умовах №9 у таблиці 1 буде потрібно зусилля вдавлювання в 2,5 рази більше, ніж у ґрунтових умовах №1 у таблиці 1, та в 1 ,67 рази більше ніж у ґрунтових умовах №5 таблиці 1.

Якщо оцінювати ефективність технології вдавлювання в певних інженерно - геологічних умовах за ймовірністю (можливістю) порушення в процесі виконання робіт залежності (1), що рівносильне неможливості застосування технології вдавлювання паль у даних ґрунтових умовах, то, очевидно, що ефективність технології вдавлювання паль буде вищою, у тих ґрунтових умовах, у яких потрібно менше зусилля вдавлювання Nвд. для забезпечення заданого проектного значення несучої здатності паль Fd , тобто в тих ґрунтових умовах, в яких більше значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавленої палі Кгр.

Виходячи з викладеного за ефективністю застосування технології вдавлювання паль усі ґрунтові умови, представлені пухкими (нескальними) ґрунтами можна розбити на три групи, наведені в таблиці 2.

Наведена в таблиці 2 класифікація ефективності застосування технології занурення паль та шпунта вдавлюванням підтверджується результатами виконаних нами робіт з вдавлювання паль на десятках реальних об'єктів з будівництва нових та реконструкції існуючих будівель та споруд у м. Києві, Одесі, Калінінграді, Борисполі та других містах.

Досвід показав, що для I групи ґрунтових умов (високоефективна) характерна «легкість» виконання робіт з вдавлювання паль, що виражається у відсутності будь-яких труднощів при виконанні робіт, висока продуктивність і рентабельність робіт, підвищена конкурентоспроможність вдавлюваних паль з іншими альтернативними способами пальових робіт.

У таких високоефективних ґрунтових умовах I групи нами були виконані роботи з вдавлювання паль на більшості об'єктів нового будівництва у м.м. Одесі, Калінінграді, Борисполі та кілька об'єктів у м. Києві. При цьому єдиним ускладненням на деяких об'єктах з високим рівнем ґрунтових вод була складність переміщення будівельної техніки в котловані будмайданчика через обводнення ґрунтів. Ця складність характерна не тільки для технології вдавлювання, а й для всіх інших технологій пальових робіт. Подолалася ця складність традиційно: відсипанням по дну котловану шару ґрунту, що добре дренує, наприклад, піску або застосуванням сланів.

У ґрунтових умовах II групи для продавлювання прошарків щільних ґрунтів потрібно збільшувати зусилля вдавлювання, значення якого може при цьому перевищувати допустиму величину Рств. залежності (1) або величину зусилля яке може ство-

Таблиця 2.

Групи грунтових умов по ефективності технології вдавлювання паль

Групи грунтових умов	Нумера грунтових умов в таблиці 1	Позначення $К_{гр.}$
I група «високоефективна»	1, 2, 3, 4	$К_{гр.} > 1,10$
II - група «ефективна»	5, 6 , 7	$0,9 \le К_{гр.} < 1,1$
III – група «неефективна»	8,9	$К_{гр.} < 0,9$

рити застосовуване сваєвдавлююче обладнання. Тому в таких умовах вдавлювання паль, як правило, виконують через лідерні свердловини або з використанням ефекту тиксотропії (розущільнення) ґрунту бурінням свердловини без вилучення ґрунту [9]. Це робить технологію вдавлювання паль цілком конкурентною, але погіршує порівняно з ґрунтовими умовами I групи такі показники як вартість, продуктивність та строки виконання робіт.

Однак незважаючи на це технологія вдавлювання паль у ґрунтових умовах II групи часто застосовується як при новому будівництві так і при посиленні фундаментів існуючих та реконструйованих будівель. Зокрема, лише нами виконано вдавлювання паль на 26 об'єктах у м. Києві у ґрунтових умовах II групи.

Що стосується Ш групи ґрунтових умов представлених пісками, то нами спочатку піски були виключені з галузі застосування технології вдавлювання паль і шпунту [10], [11]. Проте спроби вдавлювання паль у піски були і є досі, сподіваючись досягнення бажаного результату з допомогою буріння лідерних свердловин. Наш досвід застосування технології вдавлювання паль у пісках на двох об'єктах у м. Києві показав, що буріння лідерних свердловин у пісках не дає бажаного результату. На одному об'єкті, на Оболоні в намивних пісках з рівнем ґрунтових вод на глибині 3,2м, при глибині лідерної свердловини 5,0м діаметром 300мм палі перетином 300х300мм довжиною 6,0м при вдавлюванні давали відмову (зупинялися) на глибині 3,5м при зусиллі вдавлювання 900 кн.

Для занурення паль до проектної позначки на цьому об'єкті було прийнято та реалізовано рішення добивати палі дизельмолотом С 996.

На іншому об'єкті на Подолі у водонасичених пісках дрібних середньої щільності палі перетином 300х300мм довжиною 8м при глибині лідерної свердловини 5м давали «відмову» при навантаженні, що вдавлює, 900 кН на глибині 2,70 ч 3,0м. При спробі додавити палі на другий день палі «зривалися» (починали занурюватися) при навантаженнях 500 - 550кН, але після занурення на 120 ч 150мм при навантаженнях 900 ч 950кН зупинялися і при подальшому збільшенні навантаження палі не занурювались. В цих умовах було прийнято рішення вдавлювати палі через лідерні свердловини, буріння яких виконувалося під захистом глинистого розчину. Така технологія дозволила занурити палі на проектну позначку і забезпечити необхідну несучу здатність. Однак ефективною цю технологію вдавлювання паль назвати не можна, оскільки буріння лідерних свердловин під захистом глинистого розчину значно погіршило показники вартості, тривалості та трудомісткості виконання робіт.

На практиці, у випадках аналогічних наведеним вище двом прикладам, як правило, технологію занурення паль не змінюють, а в кращому випадку недозанурені палі зрубують на проектній позначці, що робить фундаменти ненадійними, так як можуть бути порушені умови розрахунку як по I так і по II граничним станів.

У гіршому випадку і найчастіше недозанурені палі, що дали «відмову» при проектному значенні зусилля, що вдавлює, намагаються додавити збільшуючи вдавлююче зусилля до величини, яке перевищує граничну несучу здатність палі за матеріалом. В результаті існує велика ймовірність руйнування палі, чого працівники, що обслуговують своєвдавлюючу установку, можуть і не помітити, але це дозволить занурити палю на проектну позначку та уникнути операції зі зрубування палі. Цей момент дуже важливий для установок з передачею зусилля, що вдавлює, на палю через бічні грані за допомогою захоплень, так як така своєвдавливаюча установка не може зрушитися з точки, поки не буде зрубана паля або занурена нижче захоплення. З вищевикладеного слід, що технологія вдавлювання паль у ґрунтових умовах складених пісками (Ш група за таблицею 2) не тільки неефективна а й ненадійна.

Це підтверджує практика. Так на сьогодні в м. Києві нам відомо, принаймні одна будівля, побудована на палях, що вдавлюються, в пісках, що вимагає посилення фундаментів, через їх нерівномірні осади.

Для виключення подібних випадків необхідно розробити та ввести в дію ДСТУ по технології улаштування паль, що вдавлюються, тому що розроблені НДІБВ і введені в дію в 1991 році РСН 357-91 «Технология устройства фундаментов из железобетонных свай, погружаемых вдавливанием» стосується технології застосування палевдавлюючого обладнання з вакуумним анкером, а сьогодні вдавлювання паль і шпунту виконуються в основному обладнанням гравітационного типу (з використанням ваги обладнання і анкерних вантажів), або з використанням ваги конструкцій існуючих будівель (при підсиленні фундаментів), або з використанням ефекту ґрунтового вдавлювання (при вдавливані шпунту).

