

КОМУНАЛЬНЕ ГОСПОДАРСТВО МІСТ MUNICIPAL ECONOMY OF CITIES

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК
СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА АРХІТЕКТУРА

ТОМ 3 ВИПУСК 191'2025

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів медіа R30-01140 від 10.08.2023 р.

Наукове фахове видання категорії «Б» за спеціальностями 121, 122, 123, 124, 125, 126, 131, 132, 133, 191, 192, 193, 194, 261, 263, 273, 274, 275 (наказ МОН України № 1301 від 15.10.2019 р.), 141, 183 (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

БАБАЄВ В.М.	відповідальний редактор, д.держ.упр., голова Вченої ради ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
СУХОНОС М.К.	відповідальний секретар, д.т.н., проректор з наукової роботи, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДЯДІН Д.В. КОГАЛОВСЬКИЙ В.	к.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова к.т.н., Інженерний коледж «Самі Шамун», Ізраїль
ПЛЮГІН В.Є. ЧУМАЧЕНКО І.В. ШЕВЧЕНКО Р.І.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.т.н., НУЦЗ України
ШМУКЛЕР В.С.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ШПАЧУК В.П. АЛЕШ ДІТРИХ	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова PhD, Технічний університет Ліберті

EDITORIAL BOARD

BABAYEV V.	Editor-in-Chief, Dr.Sc., Chairman of the Academic Council of the O.M. Beketov NUUE
SUKHONOS M.	Executive Managing Editor, Dr. Sc., Vice-rector of the O.M. Beketov NUUE
DIADIN D. KAGALOVSKY V.	PhD, O.M. Beketov NUUE PhD, Engineering College “Sami Shamun”, Israel
PLUGIN V. CHUMACHENKO I. SHEVCHENKO R.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., NUCDU
SHMUKLER V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
SHPACHUK V. ALEŠ DITTRICH	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE PhD, Technical University of Libere, Czech Republic

КООРДИНАЦІЙНА РАДА

ШУТЕНКО Л.М.	голова координаційної ради, д.т.н., почесний ректор ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ГОВОРОВ П.П. ДАЛЕКА В.Х. ДРЕВАЛЬ І.В. ДУШКІН С.С. КОНДРАЩЕНКО О.В. МАЛЯРЕНКО В.А. МИХАЙЛИШИН О.Л. ОСИЧЕНКО Г.О. ТОВБИЧ В.В. ФЕЙРУША С.Х.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.арх., НУВГП д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.арх., КНУБА к.т.н., Університет Салахаддін – Ербіл, Ірак
ХАРЧЕНКО В.Ф. ЧЕЧЕЛЬНИЦЬКИЙ С.Г. ЧУДНОВСЬКИЙ А.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова к.т.н., Гамбурзький університет, Германія
ЮРКЕВИЧ І.	к.т.н., Астонський університет, Великобританія
ЯНКЕЛЕВИЧ М.	к.т.н., Парсонс, США

COORDINATION COUNCIL

SHUTENKO L.	Chairman of the Coordination Council, Dr.Sc., Honorary Rector of the O.M. Beketov NUUE
GOVOROV P. DALEKA V. DREVAL I. DUSHKIN S. KONDRASHENKO O. MALYARENKO V. MYHAYLISHYN O. OSYCHENKO G. TOVBICH V. FEIRUSHA S.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., NUWEE Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., KNUCA PhD, Salahaddin University – Erbil, Iraq
HARCHENKO V. CHECHELNITSKY S. CHUDNOVSKIY A.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE PhD, University of Hamburg, Germany
YURKEVICH I.	PhD, Aston University, United Kingdom
YANKELEVICH M.	PhD, PARSONS, USA

Адреса редакції / Editorial office address:

61002, м. Харків, вул. Чорноглазівська, 17 / 17, Chornoglazivska Street, Kharkiv, 61002

Тел./tel.: +38 (057) 707-33-21, e-mail: khg@kname.edu.ua

ISSN (print) 2522 – 1809

ISSN (online) 2522 – 1817

Затверджений до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова (протокол № 10 від 26 травня 2025 року)

© ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Бакурова А.В., В.В. Білий.</i> Розробка інформаційно-аналітичної системи для фіксації руйнувань внаслідок російської агресії.....	2
--	---

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>А.В. Русанов, Р.А. Русанов, В.Л. Швецов, М.О. Чугай, С.П. Третьак.</i> Концепція модернізації проточної частини парової турбіни серії К-300 для переходу на супернадкритичні параметри пари.....	11
---	----

ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>О.Ф. Бабічева, С.М. Єсаулов, Р.В. Воронов, В.М. Шавкун.</i> Інтеграція Autocad та штучного інтелекту: сучасні підходи та перспективи розвитку.....	21
<i>А.В. Гордієнко.</i> Інтегральний підхід до визначення терміну експлуатації системи ізоляції електродвигуна ВА3215 в залежності від напруги пробою та температури.....	28
<i>О.М. Ляшенко, О.М. Діденко.</i> Проектування інтегрального освітлення громадських будівель.....	34
<i>М.І. Шпіка, В.А. Герасименко, А.О. Антосик, С.В. Колодяжний.</i> Удосконалена система керування тяговими двигунами послідовного збудження при надмірному ковзанні колісних пар.....	40
<i>Р.М. Брошко.</i> Підвищення ефективності системи джерело живлення-плазмотрон та її енергетичні параметри.....	45

ВИРОБНИЦТВО ТА ТЕХНОЛОГІЇ

<i>І.І. Капцов, Н.І. Капцова, О.І. Налівайко, К.А. Омельченко, О.В. Ромашко.</i> Технічні рішення для зменшення природних втрат нафтопродуктів під час зберігання в резервуарних парках	51
<i>Є.О. Михайлова.</i> Кінетика осадження карбонату кальцію як товарного продукту утилізації відходів содової галузі.....	57
<i>І.А. Авдієнко, В.О. Юрченко, А.М. Христенко.</i> Розрахунок викидів парникових газів з споруд біологічної очистки стічних вод, що працюють за схемою АО.....	64
<i>Н.В. Мірошніченко, О.С. Ломакіна, Д.С. Семенов.</i> Підходи до зниження викидів оксидів азоту від об'єктів теплоенергетики в системі управління екологічною безпекою техногенно навантажених територій.....	71
<i>Д.В. Дядін, О.В. Хандогіна, О.М. Дрозд.</i> Геопросторовий аналіз стану прибережних захисних смуг міських річок.....	77

АРХІТЕКТУРА ТА БУДІВНИЦТВО

<i>Н.С. Вергунова.</i> Термінологічні конотації візіонерської архітектури. Експериментальність, концептуальність та радикальність	85
<i>В.В. Титок, О.М. Ємельянова, О.М. Строк.</i> Визначення та аналіз нетипових факторів, що впливають на тривалість будівельних проєктів.....	90
<i>О.О.Єрошкіна, О.М. Іванов, Д.Ю. Вінтаєв.</i> Обумовленість становлення Слобожанської школи культової архітектури XVII- першої третини XIX ст.....	100
<i>І.В. Кудряшова, А.С. Мартиненко.</i> Орієнталізм як засіб трансляції архітектурного досвіду (кінець XVIII-початок XX ст).....	105

<i>М.Я. Авербах, Я.С. Родик, Л.В. Корнілова.</i> Історичний розвиток круглої форми в архітектурі: від стоунхенджа до apple park.....	114
<i>О.В. Столовий.</i> Кутковість, як український тип сталої одиниці поселення.....	124
<i>В.А. Голіус.</i> Тенденції врахування візуальних якостей архітектури у зелених стандартах на прикладі системи «LEED».....	133
<i>С.А. Ільченко.</i> Діаграми архітектурного значення: спадкоємність і трансформації.....	140
<i>О.В. Вигдорович, О.С. Удовиченко.</i> Законодавча база реконструкції кварталів застарілого житлового фонду-проблеми та перспективи.....	148
<i>Д. А. Шаталюк.</i> Розробка інструменту для оцінки сприйняття архітектурного середовища у віртуальній реальності	155
<i>К.С. Чечельницька.</i> Ритманаліз як ефективний інструмент адаптивності урбаністики	161
<i>Т.Д. Рищенко, О.В. Смірнова, М.А. Вотінов, Ю.В. Фурсов, С.А. Бушманов.</i> Використання інноваційних технологій для рішення екологічних проблем в архітектурно-містобудівному проєктуванні.....	166
<i>З.К. Зібров.</i> Фактори формування житлових районів у Харкові: історико-просторовий аналіз XVIII-XIX ст. (губернський період).....	174
<i>Ю.С. Велігоцька, Н.П. Сільвестрова.</i> Формотворення природоінтегрованої архітектури як відображення сучасної теорії архітектури.....	183
<i>Д.П. Акульшин.</i> Палац праці в Харкові: архітектурні трансформації та підходи до післявоєнної реконструкції	189
<i>Н.Р. Антонюк, В.С. Духіна.</i> Архітектурно-конструктивні особливості проєктування висотних будівель з клеєної масивної деревини.....	198
<i>А.С. Борисенко, А.О. Руденко.</i> Сучасні особливості громадсько-торгівельних центрів в стилістичній частині гібридних споруд.....	205
<i>П.О. Васильєв, М.В. Васильєва.</i> Формування безбар'єрних громадських просторів в історичному середовищі: виклики та можливості.....	212
<i>О.С. Шушлякова.</i> Прийоми комплексного архітектурного проєктування у формуванні спортивно-реабілітаційних комплексів в міському середовищі.....	220
<i>О.М. Дудка.</i> Комплексний підхід в архітектурному проєктуванні поліфункціональних ділових будівель та їх типологічні характеристики.....	227
<i>Г.А. Коровкіна, Л.М. Швець.</i> Архітектурно-містобудівні засади проєктування мережі паркінгів подвійного призначення.....	233
<i>І.О. Рибалка, П.П. Бикова, Ю.І. Вергелес.</i> Ландшафтно-просторова структура території загальноосвітнього навчального закладу: пропозиції щодо оптимізації	242
<i>А.М. Бідаков, Jockwer Robert, Just Alar, Tuhkanen Eero, Д.В. Кочкар'юв.</i> Універсальне з'єднання на вкесених стержнях для дерев'яних конструкцій будівель з панелей із поперечно-клеєної деревини.....	252
<i>К.І. Вяткін, Ф.І. Казімагомедов, А.В. Колодезний, А.І. Руденко, А.М. Доценко, Б.В. Підопригора, А.І. Черепенець.</i> Реконструкція міських територій: проєктування дорожньо-транспортних споруд.....	264
<i>А.О. Мозговий, О.П. Бондар, О.В. Самородов, Г.Л. Ватуля.</i> Досвід застосування підпірних стін котлованів у якості огорожуючих конструкцій підземних приміщень подвійного призначення (укриттів) багатоповерхових будівель.....	271