У піщаних ґрунтах, у тому числі водонасичених, метод вдавлювання ефективно може бути застосований у так званих, буровдавлюваних палях за аналогією з бурозабивними палями, запропонованими колишнім директором НДІБВ Ревою Володимиром Захаровичем [12], за рахунок підвищеної несучої здатності таких паль.

Сутність цієї технології в тому, що через свердловину глибиною на 1 - 3м менше довжини ж/б палі, заповнену повільнотвердіючим розчином, що повільно твердіє, вдавлюється залізобетонна паля з розміром діагоналі поперечного перерізу не більше діаметра свердловини (Рис.1).

Ефект підвищеної несучої здатності тут досягається за рахунок того, що вся енергія вдавлюючого зусилля витрачається на заглиблення нижнього кінця з/б палі на 1 ч 3м нижче забою свердловини, а бурова частина палі після набору повільнотвердіючим розчином міцності включається в роботу по бічній поверхні. Несуча здатність такої палі визначається за формулою (3)

$$Ф = Nвд. \cdot Кгр. + U\Sigma\, \gamma cf\, fi \cdot hi \qquad (3)$$

Nвд – зусилля вдавлювання залізобетонної палі наприкінці занурення, кН;

Кгр - коефіцієнт зміни у часі несучої здатності ґрунтів навколо вдавленої палі, що визначається за таблицею 1;

U – периметр поперечного перерізу свердловини, м;

γcf - коефіцієнт умов роботи ґрунту по боковій поверхні бурових паль, що визначається за таблицею Н.3.1 ДБН В.2.1-10-2009 [1];

fi - розрахунковий опір і-го шару ґрунту на бічній поверхні бурової частини палі, кПа, що приймається за таблицею Н.2.2. ДБН В.2.1-10-2009 [1];

hi – товщина і-го шару ґрунту по глибині свердловини, м.

У звіті [12] наведено склад повільнотвердіючого розчину та інші корисні дані за технологією буровибивних паль.

Висновки

1. Область застосування методу вдавлювання паль по ґрунтовим умовам характеризується наявністю трьох груп умов: група І – високоефективні умови; група ІІ – ефективні умови; група ІІІ – не ефективні умови.

2. Ґрунтові умови І групи, в яких метод вдавлювання паль має високу ефективність представлені зверху до кровлі несучого шару пилувато-глинистими ґрунтами з показником консистенції IL > 0,25 і мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавлюваної палі у часі Кгр не менш ніж 1,10 (дивись п.п. 1,2,3,4 таблиці 1).

3. Ґрунтові умові ІІ групи, в яких метод вдавлювання паль достатньо ефективен, відрізняються від умов групи І тім що в прорізаемих палями пилувато-глинистих ґрунтах з IL >0,25 можуть бути щільні прошарки пісчаних або пилувато-глинистих ґрунтів і мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавленої палі 0,9 ≤ Кгр <1,1 (див.п.п. 5,6,7 таблиці 1). В таких умовах вдавлювання паль, як правило, виконують через лідерні свердловини, або з використанням ефекту тиксотропії ґрунту бурінням свердловин без вилучення ґрунту. Це погіршує порівняно з ґрунтовими умовами І групи таки показники як вартість, продуктивність та строки виконання робіт.

4. Ґрунтові умови ІІІ групи, представлені піскаами середньої щільності або щільними зі значенням коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавленої палі Кгр<0,9, необхідно виключити із області застосування технології вдавлювання паль.

Література

1. Зміна №1 до ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. К., Мінрегіонбуд України.

2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К. Мінрегіонбуд України.

3. ДСТУ Б.В.2.1-27:2010. Основи та фундаменти споруд. Палі, Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. К. Мінрегіонбуд України.

4. ДСТУ Б.В.2.1-1 (ГОСТ 5686). Основи та фундаменти будинків і споруд. Ґрунті. Методи польових випробувань палями. К. Мінрегіонбуд України.

5. ДСТУ Б.В.2.1.9 (ГОСТ 19912). Основи та фундаменти будинків і споруд. Ґрунті. Методи випробувань статичним та динамічним зондуванням. К. Мінрегіонбуд України.

6. Б.В.Лейкін, Є.М.Перлей, Є.В.Светинський, Є.Б.Гаврилов. Техніка для занурення паль втисканням. Ж-л Механізація будівництва, 38, 1987.

7. Методичні рекомендації щодо проведення польових випробувань та оцінки несучої здатності забивних паль в обводнених лісових ґрунтах. К., НДІБВ, 1982.

8. ДСТУ Б.В.3.1-2:2016. Ремонт та підсилення несучих та огороджувальних конструкцій та основ будинків та споруд. К. Мінрегіонбуд України.

9. Романов С.В., Романов Д.А. Технологія вдавлювання паль по лідируючих свердловинах з використанням тиксотропії ґрунтів. Ж-л «Основи, фундаменти та механіка ґрунтів» №1, 1997.

10. Романов С.В., Яременко Г.Я., Глущенко Ю.М. Інструкція з технології занурення паль втисканням. К., НДІБВ, 1986.

11. РСН 357-91. Технологія влаштування фундаментів із залізобетонних паль, що занурюються вдавлюванням. К., Держбуд України.

12. Науково-технічний звіт АП НДІБВ на тему А-154.402-91 «Технологія улаштування збірно-монолітних бурозабивних паль у складних інженерно-геологічних умовах із застосуванням повільно-твердіючих розчинів». К., 1992.

13. Романов С.В. Розрахунок максимально допустимого навантаження на залізобетонну палю в процесі вдавлювання її в ґрунт. Ж-л. Нові технології в будівництві. № , 2023 рік.

References

1. Zmina №1 do DBN V.2.1-10-2009. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia. K., Minrehionbud Ukrainy.

2. DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. K. Minrehionbud Ukrainy.

3. DSTU B.V.2.1-27:2010. Osnovy ta fundamenty sporud. Pali, Vyznachennia nesuchoi zdatnosti za rezultatamy polovykh vyprobuvan. K. Minrehionbud Ukrainy.

4. DSTU B.V.2.1-1 (HOST 5686). Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Grunti. Metody polovykh vyprobuvan paliamy. K. Minrehionbud Ukrainy.

5. DSTU B.V.2.1.9 (HOST 19912). Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Grunti. Metody vyprobuvan statychnym ta dynamichnym zonduvanniam. K. Minrehionbud Ukrainy.

6. B.V.Leikin, Ye.M.Perlei, Ye.V.Svetynskyi, Ye.B.Havrylov. Tekhnika dlia zanurennia pal vtyskanniam. Zh-l Mekhanizatsiia budivnytstva, 38, 1987.