<i>А.О. Атинян, С.М. Братішко, І.В. Говоруха, М.Н. Джалалов, О.М. Пустовойтова. Аддитивні технології в сучасному монолітному будівництві.....</i>	284
<i>Л.Б. Коваленко, Г.А. Кузнецова. Математичне моделювання як засіб формування аналітичних навичок майбутніх інженерів.....</i>	291
<i>Н.М. Золотова, О.Ю. Супрун, О.І. Савченко, А.І. Ониськів. Оптимізація процесу в'язки арматури у монолітному житловому будівництві: організаційно-технологічні рішення.....</i>	297
<i>А.І. Чубін. Розробка і впровадження систем моніторингу технічного стану будівель та інфраструктурних об'єктів для своєчасного виявлення дефектів і прогнозування їхнього розвитку.....</i>	305
<i>О.В. Замицький, А.М. Ялова. Дослідження природної вентиляції у термомодернізованому будинку.....</i>	314
<i>О.І. Лугченко, Н.О. Псурцева, О.Ю. Кулаков. Визначення критичних сил втрати стійкості металевих силосів.....</i>	321
<i>А.В. Явеляєв. Моделювання змін геотехнічних властивостей ґрунтів при зволоженні: методичний підхід і прикладне дослідження (на прикладі Саржиного Яру).....</i>	328
<i>А.Г. Батракова, С.М. Урдзік, Є.В. Дорожко, І.С. Шелкова, І.В. Назаренко. Визначення стану водопропускної труби за результатами георадарного зондування.....</i>	334
<i>А.С. Карагуяр, М.Г. Михайлов, А.А. Тітов, Г.І. Благодарна. Дослідження ефективності роботи швидких фільтрів при різних режимах фільтрування</i>	340
<i>М.М. Селезньов, Д.Ю. Рудиця. Проєктування дорожньо-транспортних споруд у територіальних і регіональних системах розселення.....</i>	348
<i>П.С. Цигенко. Міські агломерації: сутність, структура та основні етапи розвитку.....</i>	355
<i>С.А. Потапов. Технологія виробництва полегшених фундаментних блоків з вкладишами з пінополістиролу.....</i>	362
<i>В.О. Івасенко, О.В. Завальний. Принципи та засоби проєктування перехресть у населених пунктах з урахуванням зменшення дорожньо-транспортних пригод.....</i>	368
<i>К.В. Спіранде, Р.М. Шемет, М.В. Якименко. Аналіз ефективності конструктивних параметрів двотаврових сталезалізобетонних модифікованих балок</i>	377
<i>А.В. Набока, П.М. Фірсов, Д.Г. Петренко. Визначення деформативності конструктивної системи збірно-монолітного перекриття теріва гідростатичним методом.....</i>	384
<i>Р.В. Петраш, О.В. Петраш, В.В. Шульгін, Л.В. Бондар, С.В. Яхін. Ефективність використання ґрунтоцементу при будівництві споруд сільськогосподарського призначення.....</i>	390
<i>К.А. Мамонов, В.В. Гой, В.В. Харів. Теоретико-методичні підходи до визначення геопросторового моніторингу використання земель житлової та громадської забудови регіонів.....</i>	396
<i>М.А. Кухар, Т.С. Горошанський. Сучасний підхід до вирішення задач збору та аналізу просторової інформації.....</i>	401
<i>Ю.Б. Радзінська, С.Ю. Кузьменко, А.О. Жегульська. Геоінформаційні системи у плануванні містобудівних рішень.....</i>	408