7. Metodychni rekomendatsii shchodo provedennia polovykh vyprobuvan ta otsinky nesuchoi zdatnosti zabyvnykh pal v obvod-

nenykh lisovykh gruntakh. K., NDIBV, 1982.
8. DSTU B.V.3.1-2:2016. Remont ta pidsylennia nesuchykh ta ohorodzhuvalnykh konstruktsii ta osnov budynkiv ta sporud. K. Minrehionbud Ukrainy.
9. Romanov S.V., Romanov D.A. Tekhnolohiia vdavliuvannia pal po lidyruiuchykh sverdlovynakh z vykorystanniam tyksotropii gruntiv. Zh-l «Osnovy, fundamenty ta mekhanika gruntiv» №1, 1997.
10. Romanov S.V., Yaremenko H.Ia., Hlushchenko Yu.M. Instruktsiia z tekhnolohii zanurennia pal vtyskanniam. K., NDIBV, 1986.
11. RSN 357-91. Tekhnolohiia vlashtuvannia fundamentiv iz zalizobetonnykh pal, shcho zanuriuiutsia vdavliuvanniam. K., Derzhbud Ukrainy.
12. Naukovo-tekhnichnyi zvit AP NDIBV na temu A-154.402-91 «Tekhnolohiia ulashtuvannia zbirno-monolitnykh burozabyvnykh pal u skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh iz zastosuvanniam povilno-tverdiiuchykh rozchyniv». K., 1992.
13. Romanov S.V. Rozrakhunok maksymalno dopustymoho navantazhennia na zalizobetonnu paliu v protsesi vdavliuvannia yii v grunt. Zh-l. Novi tekhnolohii v budivnytstvi. № , 2023 rik.

[1] S. Romanov, Ph.D
[2] M. Kozachenko, Senior Researcher
[1, 2] State Enterprise "Research institute of building production named V.S. Balitsky", Kyiv

EFFICIENCY OF PILE DRIVE TECHNOLOGY IN DIFFERENT SOIL CONDITIONS

Abstract. *Based on the experience of SE NDIBV and TEHKOMP LLC in the development and application of pile and sheet piling technology in the construction of new and reconstruction of existing buildings, the article examines the effectiveness of pile piling technology in various soil conditions. The purpose of this article is to establish an effective field of application of the method of driving piles during installation or strengthening of building foundations.*
In order to achieve the specified goal, the following were processed and summarized the results of pile driving works performed in the past years; the analytical dependencies (1) and (2) between the main parameters of the pile driving process, the violation of which makes pile driving impossible or impractical, were analyzed; on the basis of the statistical processing of the test results of the experimental depressed piles, the values of the coefficient of change in the bearing capacity of the soil around the depressed piles in Kgr time, the values of which vary in different soil conditions from 0.6 to 1.5, were specified and given.
It follows from dependence (2) that the greater the value of the coefficient of change in the load-bearing capacity of the soil around the pressed piles in the time Kgr, the less pressing force is required to ensure the same load-bearing capacity of the piles Fd. For example, to ensure the bearing capacity of a pile of 1000 kN, the following values of the compression force Nvd are required: at Kgr=1.5 Nvd=800 kN; at Kgr=1.0 Nvd=1200 kN; at Kgr=0.6 Nvd=2000 kN.
This means that in order to achieve the same effect when driving a pile in soil conditions where Kgr=0.6, the pressing force is 2.5 times more than in soil conditions where Kgr=1.5. Based on the above, all soil conditions, represented by several soils, are proposed to be classified (divided) into the following three groups according to the effectiveness of the pile driving technology application: Group I - "highly effective" - soil conditions that have Kgr 1.1; II group - "effective" - soil conditions with 0.9 Kgr 1.1; III group - "not effective" - soil conditions with Kgr 0.9.
The following conclusions are given in the article.
The field of application of the method of driving piles according to soil conditions is characterized by the presence of three groups of conditions: group I – highly effective conditions; group II – effective conditions; group III - not effective conditions.
Soil conditions of group I, in which the method of driving in piles is highly effective, are represented from above to the roof of the bearing layer by dusty clayey soils with a consistency index IL > 0.25 and have a value of the coefficient of change of the bearing capacity of the soil around the driven pile in Kgr time of at least 1, 10 (see items 1, 2, 3, 4 of table 1).
The soil conditions of group II, in which the pile driving method is effective enough, differ from the conditions of group I in that in dusty-clay soils with IL >0.25 cut by piles, there may be dense layers of sandy or dusty-clay soils and have the value of the coefficient of change in bearing capacity of soil around the driven pile 0.9 Kgr <1.1 (see items 5, 6, 7 of table 1). In such conditions, the piles are driven in, as a rule, through pilot wells, or using the effect of soil thixotropy by drilling wells without extracting the soil. Compared to soil conditions of the I group, this worsens such indicators as cost, productivity and terms of performance of works.
Soil conditions of the III group, represented by sands of medium density or dense with the value of the coefficient of change of the bearing capacity of the soil around the driven pile Kgr<0.9 must be excluded from the field of application of the technology of driving piles.
Keywords. *Indentation technology, pile, soil conditions, efficiency, coefficient of variation, bearing capacity, soil.*

УДК 624.012

[1] **Д. Гигинейшвили**, директор, orcid:0009-0007-6087-7743;
[2] **Д. Гигинейшвили**, главный инженер;
[3] **В. Максименко**, зав. лабораторией, orcid:0000-0002-2835-026X;
[4] **Т. Мацаберидзе**, ведуший конструктор.
[1, 2, 4] ООО «ПРОГРЕСИ»
[3] ГП "Научно-исследовательский институт строительного производства им. В.С.Балицкого", г. Киев

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИНТОВОГО ПРОФИЛЯ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛА И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА САПР

Анотация. *Представлены результаты исследований по надежности и прочности соединения арматурных стержней нового поколения с винтовым профилем и муфты для их соединения и анкеровки.*
В работе представлены результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, по проектированию арматурных стержней нового поколения с винтовым профилем и муфты для их соединения и анкеровки. Исследования проводились 1986-1991гг., по заданию НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР с целью внедрения инновационных технологий расчета, производства арматурных стержней и их монтажа на стройплощадке. Исследования напряжённо-деформированного состояния новых видов арматурных стержней с винтовым профилем и их соединений на основе муфт с целью их проектирования и эффективного применения в строительстве, проводились на основе применения современных численных методов и программных средств.
Ключевые слова: *армирование бетонов, арматура винтового профиля, муфты бессварные соединительные, численно-аналитический метод потенциала, метод конечных элементов (МКЭ), компьютерное моделирование, внутренние усилия, деформирование, трение, изополя напряжений.*

Вступление

В современном строительном процессе элементы арматурных стержней занимает одно из важных мест в обеспечении прочности железобетонных каркасов зданий и сооружений.

Материалы и методы исследования

С 1970-1980гг и по сей день в Грузии для армирования железобетонных изделий в основном применялись и применяются традиционные арматурные стержни с серповидным профилем классов AIII, AIV, A400, A500C (ГОСТ 5781-82) и др. [1, 2, 3, 4], в которых стыковка (анкеровка) стержней происходит внахлест или сваркой. Нового вида арматурные стержни с винтовым профилем на стройках Грузии практически не применялись. Это объясняется высокой стоимостью импортной винтовой арматуры и её соединительных элементов. Однако, были и исключения. При строительстве конструкций фундаментов здания гостиницы «ХИЛТОН» в г. Батуми в 2009-2010гг. по инициативе фирмы, ООО «ПРОГРЕСИ» и «БАУЕР», на основе Евро норм, успешно была реализована технология соединения арматурных стержней с применением муфт, без применения сварки и нахлеста.

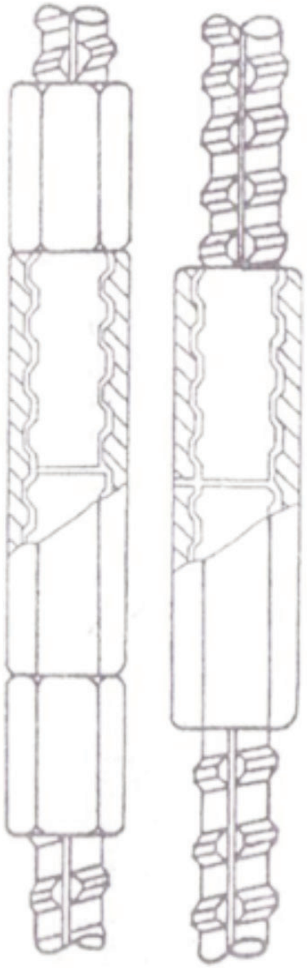
Цель исследования

Винтовой арматурный прокат отличается от обычного тем, что выступы его периодического профиля служат не только для сцепления с бетоном, но и образуют винтовую нарезку по всей длине стержней с целью навинчивания разного рола винтовых крепежных элементов, муфт или анкерных гаек (рис. 1). Таким образом, арматурный стержень, по сути, превращается в винтовую шпильку большой длины (до 12 м из условий перевозки), что открывает большие возможности для применения винтовой арматуры в строительстве [6-21].

По созданной технологии арматура с винтовым профилем стыкуется при помощи муфт и гаек, которые отвечают за качественное, надежное и равнопрочное соединение, не зависящее от диаметра используемой арматуры и от качества бетона. Этот вид соединения устойчив к периодическим (циклическим) нагрузкам, а также требует небольшого времени для выполнения работ. Но следует учитывать некоторые ограничения по вариативности применения.

Резьбовой тип соединительных муфт чаще всего используется для быстрого и прочного соединения или наращивания, необходимого при работе со стержнями арматуры. При этом выбор конкретного типа арматуры и муфты остается за проектировщиком и заказчиком и в значительной мере зависит от условий их применения.

В настоящее время на стройках Грузии и Украины арматура класса A500C – одна из наиболее востребованных в строительстве. Новая арматура Ав500С с винтовым профилем позволяет использовать ее как винтовой стержень, на нее легко можно накручивать как муфтовые соединения, так и анкерные гайки. Такую арматуру можно соединять как со сваркой, так без сварки, а также без нахлёста. Монтаж арматурных стержней на стройплощадке можно вести без какого-либо специального оборудо-



а б

Рис. 1: Соединение стержневой арматуры с винтовым профилем посредством соединений: а) муфта с затяжкой контргаек; б) муфта с заполнением зазоров эпоксидным компаундом

вания, для этого достаточно применение соединительных муфт. Такая арматура также имеет лучшее сцепление с бетоном в железобетонных конструкциях, имеет лучшую сопротивляемость внешнему воздействию, в том числе успешно может выдержать сильные землетрясения или вибрационные воздействия.

В СССР под предводительством НИИЖБа с 1980-х годов предпринималось попытки внедрения высокоэффективной винтовой арматуры. Нами, начиная с 1986-года, проведены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования и подготовлены условия для внедрения винтового профиля арматурных стрежней [6-18].

К безсварным соединениям относятся соединения, в которых усилие передается от одного элемента к другому посредством механического соединения арматуры(см. Рис. 1). Такой тип соединений обеспечивает быстроту и незначительные трудозатраты при выполнении соединений без снижения прочности элементов и соединения [6-18].

В европейских странах винтовые соединения начали применять для стержневой арматуры с 70-х годов и к настоящему времени они практически полностью вытеснили профили других типов.

Винтовая арматура Ав500С отличается от арматуры с серповидным профилем тем, что ее ребра образуют двухзаходную винтовую резьбу на поверхности стержней, а поперечные ребра меняются в шахматном порядке.

Винтовая арматура Ав500С отличается от арматуры с серповидным профилем тем, что ее ребра образуют двухзаходную винтовую резьбу на поверхности стержней, поперечные ребра меняются в шахматном порядке. Такая конструкция позволяет использовать арматуру как винтовой стержень, на нее можно накручивать муфтовые со¬единения и анкерные гайки. Теперь соединять арматуру можно без всякого специального оборудования, на основе применения муфт, анкерных гаек и др. Новая арматура также лучше сцепляется с бетоном, а конструкция лучше сопротивляется внешнему воздействию, в том числе может выдержать сильное землетрясение.

Наиболее характерной особенностью работы без сварных соединений при больших напряжениях является сила, которая передается от винтовой арматуры к изгибу посредством сдвига арматуры и поперечных проекций опорных напряжений: отсюда возникает необходимость учета профиля при определении режима деформации, арматуры и ее скользящего воздействия на контактные поверхности.

В настоящее время, с точки зрения современных методов компьютерного моделирования и реализации эффективных алгоритмов с целью изучения взаимодействия контактирующих элементов арматуры и муфти в процессе деформации, реализуется с помощью численно-аналитического метода потенциала, где одним из самых основных моментов для изучения контактных задач является метод определения топологических особенностей стыков взаимодействующих элементов в пределах контакта.

Расчетную схему можно представить в виде составных элементов конструкции – как винтовые арматурные стержни и соединительная муфта.

Для получения разрешающих соотношений численно-аналитическим методом потенциала каждый элемент составной конструкции обозначается как отдельное тело Sk (k = 1, 2,..., n) с внешней границей Γk и интерфейсными площадками Γk1 и между элементами Sk и S1. При отделении S1 от бесконечных областей S в соответствии с физико-механическими свойствами материалов и с использованием универсального вспомогательного соотношения, описываемого формулами Кельвина [4,5], для решения краевой задачи, построим интегральное представление компонентов для произвольной точки-k s. В процессе линейного деформирования материалов собственный вес можно не учитывать, что приведет к следующим формулам Сомильяны:

$$U_i(K) = P_j(N)\int_{\Gamma} U_{ij}^*(K,N)d\Gamma - \\ - U_j(N)\int_{\Gamma} P_{ij}^*(K,N)d\Gamma + \\ + U_{ij}^*(K,N)_u_P_{ij}^*(K,N) - U_j(N),\ P_j(N) \qquad (1)$$

в которой U_{ij}^* (K,N)_u_P_{ij}^* (K,N) - составляющие перемещения и напряжения вспомогательного состояния; U_j (N),P_J (N) - являются согласованными составляющими фундаментальных состоя-

ний N -точек, размещенных на границе элементов конструкции.

При аппроксимации граничной поверхности каждого элемента конструкции линейными участками Γ_l (l=1,2,3 и т.д.) и Γm (m=1,2,3) и т.д., в диапазоне которых плотность предполагаемой функции, как мы полагаем, является постоянной, можно получить следующий алгебраический аналог формулы Сомильяны:

$$U_i(K) = \sum_{l=1}^{S1} P_j(N) \int_{\Gamma 1} U_{ij}^*(K, N_1) d\Gamma_1 - \\ - \sum_{l=1}^{S2} U_j(N_1) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_1) d\Gamma_1 + \\ + \sum_{m=4}^{S3} P_j(N_m) \int_{\Gamma m} U_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m - \\ - \sum_{m=1}^{S4} U_j(N_m) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m \qquad (2)$$

Применяя закон Кулона (закон обратных квадратов) к трению контактных поверхностей, получаем следующее:

$$\tau = F * \sigma^{(n)} \qquad (3)$$

где и $\sigma^{(n)}$ - касательная и нормальная силы, возникающие в каждой точке контакта:

F - силы трения.