<i>О.О. Воронов.</i> Контроль точності геодезичних супутникових вимірів.....	413
<i>Р.С. В'яткін, А.М. Крохмаль, Т.М. Чайка.</i> Практичні аспекти застосування методу оцінки рівня розробки геопросторового забезпечення використання земель промисловості регіонів.....	419
<i>В.С. Ковальчук, С.В. Груша, А.В. Павлов-Удовенко.</i> Чинники територіального розвитку використання земель регіонів.....	426
<i>Г.І. Шарий, І.В. Ткаченко, Т.С. Одарюк.</i> Консолідація-один із головних актуалітетів розвитку відносин на землях сільськогосподарського призначення в Україні.....	431
<i>І.І. Садовий, С.Г. Могильний, Д.Д. Хайнус, С.О. Винограденко, А.О. Сєдов.</i> Гіс-технології у оцінці земель: європейський досвід для вдосконалення української практики.....	440
<i>М.О. Пілічева.</i> Комплексний аналіз типових порушень нормативних вимог встановлення меж земельних ділянок об'єктів електроенергетики.....	447
<i>А.А. Євдокімов, О.Ю. Ієвлева, Є.Є. Луппов.</i> Геоінформаційне моделювання лісових ресурсів на основі даних мобільного лазерного сканування.....	453
<i>С.Г. Нестеренко, О.В. Байструк, І.О. Демочко, О.В. Фролов.</i> Сучасні технології моніторингу використання земель територіальних громад з урахуванням різних умов обмежень.....	459
<i>В.В. Касьянов, В.О. Фролов, О.І. Бушев, В.П. Темченко.</i> Правові аспекти та сучасні виклики у робочому проєктуванні зумлеустрою.....	464
<i>А.В. Ткачук, І.Ю. Шинкаренко, А.В. Макаров.</i> Дросельне регулювання у закритих зрошувальних мережах: розрахунок підвищення тиску.....	472
<i>В.Г. Новохатній, І.С. Усенко, С.М. Садовий, Д.О. Гах.</i> Необхідність розбудови бюветного водопостачання малих міст і селищ Полтавщини.....	479

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Р.І. Майборода, Ю.А. Отрош.</i> Дослідження методики розрахунку стійкості до прогресуючого обвалення будівель внаслідок пожежі та вибуху.....	485
<i>Ю.О. Абрамов, В.С. Коломієць, В.О. Собина.</i> Особливості вибору систем пожежогасіння та використання розпиленої води при гасінні пожеж.....	496
<i>Е. Щолоков, К. Шевченко.</i> Виявлення особливостей евакуації дітей дошкільного віку різних вікових групою.....	503
<i>Ю.П. Ключка, Д.О. Дорошенко.</i> Оцінка часу досягнення пожежовибухонебезпечних концентрацій в приміщенні при розгерметизації балону з пропан-бутаном.....	509
<i>Н.В. Саєнко, А.І. Березовський, Б.Я. Копил, О.М. Григоренко, О.М. Джулай.</i> Оцінка термічної стабільності стирол-акрилових покриттів інтумесцентного типу.....	516
<i>Є.С. Руднєв.</i> Схильність шахтопластів до ендегенної пожежонебезпеки та основні компоненти вугілля.....	525
<i>О.П. Протасенко, А.І. Івашура.</i> Соціальні медіа і блоги: як цифровий контент впливає на проблеми безпеки праці.....	534

<i>О.Г. Панченко.</i> Розробка системи контролю за безпекою транспортування радіоактивних матеріалів.....	543
<i>О.М. Мирошниченко, Ю.П. Ненько, О.М. Землянський, В.Ю. Дендаренко, М.А. Куценко.</i> Оцінка ефективності системи цивільного захисту з попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у прикордонних районах України.....	551
<i>О.І. Губачов.</i> Аналіз динаміки та структури виробничого травматизму в Україні (1992-2024 рр) і порівняння з країнами Європейського союзу.....	559
<i>Д.В. Резнік, О.О. Ченчева, Є.Є. Лашко, С.В. Сукач, Д.С. Гаврилець.</i> Оцінювання рівнів шумового впливу та ризиків у виробничому середовищі навчальних майстерень для підготовки електромонтерів і зварювальників.....	571
<i>С.Л. Бубон, Т.О. Негрій.</i> Дослідження параметрів якості повітря приміщень типу open space підземного розташування.....	580
<i>К.В. Данова, В.В. Малишева, Н.М. Попович, О.Ю. Нікітченко, Л.С. Колибельнікова.</i> Аналіз вхідних параметрів для моделювання пересування осіб з інвалідністю у контексті забезпечення безпеки персоналу.....	586

ТРАНСПОРТ

<i>А.В. Труфанова.</i> Дослідження надійності пасажирських вагонів.....	591
<i>О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, І.І. Кульбовський, Л.А. Веремеєнко.</i> Моделювання та запобігання корозії в несучих елементах вантажних вагонів.....	597
<i>Г. Мигаль, В. Голомисов.</i> Ергономічний аналіз засобів візуальної комунікації в транспортному середовищі.....	606
<i>О.В. Павленко, Д.О. Музильов, Є.П. Медведєв.</i> Модель автотранспортного обслуговування замовлень при доставці вантажів повітряним транспортом у міжнародному сполученні.....	616
<i>П.Є. Вакуленко, Д.Л. Бурко, К.Є. Вакуленко.</i> Організація перевезень м'ясної продукції як приклад розвитку холодної логістики в Україні.....	623
<i>Н.О. Тюрдьо, О.А. Максимюк.</i> Дослідження взаємозв'язків між професійними особливостями водіїв та рівнем їх теоретичної підготовки.....	630
<i>О.В. Свічинська, А.В. Резнік.</i> Аналіз поточного стану і перспективи розвитку логістичного ринку України.....	636
<i>С.Е. Лифенко, Д.П. Понкратов.</i> Методика оцінювання ефективності функціонування громадського транспорту в умовах сталого розвитку міської транспортної системи.....	643
<i>О.О. Орда, О.М. Орда.</i> Методика формування раціональної технології перевезень пасажирів міським пасажирським транспортом.....	650