Если на контактной поверхности на фрагменте Γm, напряжения сдвига выражаются нормальным коэффициентом трения (3), то формула (2) будет иметь следующий вид:

$$U_i(K) = \sum_{l=1}^{S1} P_j(N) \int_{\Gamma 1} U_{ij}^*(K, N_1) d\Gamma_1 - \\ - \sum_{l=1}^{S2} U_j(N_1) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_1) d\Gamma_1 + \\ + \sum_{m=4}^{S3} P_j(N_m) \Big[\int_{\Gamma m} U_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m + \\ + F \int_{\Gamma} U_{i2}^*(K, L_m) d\Gamma_m \Big] - \\ - \sum_{m=1}^{S4} U_j(N_m) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m \qquad (4)$$

$$P_2^{(1)} = -P_2^{(2)} = 0 \qquad (5)$$

Такой итерационный процесс продолжается до достижения допустимых значений в локальных точках передачи контактных напряжений на все контактные участки посредством касательных напряжений. При расчете по предложенной методике перераспределение должно происходить за счет увеличения нормальных сил и уменьшения касательных сил, за счет учета коэффициента трения, равного F=0.15-0.225 (метал-метал), для контактных поверхностей в диапазоне каждого сечения.

По сравнению с «кольцевым» профилем по ГОСТ 5781-82 геометрия серповидного профиля имеет ряд преимуществ, относящихся к технологичности в современном прокатном производстве. Прокат арматурных стержней с винтовым профилем представляет собой стержни с двумя рядами поперечных ребер, идущими по однозаходной правой винтовой линии, которые служат не только для сцепления с бетоном, но и позволяют в любом месте по длине стержня образовывать винтовые соединения проката с помощью муфт, или муфт и гаек одновременно с внутренней резьбой.

Рекомендации по использованию арматуры Ав500С в соответствии с ТУ 14-1-5254-2006 приведены в [19,20], ее основные характеристики:

- при номинальном диаметре 20 мм шаг поперечных ребер 11 мм, высота поперечных ребер 1.6 мм (в зависимости от диаметра, шаг и высота рёбер меняются);

- механические свойства: предел текучести т 500 Н/мм^2, временное сопротивление в 600 Н/мм2, относительное удлинение 5 14%, равномерное относительное удлинение р 2%, относительная площадь смятия поперечных ребер профиля fR 0,056мм (в соответствии с ГОСТ Р 52544-2006).

Основные преимущества винтовой арматуры класса прочности Ав500С:

Возможность соединения арматурных стержней между собой и другими деталями, как при помощи сварки или внахлёст, так и при помощи специальных муфт, или муфт и гаек с внутренней резьбой;

Технология изготовления арматурных стержней обеспечивает высокую точность совмещения поперечных ребер, контролируемую навинчиванием на соединяющие муфты;

Свариваемость проката арматурных стержней с винтовым профилем с традиционным А500С, обеспечивается химическим составом стали и её изготовлением;

По своим физико-механическим характеристикам арматурные стержни с винтовым профилем являются взаимозаменяемыми с арматурными стержнями периодического профиля с серповидными ребрами класса прочности А500С такого же диаметра.

В отличие от Западной Европы в России и странах СНГ арматуру в монолитном железобетоне в основном стыкуют с использованием нахлеста и сварки, что до 2005 г. было значительно дешевле, чем винтовые стыки. С увеличением требований по длине нахлеста по СП 52-101-2003 на 15-30% (чем больше диаметр используемой арматуры, тем больше становится нахлест), внедрение безнахлестных стыков, в том числе винтовых, стало актуальным и экономически целесообразным в строительной отрасли Грузии и Украины.

В теоретических исследованиях и практике проектирования расчетные значения указанных деталей выполняются по упрощенным схемам, не дающим точного значения распределения напряжений в соединениях. Напряженно-деформированное состояние арматурных стержней с винтовым профилем в пространственной постановке в местах соединений с применением натяжных муфт, смоделировано в ПК «ЛИРА САПР» с применением пространственных обемных КЭ [22-23].

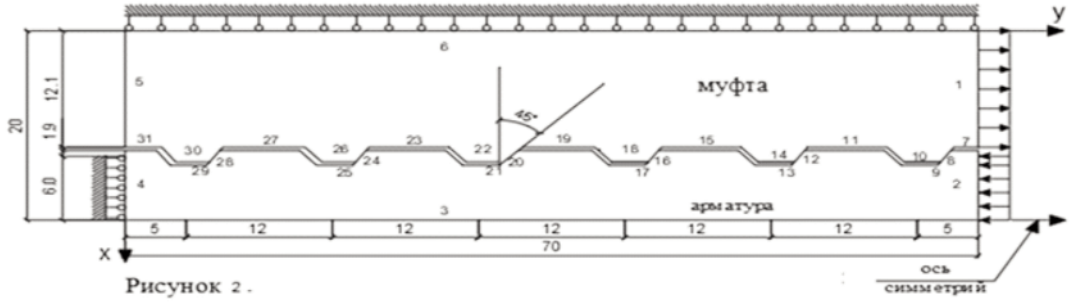


Рис. 2. Расчетная схема узла соединения арматурного стержня и муфты на основе программного комплекса «ПОТЕНЦИАЛ»

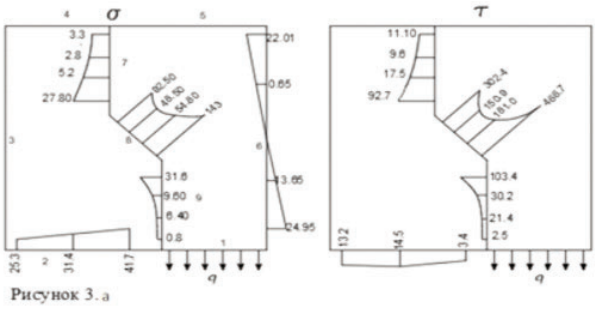


Рис. 3.а Распределение напряжений и на контактных поверхностях элементарного фрагмента винтовой арматуры и муфты без учета коэффициента трения

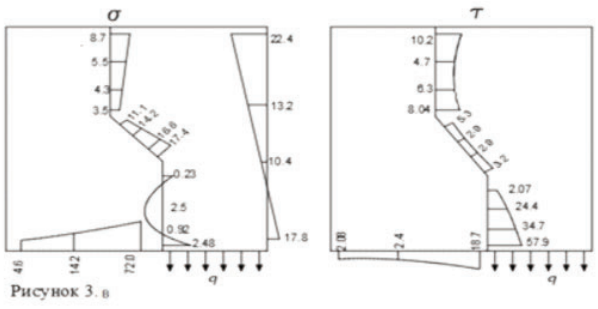


Рис. 3.в Распределение напряжений и на контактных поверхностях элементарного фрагмента винтовой арматуры и муфты с учетом коэффициента трения

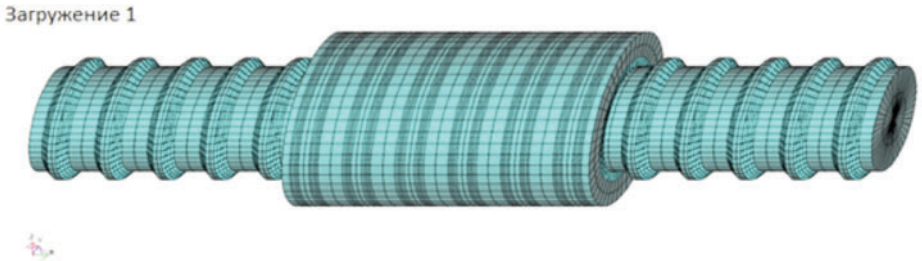


Рис 4. Расчетная схема МКЭ соединения арматурных стержней винтового профиля на основе применения пространственных КЭ в вычислительном комплексе ЛИРА САПР.