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGY

<i>A. Bakurova, V. Bilyi.</i> Development of an information and analytical system for recording destruction due to Russian aggression.....	2
--	---

MECHANICAL ENGINEERING

<i>A.V. Rusanov, R.A. Rusanov, V.L. Shvetsov, M.O. Chugay, S.P. Tretiak.</i> Concept of modernization of the K-300 series steam turbine flow part for transition to supercritical steam parameters.....	11
---	----

ELECTRICAL ENGINEERING

<i>O. Babicheva, S. Yesaulov, R. Voronov, V. Shavkun.</i> Integration of Autocad and artificial intelligence: modern approaches and development prospects.....	21
<i>A. Hordiienko.</i> Integrated approach to the study of the dependence of the aging of the insulation system of the VAZ215 electric motor on the breakdown voltage and temperature during the service life.....	28
<i>O. Liashenko, O. Didenko.</i> Integrative lighting design of public buildings.....	34
<i>M. Shpika, V. Herasymenko, A. Antosyk, S. Kolodiazhnyi.</i> Advanced control system for series-wound traction motors under excessive wheelset slippage.....	40
<i>R. Brozhko.</i> Increasing the efficiency of the power source system plasmatron and its energy parameters.....	45

PRODUCTION AND TECHNOLOGY

<i>I. Kaptsov, N. Kaptsova, O. Nalivaiko, K.A. Omelchenko, O. Romashko.</i> Technical solutions to reduce natural losses of petroleum products during storage in tank farms.....	51
<i>E. Mykhailova.</i> Kinetics of calcium carbonate precipitation as a commercial product of soda industry waste disposal.....	57
<i>I.A. Avdiienko, V.O. Iurchenko, A.M. Khrystenko.</i> Calculation of greenhouse gas emissions from biological wastewater treatment facilities operating under the AO scheme.....	64
<i>N. Miroshnychenko, O. Lomakina, D. Semenov.</i> Approaches to reducing nitrogen oxide emissions from heat and power facilities in the environmental safety management system of technologically loaded areas.....	71
<i>D. Diadin, O. Khandogina, O. Drozd.</i> Geospatial analysis of the condition of urban river riparian buffer zone.....	77

DESIGN AND ARCHITECTURE

<i>N. Vergunova.</i> Terminological connotations of visionary architecture. Experimental, conceptual and radical.....	85
<i>V. Tytok, O. Emelianova, O. Strok.</i> Identification and analysis of atypical factors affecting the duration of construction projects.....	90
<i>O.O. Eroshkina, O.M. Ivanov, D.Yu. Vintaev.</i> Conditions for the formation of the slobozhan school of cultural architecture of the 17 th -first third of the 19 th century.....	100
<i>I.Kudriashova, A. Martinenko.</i> Orientalism as a medium for the transmission of architectural experience (late 18 th – early 20 th century).....	105
<i>M. Averbakh, Y. Rodyk, L. Kornilova.</i> Historical development of round shape in architecture: from stonehead to apple park.....	114

<i>O. Stolovyi.</i> Kutok: a Ukrainian type of sustainable settlement unit	124
<i>V. Holius.</i> Trends in taking into account visual qualities of architecture in green standards using the example of the leed system.....	133
<i>S. Ilchenko.</i> Diagrams of architectural knowledge: inheritance and transformations.....	140
<i>O. Vyhdorovych, O. Udovychenko.</i> Legislative framework for reconstruction of quarters of obstacle housing stock-problems and prospectso.....	148
<i>D. Shataliuk.</i> Development of a tool for assessing the perception of architectural environment in virtual reality.....	155
<i>K. Chechelnytska.</i> Rhythmanalysis as a effective tool of adaptive urbanism	161
<i>T.D. Ryshchenko, O.V. Smirnova, M.A. Votinov, Yu.V. Fursov, S.A. Bushmanov.</i> Usage of innovative technologies to solving environmental problems in architectural and urban planning design.....	166
<i>Z. Zibrov.</i> Factors in the formation of residential districts in Kharkiv: a historical and spatial analysis of the 18 th -19 th anturies (gubernial period).....	174
<i>Yu. S. Veligotska, N.P. Silvestrova.</i> Formation of natureintegrated architecture as a visualization of theory of architecture.....	183
<i>D. Akulshyn.</i> The palace of labour in Kharkiv: architectural transformations and approaches to post-war reconstruction	189
<i>N. Antoniuk, V. Dukhina.</i> Architectural and structural features of designing high-rise buildings with glued laminated timber.....	198
<i>A.S. Borysenko, A.O. Rudenko.</i> Modern features of podium-based public commercial centers in hybrid high-rise buildings.....	205
<i>P. Vasyliiev, M. Vasyliieva.</i> Designing inclusive public spaces in historic urban contexts: challenges and opportunities.....	212
<i>O. Shushliakova.</i> Methods of integrated architectural design in the formation of sports and rehabilitation complexes in the urban environment	220
<i>O. Dudka.</i> Integrated approach in the architectural design of multifunctional business buildings and their typological characteristics.....	227
<i>A. Korovkina, L. Shvets.</i> Architectural and urban planning principles for designing a network of dual-purpose parking lots in a development.....	233
<i>I.O. Rybalka, P.P. Bykova, Y.I. Vergeles.</i> Langscape and spatial structure of a high school ground: suggestion for optimization.....	242
<i>Andrii Bidakov, Jockwer Robert, Just Alar, Tuhkanen Eero, Dmitrii Kochkarev.</i> Universal connection on glued in steel rods for timber structures with cross laminated timber panels.....	252
<i>K. Viatkin, F. Kazimagomedov, A. Kolodezny, A. Rudenko, A. Dotsenko, B. Pidopryhora, A. Cherepynets.</i> Reconstruction of urban territories: design of road and transport structures.....	264
<i>A. Mozhovyi, O. Bondar, O. Samorodov, H. Vatulia.</i> Experience in using retaining wales of excavatios as enclosing structures for dual-purpose underground facilities (shelters) in multi-storey buildings.....	271
<i>A. Atynian, S. Bratishko, I. Hovorukha, M. Dzhalalov, O. Pustovoitova.</i> Additive technologies in modern monolitnic construction.....	284

<i>L.Kovalenko, H. Kuznetsova. Mathematical modelling as a means of developing analytical skills of future engineers.....</i>	291
<i>N. Zolotova, O. Suprun, O. Savchenko, A. Onyskiv. Optimisation of the reinforcement binding process in monolithic residential construction: organizational and technological solutions.....</i>	297
<i>A. Chubin. Development and implementation of systems for infrastructure facilities for timely detection of defects and forecasting their development.....</i>	305
<i>O.V. Zamytskyi, A.M. Yalova. Research of natural ventilation in a thermally modernized building.....</i>	314
<i>O. Lugchenko, N. Psurtseva, O. Kulakov. Determination of critical buckling loads of metal silos.....</i>	321
<i>A.V. Yaveliaev. Modeling changes geotechnical properties of soils during wetting: a methodological approach and applied research (on the example of arzhyn yar)</i>	328
<i>A. Batrakova, S. Urdzik, E. Dorozhko, I. Shelkova, I. Nazarenko. Determining the condition of a culvert based on the results of ground penetrating radar probing.....</i>	334
<i>A. Kabahiaur, M. Mykhailov, A. Titov, H. Blahodarna. Research on the efficiency of rapid filters under different filtering modes.....</i>	340
<i>M. Seleznev, D. Rudytsia. Design of road and transport structures in territorial and regional settlement systems.....</i>	348
<i>Pavlo Tsyhenko. Urban agglomerations: essence, structure and main stages of development.....</i>	355
<i>S. Potapov. Production technology of lightweight foundation blocks with inserts of polystyrene foam.....</i>	362
<i>V. Ivasenko, O. Zavalnyi. Principles and measures for designing intersections in urban areas with consideration of road traffic accident reduction.....</i>	368
<i>K. Spirande, R. Shemet, M. Iakymenko. Analysis of the efficiency of the design parameters of i-sectional steel-reinforced concrete modified beams.....</i>	377
<i>A. Naboka, P. Firsov, D. Petrenko. Determination of the deformability of the teriva precast-monolithic overlapping structural system using hydrostatic method.....</i>	384
<i>R. Petrash, O. Petrash, V. Shulgin, L. Bondar, S. Yakhin. Soil-cement utilization efficiency in agricultural structures construction.....</i>	390
<i>K. Mamonov, V. Goi, V. Khariv. Theoretical and methodological approaches to determining geospatial monitoring of land use of residential and public buildings of regions.....</i>	396
<i>M.A. Kukhar, T.C. Horoshanskyi. Modern approach to solving problems of spatial information collection and analysis.....</i>	401
<i>Y. Radzinska, S. Kuzmenko, A. Zhehulska. Geoinformation systems in urban planning solutions.....</i>	408
<i>O. Voronkov. Control of the accuracy of geodetic satellite measurements.....</i>	413
<i>R. Viatkin, A. Krokmal, T. Chaika. Practical aspects of applying the method of evaluating the level of development of geospatial support for the use of land industry.....</i>	419
<i>V. Kovalchuk, S. Grusha, A. Pavlov-Udovenko. Factors of territorial development of land use of regions.....</i>	426