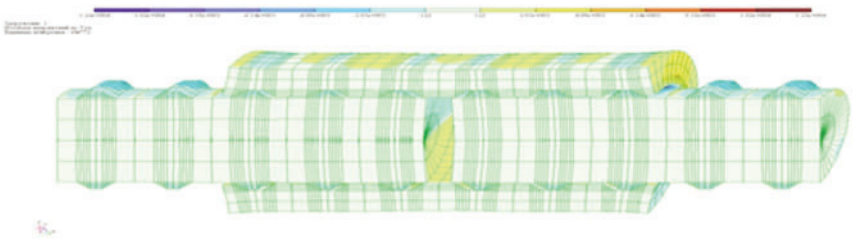


Рис. 5. Изополя напряжений Tyz арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении.

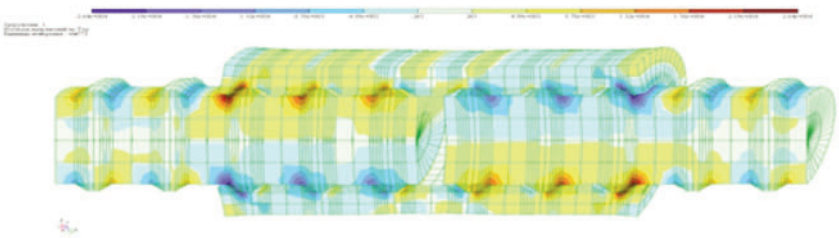


Рис. 6. Изополя напряжений Txy арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении.

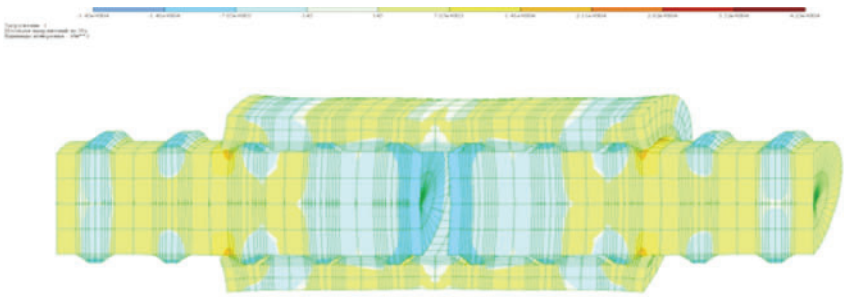


Рис. 7. Изополя напряжений Nx арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении

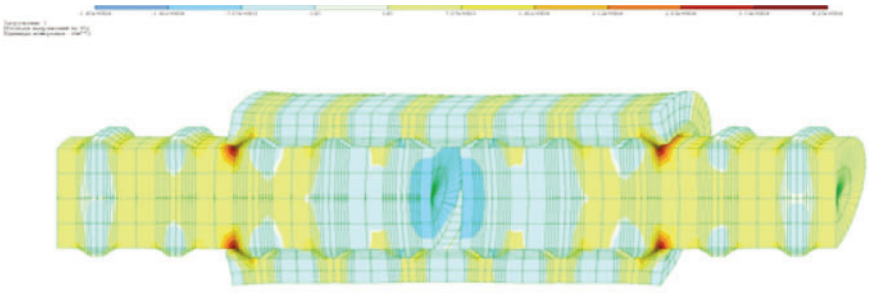


Рис. 8. Изополя напряжений Ny арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении

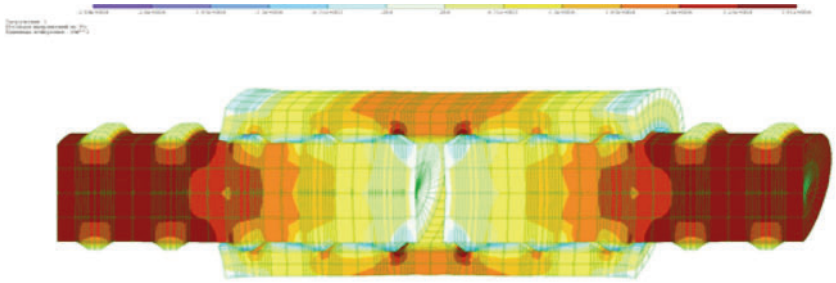


Рис. 9. Изополя напряжений Nz арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении

Представлены результаты работы винтовой арматуры и муфты при моделировании условий пространственной совместной работы обеспечивается наличием поперечных выступов винтовой арматуры и натяжной муфты (елементы фаркопфа) [22].

ВЫВОДЫ.

Существенным недостатком серповидного профиля А500, А500С, являются сниженная по сравнению с кольцевым профилем, прочность и жесткость сцепления арматурных стержней с бетоном, а также ускоренный износ во времени из-за локальных перенапряжений в местах рёбер;

При строительстве конструкций фундаментов здания гостиницы «ХИЛТОН» в г. Батуми в 2009-2010гг. по инициативе фирмы «БАУЕР» успешно реализована технология монтажа арматурных стержней на основе муфтовых соединений по требованиям евро норм, без применения сварки и анкеровки с нахлёстом;

Производство арматуры винтового профиля класса Ав500С более технологичное, чем производство предыдущих профилей, а кольцевая и винтовая накатка от 2 до 4 раз повышает уровень надежности соединения;

Использование арматуры винтового профиля класса Ав500С в конструкциях может снизить расход арматуры на 15-20%;

Арматурные стержни Ав500С лучше сопротивляются внешнему воздействию и в том числе сильным землетрясениям или вибрационным воздействиям на бетонные конструкции;

По немецким источникам, для реальных объектов расход арматурной стали в зонах их стыковки может доходить до 50% массы всей рабочей арматуры. Кроме того, для сильно нагруженных конструкций (колонн нижних этажей высотных жилых, административных и промышленных зданий, фундаментных стоек, реконструкции и усилении зданий и сооружений и т.п.) - насыщение сечений арматурой может быть таким большим, что само размещение в пределах сечения конструкции арматуры, стыкуемой внахлест, становится проблематичным, так как приводит к ухудшению качества бетона вследствие плохих условий его вибрирования и т.д.;

Существуют также виды монолитных конструкций, в которых сварка не разрешается по соображениям пожарной безопасности, где применение безсварных соединений на основе винтовой арматуры и муфт могут быть наиболее целесообразными;

Подобные разработки необходимы в первую очередь для скоростного строительства мостов, зданий атомной энергетики, строительства в сейсмоопасных районах и т.д., поскольку они сокращают сроки строительства за счет быстрой стыковки стержней муфтами и уменьшают металлоемкость железобетонных конструкций.

Литература

1. ГОСТ РФ 52544-2006, ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия РФ. 01.01.2007;

2. ТУ 14-1-5254-2006 Прокат периодического профиля для армирования железобетонных конструкций. Технические условия;

3. ГОСТ 8731-74 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.

4. Верюжский Ю.В. Численные методы потенциала в некоторых задачах прикладной механики. – Киев. 1978. – 182с.