<i>G. Shary, I. Tkachenko, T. Odaryuk. Consolidation is one of the main current issues in the development of relations on agricultural lands in Ukrain.....</i>	431
<i>I. Sadovyy, S. Mohylnyi, D. Khainus, S. Vynohradenko, A. Siedov. Gis technologies in land valuation: European experience for improving Ukrainian practice.....</i>	440
<i>M. Pilicheva. Comolex analysis of typical violations of regulatory requirements establishing boundaries of land plots of electric power facilities.....</i>	447
<i>A. Yevdokimov, O. Ievleva, E. Luppov. Geoinformation modeling of forest resources based on mobile laser scanning data.....</i>	453
<i>S. Nesterenko, O. Baistruk, I. Demochko, O.Frolov. Modern technologies for monitoring the use of land by local communities, taking into account various constraints..</i>	459
<i>V. Kasyanov, V. Frolov, O. Bushev, V. Temchenko. Legal aspects and current challenges in land management design.....</i>	464
<i>A.V. Tkachuk, I.Yu. Shynkarenko, A.V. Makarov. Throttle control in closed irrigation networks: calculation of pressure increase.....</i>	472
<i>V. Novokhatniy, I. Usenko, S. Sadovyi, D. Gakh. The need for developing borehole water supply systems in small towns and settlements of Poltava region.....</i>	479

CIVIL SECURITY

<i>R. Maiboroda, Yu. Otrosh. Research on the methodology for calculating resistance to progressive collapse of buildings due to fire and explosion.....</i>	485
<i>Y. Abramov, V. Kolomiets, V. Sobyina. Peculiarities of selecting fire extinguishing systems and using sprayed water to extinguish fires.....</i>	496
<i>E. Shcholokov, K. Shevchenko. Identification of the features of evacuation of preschool children of different age groups.....</i>	503
<i>Y. Klyuchka, D. Doroshenko. Estimation of the time of reaching fire and explosive concentrations in the room when a propane-butane cylinder is depressurized.....</i>	509
<i>N. Saienko, A. Berezovskyi, B. Kopyl, O. Hryhorenko, O.Dzhulai. Evaluation of the thermal stability of styrene-acrylic intumescent coatings.....</i>	516
<i>Ye. Rudniev. The tendency of coal seams to endogenous fire hazard and the main components of coal.....</i>	525
<i>O. Protasenko, A. Ivasenko. Social media and blogs: how digital content influences occupational safety issues.....</i>	534
<i>O. Panchenko. Development of a control system for the safety of radioactive materials transportation.....</i>	543
<i>O. M. Myroshnyk, Y.P. Nenko, O.M. Zemlyansky, V. Yu. Dendarenko, M.A. Kutsenko. Assessment of the effectiveness of the civil protection system in preventing and responding to emergencies in the border areas of Ukraine.....</i>	551
<i>O. Hubachov. Analysis of the dynamics and structure of industrial injuries in Ukraine (1992-2024) and comparison with European union countries.....</i>	559
<i>D. Rieznik, O. Chenchewa, Ye. Lashko, S. Sukach, D. Havrylets. Assessment of noise exposure levels and risks in the production environment of training workshops for training electricians and welders.....</i>	571
<i>S. Bubon, T. Negriy. Research of air quality parameters of open spase underground location.....</i>	580

<i>K. Danova, V. Malysheva, N. Popovych, O. Nikitchenko, L. Kolybelnikova. Analysis of input parameters for modelling the movement of persons with disabilities in the context of ensuring personnel safety.....</i>	586
--	-----

T R A N S P O R T

<i>A. Trufanova. Study of the reliability of passenger cars.....</i>	591
<i>O.V. Fomin, O.V. Burlutskyi, I.I. Kulbovskyi, L.A. Veremeienko. Modeling and prevention of corrosion in load-bearing elements of freight cars.....</i>	597
<i>G. Mygal, V. Holomysov. Ergonomic analysis of visual communication means in the transport environment.....</i>	606
<i>O. Pavlenko, D. Muzylov, Ye. Medvediev. Model of automotive transport orders service for air cargo delivery in international connection.....</i>	616
<i>P. Vakulenko, D. Burko, K. Vakulenko. Organization of meat product transportation as an example of cold chain development in Ukraine.....</i>	623
<i>N. Tiurdio, O. Maksymiuk. Research the links between driver's professional skills and their level of theoretical training.....</i>	630
<i>O. Svichynska, A. Rezyk. An analysis of the current status and future development of Ukraine's logistics sector.....</i>	636
<i>S. Lyfenko, D. Ponkratov. Methodology for evaluating the efficiency of public transport operation in the context of sustainable urban transport system development.....</i>	643
<i>O. Orda, O. Orda. Methodology for the formation of a rational passenger transport technology in urban areas.....</i>	650

E. Mykhailova

Simon Kuznets Kharkov National University of Economic

KINETICS OF CALCIUM CARBONATE PRECIPITATION AS A COMMERCIAL PRODUCT OF SODA INDUSTRY WASTE DISPOSAL

The article studies the calcium carbonate precipitation process's kinetic characteristics. The liquid waste of sodium carbonate and purified sodium bicarbonate production was used as the raw material. The reaction order, rate constant, activation energy and the area of the course of the process were determined.