5. Верюжский Ю.В, Вусатюк А., Савицкий А., Петренко А. и др. Вычислительный комплекс «ПОТЕНЦИАЛ». ИК АН Украины. Киев. 1990г.

6. Гигинейшвили Д.Я. Результаты численных и экспериментальных исследований безсварных соединений элементов железобетонных конструкций. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Современные проблемы развития технической базы гражданской авиации. Москва – 1989 г.

7. Гигинейшвили Д.Я., Верюжский Ю.В., Судаков Г.Н.. Применение численно-аналитического метода потенциала к решению контактных задач расчета сцепления арматуры с бетоном. Новые экспериментальные исследования и методы расчета железобетонных конструкций. Сборник научных трудов под ред. А.С.Залесова, О.Ф.Ильина. М. НИИЖБ Госстрой СССР. стр.199, 1989 г.

8. Гигинейшвили Д.Я., Верюжский Ю.В, Снитко А.Н. Моделирование процессов разрушения составных тел численно-аналитическим методом потенциала. Механика композитных материалов. Рига. №6 стр.1024-1030, 1989 г.

9. Гигинейшвили Д.Я. и др. Стыковое соединение сборных железобетонных элементов. Авторское свидетельство № 1830405. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 19.11.1990г. Бюл. №28. Москва, 30.07.1993г.

10. Гигинейшвили Д.Я, Синев П.А. Применение численно-аналитического метода потенциала для расчета контактных стыков сборных железобетонных колон многоэтажных зданий. Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции «Молодые ученые и специалисты в деле повышения качества строительства». Тбилиси, 1987 г. стр.79.

11. Гигинеишвили Д.Я, Петренко А.Я., Сайдахмедов А.Ш.. Численные экспериментальные исследования анкеровки арматуры в бетоне. Рукопись депонирования в ВНИИС Госстрой СССР, вып.7, № 8307, 1988 г. – 20с.

12. Гигинейшвили Д.Я, Ардашкин А.И. Комплексное исследования безсварного стыка колонн многоэтажных зданий. Материалы Республиканской конференции «Качество и надежность строительных материалов и конструкций в сейсмическом строительстве». стр. 93. 1988 г. Тбилиси.

13. Гигинейшвили Д.Я, Верюжский Ю.В., Петренко А.Я.. Моделирование взаимодействия арматуры и цементного камня с учётом контактного трещинообразования. Рукопись депонирована в ВНИИС Госстрой СССР № 9335 от 25.07.88г. М.1988 – 21 с.

14. Гигинейшвили Д.Я. Численные методы в расчетах безсварных соединений железобетонных конструкций. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук. Киев. 1989 г. –18 с.

15. Гигинейшвили Д.Я., Верюжский Ю.В. и др., Стыковое соединение сборных железобетоннных элементов. Авторское свидетельство СССР. №1830405, 1990.

16. Гигинейшвили Д.Я, Синев П.А.. Моделирование напряженного состояния пространственных конструкций с применением численно-аналитического метода потенциала. Тезисы докладов на Х1У объединенном семинаре «Прикладная информатика автоматизированных систем проектирования, управления программированной эксплуатации». Калининград. 1989 г.

17. Гигинейшвили Д.Я. Результаты численных и экспериментальных исследований безсварных соединений элементов железобетонных конструкций. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Современные проблемы развития технической базы гражданской авиации. Москва – 1989 г.

18. Гигинейшвили Д.Я, Коцич Д., Петренко А. Моделирование процессов трения и проскальзывания в бессварных соединениях элементов конструкции численно-аналитическим методом потенциала. Сборник трудов международного симпозиума, посвященного проблемам тонкостенных пространственных систем. 4-5.07.2001. Тбилиси. стр. 221-227.

19. Рекомендации по применению в железобетонных конструкциях эффективных видов стержневой арматуры. Госстрой СССР, НИИЖБ. Москва, 1987.

20. Фридлянов Б.Н. Применение винтовой арматурной стали на стройках Москвы. Бетон и железобетон, №1. 2001г. стр. 10-12.

21. Методические рекомендации. Армирование железобетонных конструкций с применением специальной арматуры по ГОСТ 34028-2016. Москва. 2018.

Reference

1. HOST RF 52544-2006, HOST 34028-2016. Prokat armaturnыi svaryvaemыi peryodycheskoho profylia klassov A500S y V500S dlia armyrovanyia zhelezobetonnыkh konstruktsyi. Tekhnycheskye uslovyia RF. 01.01.2007;

2. TU 14-1-5254-2006 Prokat peryodycheskoho profylia dlia armyrovanyia zhelezobetonnыkh konstruktsyi. Tekhnycheskye uslovyia;

3. HOST 8731-74 Trubы stalnye besshovnye horiachedeformyrovannye. Tekhnycheskye trebovanyia HOST 8732-78. Trubы stalnye besshovnye horiachedeformyrovannye.

4. Veriuzhskyi Yu.V. Chyslennye metodы potentsyala v nekotorыkh zadachakh prykladnoi mekhanyky. – Kyev. 1978. – 182s.

5. Veriuzhskyi Yu.V, Vusatiuk A., Savytskyi A., Petrenko A. y dr. Vыchyslytelnыi kompleks «POTENTsYAL». YK AN Ukraynы. Kyev. 1990h.

6. Hyhyneishvyly D.Ia. Rezultatы chyslennыkh y эksperymentalnыkh yssledovanyi bezsvarnыkh soedynenyi эlementov zhelezobetonnыkh konstruktsyi. Materyalы Vsesoiuznoi nauchno-tekhnycheskoi konferentsyy «Sovremennые problemы razvytyia tekhnycheskoi bazы hrazhdanskoi avyatsyy. Moskva – 1989 h.
7. Hyhyneishvyly D.Ia., Veriuzhskyi Yu.V., Sudakov H.N.. Prymenenye chyslenno-analytycheskoho metoda potentsyala k reshenyiu kontaktnыkh zadach rascheta stseplenyia armaturы s betonom. Novыe эksperymentalnыe yssledovanyia y metodы rascheta zhelezobetonnыkh konstruktsyi. Sbornyk nauchnыkh trudov pod red. A.S.Zalesova, O.F.Ylyna. M. NYYZhB Hosstroi SSSR. str.199, 1989 h.
8. Hyhyneishvyly D.Ia., Veriuzhskyi Yu.V, Snytko A.N. Modelyrovanye protsessov razrushenyia sostavnыkh tel chyslenno-analytycheskym metodom potentsyala. Mekhanyka kompozytnыkh materyalov. Ryha. №6 str.1024-1030, 1989 h.
9. Hyhyneishvyly D.Ia. y dr. Stыkovoe soedynenye sbornыkh zhelezobetonnыkh эlementov. Avtorskoe svydetelstvo № 1830405. Zarehystryrovano v Hosudarstvennom reestre yzobretenyi SSSR 19.11.1990h. Biul. №28. Moskva, 30.07.1993h.
10. Hyhyneishvyly D.Ia, Synev P.A. Prymenenye chyslenno-analytycheskoho metoda potentsyala dlia rascheta kontaktnыkh stыkov sbornыkh zhelezobetonnыkh kolon mnohoэtazhnыkh zdanyi. Tezysы dokladov Respublykanskoi nauchno-tekhnycheskoi konferentsyy «Molodые uchenые y spetsyalystы v dele povыshenyia kachestva stroytelstva». Tbylysy, 1987 h. str.79.
11. Hyhyneyshvyly D.Ia, Petrenko A.Ia., Saidakhmedov A.Sh.. Chyslennые эksperymentalnые yssledovanyia ankerovky armaturы v betone. Rukopys deponyrovanyia v VNYYS Hosstroi SSSR, vыp.7, № 8307, 1988 h. – 20c.
12. Hyhyneishvyly D.Ia, Ardashkyn A.Y. Kompleksnoe yssledovanyia bezsvarnoho stыka kolonn mnohoэtazhnыkh zdanyi. Materyalы Respublykanskoi konferentsyy «Kachestvo y nadezhnost stroytelnыkh materyalov y konstruktsyi v seismycheskom stroytelstve». str. 93. 1988 h. Tbylysy.
13. Hyhyneishvyly D.Ia, Veriuzhskyi Yu.V., Petrenko A.Ia.. Modelyrovanye vzaymodeistvyia armaturы y tsementnoho kamnia s uchëtom kontaktnoho treshchynoobrazovanyia. Rukopys deponyrovana v VNYYS Hosstroi SSSR № 9335 ot 25.07.88h. M.1988 – 21 s.
14. Hyhyneishvyly D.Ia. Chyslennые metodы v raschetakh bezsvarnыkh soedynenyi zhelezobetonnыkh konstruktsyi. Avtoreferat dyssertatsyy na soyskanye uchenoi stepeny kand. tekh. nauk. Kyev. 1989 h. –18 s.
15. Hyhyneishvyly D.Ia., Veriuzhskyi Yu.V. y dr., Stыkovoe soedynenye sbornыkh zhelezobetonnnыkh эlementov. Avtorskoe svydetelstvo SSSR. №1830405, 1990.
16. Hyhyneishvyly D.Ia, Synev P.A.. Modelyrovanye napriazhennoho sostoianyia prostranstvennыkh konstruktsyi s prymenenyem chyslenno-analytycheskoho metoda potentsyala. Tezysы dokladov na Kh1U obъedynennom semynare «Prykladnaia ynformatyka avtomatyzyrovannыkh system proektyrovanyia, upravlenyia prohrammyrovannoi эkspluatatsyy». Kalynynhrad. 1989 h.
17. Hyhyneishvyly D.Ia. Rezultatы chyslennыkh y эksperymentalnыkh yssledovanyi bezsvarnыkh soedynenyi эlementov zhelezobetonnыkh konstruktsyi. Materyalы Vsesoiuznoi nauchno-tekhnycheskoi konferentsyy «Sovremennые problemы razvytyia tekhnycheskoi bazы hrazhdanskoi avyatsyy. Moskva – 1989 h.
18. Hyhyneishvyly D.Ia, Kotsych D., Petrenko A. Modelyrovanye protsessov trenyia y proskalzыvanyia v bessvarnыkh soedynenyiakh эlementov konstruktsyy chyslenno-analytycheskym metodom potentsyala. Sbornyk trudov mezhdunarodnoho sympozyuma, posviashchennoho problemam tonkostennыkh prostranstvennыkh system. 4-5.07.2001. Tbylysy. str. 221-227.
19. Rekomendatsyy po prymenenyiu v zhelezobetonnыkh konstruktsyiakh эffektyvnыkh vydov sterzhnevoi armaturы. Hosstroi SSSR, NYYZhB. Moskva, 1987.
20. Frydlianov B.N. Prymenenye vyntovoi armaturnoi staly na stroikakh Moskvы. Beton y zhelezobeton, №1. 2001h. str. 10-12.
21. Metodycheskye rekomendatsyy. Armyrovanye zhelezobetonnыkh konstruktsyi s prymenenyem spetsyalnoi armaturы po HOST 34028-2016. Moskva. 2018.

[1] **J.Gigineishvili,** Director of PROGRESI LLC, orcid:0009-0007-6087-7743;
[2] **D. Gigineishvili,** Chief Engineer of PROGRESI LLC;
[3] **V. Maksymenko,** head of Laboratory SE NIISP, orcid:0000-0002-2835-026X;
[4] **T. Matsaberidze,** Leading Designer of PROGRESI LLC.
[1, 2, 4] PROGRESI LLC
[3] State Enterprise "Research institute of building production named V.S. Balitsky", Kyiv

RESULTS OF NUMERICAL STUDIES OF THE SCREW PROFILE OF REINFORCING BARS AND CONNECTING COUPLINGS ON THE BASIS OF THE POTENTIAL METHOD AND THE LIRA SAPR SOFTWARE COMPLEX

Abstract. *The paper presents the results of theoretical and experimental studies, where data were obtained on the design of new generation reinforcing bars with a screw profile and couplings for their connection and anchoring. The research was carried out in 1986-1990, on the instructions of the NIIZhB with the aim of introducing innovative technologies for the calculation and production of reinforcing bars and their installation at the construction site. Studies of new structures for their design and construction were carried out on the basis of the use of modern numerical methods and software.*
Key words: *concrete reinforcement, screw profile reinforcement, coupling, welded joints, couplings, numerical-analytical potential method, finite element method (FEM), computer modeling, research, internal forces, deformation, friction, computer modeling, stress isofields, advantages.*

Зміст

1 П.Є. Григоровський, В.П. Максименко, В.О. Басанський, А.П. Григоровський
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕМОНТАЖУ АВАРІЙНИХ
ВЕЛИКОПАНЕЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОЦІНКИ ЇХ СТІЙКОСТІ
ДО ОБВАЛЕННЯ 3

2 В.П. Азутов, О.Ю. Бердник
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН 12

3 В.Б. Крицький, Ю.В. Гензерський, В.П. Максименко, Н.І. Крицька
РОЗРАХУНКОВО-МОДЕЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПРОГНОЗОВАНИХ
ДЕСТРУКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В БЕТОНІ НА НЕСУЧУ СПРОМОЖНІСТЬ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ 16

4 Т.Л. Чебанов
ПРО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗАЦІЇ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ 22

5 А.В. Ковров, О.М. Нахмуров, Н.Ю. Шишкалова, В.В. Захарчук, В.В. Стадніков
ПІСЛЯАВАРІЙНІ ГЕОДЕЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ 28

6 Таха Лотфі
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧОГО РЕЖИМУ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ
З ДОБАВКАМИ ЗОЛИ-УНОСА І МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ НА МІЦНІСТЬ БЕТОНУ 34

7 А.В. Томашевський
АНАЛІЗ МЕТОДИК КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНКУ
АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, ПІДСИЛЕНИХ РЕБРАМИ 39

8 В.О. Галушко, Д.Ю. Уваров, А.С. Уварова
ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ
В ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА 46

9 С.В. Романов, М.М. Козаченко
ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВДАВЛЮВАННЯ ПАЛЬ У РІЗНИХ ҐРУНТОВИХ УМОВАХ 55

10 Д. Гигинейшвили, Д. Гигинейшвили, В. Максименко, Т. Мацаберидзе
РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИНТОВОГО ПРОФИЛЯ АРМАТУРНЫХ
СТЕРЖНЕЙ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛА
И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА САПР 61

ДП НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА
Науково-технічний збірник "БУДІВЕЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО" Випуск № 72
Формат 60х90 1/8. Папір офсетний. Друк офсетний.
Ум.-друк арк. 15. Наклад 100 прим. Замовлення 25-31. Ціна договірна
ДП "Науково-дослідний інститут будівельного виробництва"
03110, МСП, Київ, пр. В. Лобановського, 51