Keywords: calcium carbonate, precipitation, waste, soda production, kinetics.

Introduction

Soda production is one of the leading branches of the chemical industry. The main products of soda production are sodium carbonate or soda ash (Na_2CO_3), sodium bicarbonate or baking soda (NaHCO_3), and sodium hydroxide or caustic soda (NaOH). Soda ash is the largest-volume strategic product of the soda industry. The main areas of soda ash application include the glass industry (about 40 % of total consumption), chemical and petrochemical enterprises (26 %), metallurgical plants (15 %), pulp and paper production (4 %) and other areas (15 %) [1]. In recent decades, the average soda ash need in the domestic Ukrainian market has been about 300,000 tons per year.

Almost all countries in the world produce soda ash by the Solvay method (ammonia-soda process), using sodium chloride as a raw material. According to this method, brine is first prepared – a concentrated solution of NaCl . Then the brine is purified from impurities (calcium and magnesium ions) and saturated with ammonia NH_3 . The ammonia solution is treated with carbon dioxide. CO_2 is previously obtained by thermal decomposition of limestone or chalk CaCO_3 . During the carbonization process, a precipitate is formed in the form of sodium bicarbonate NaHCO_3 . The resulting precipitate is filtered, and the calcination process is carried out, as a result of which the product is formed – sodium carbonate Na_2CO_3 .

The main advantages of the Solvay method are widespread distribution and relatively simple raw materials (NaCl , CaCO_3) extraction; well-established and stable technological processes; high product quality; and relatively low soda ash cost. Despite its significant advantages, the main disadvantage of the Solvay method is the generation of a large amount of waste. This is explained by the peculiarities of the technology, according to which it is practically impossible to fully utilize the starting raw materials.

Thus, during the production of 1 ton of soda ash, approximately 1 ton of ammonium chloride NH_4Cl is formed at the final stage. The solution of this substance is treated with lime milk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ to regenerate ammonia. This produces a distillation suspension in the amount of 8–12 m^3 , which contains 200–250 kg/m^3 of dry residue. The liquid phase of the suspension (distiller liquid) is an aqueous solution of mineral salts, the main components of which are calcium and sodium chlorides. The solid phase of the suspension consists of a mixture of calcium hydroxide, carbonate and sulfate, and magnesium, silicon, aluminium and iron oxides. The distillation suspension is the most voluminous waste of soda ash production [2].

It should be noted that the various types of soda production, including baking soda, are accompanied by the formation of solid, liquid and gaseous wastes. These wastes enter the environment and pollute it [3]. In turn, soda production waste and semi-products can be used as raw materials for the manufacture of other commercial products [4]. The authors proposed a method for obtaining chemically precipitated calcium carbonate from waste of soda ash and baking soda production.

Literature Review

Chemically precipitated calcium carbonate (CaCO_3) belongs to the carbonate fillers group that is part of materials' wide range. The main function of fillers is to reduce the product's cost and give them specific properties: strength, hardness, thermal resistance, weather resistance, acid resistance, transparency, colour shades, etc. It is obtained in two ways. The first method involves grinding rocks and sedimentary deposits (limestone, chalk, marble) [5], and the second method is chemical precipitation from solutions [6]. In both cases, finely dispersed calcium carbonate is formed, but in the second method, as a rule, the particles are smaller. In addition, among the advantages of chemically precipitated calcium

carbonate, it is necessary to note the high content of the main substance – CaCO_3 , high purity and non-toxicity, high whiteness and low refractive index, low hardness, abrasiveness, hygroscopicity and the absence of crystallization water in the product.

The main share of carbonate filler consumption is in the production of plastics, rubber products, paints, dry building mixtures, paper and glass. High-purity chemically precipitated calcium carbonate is used in the food industry as a food additive (E 170) and in medicine for the manufacture of medicines. In agriculture, CaCO_3 is used as a chemical plant protection agent and as an additive to animal feed to regulate calcium balance in their body.

Currently, most plants of chemically precipitated calcium carbonate production obtain the product by the lime method. This method involves carbonization of a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ suspension with carbon dioxide. The initial reagents (CaO and CO_2) are formed during the carbonate raw materials calcination in lime kilns at a temperature of about 1000 °C [7]. The existing technology is characterized by high energy consumption, low intensity and high requirements for raw materials quality, since its preliminary purification from impurities is not provided. In this regard, the resulting product does not always meet the established requirements for the dispersion degree and bulk density. Those characteristics depend on the speed of the carbonization process, and the residual free alkalinity of the product in the form of CaO , which is a consequence of conversion low degree.

It is possible to overcome the main disadvantages of the lime method if neutral solutions of calcium salts are used as a source of calcium ions [8].

Analysis of literary sources [9–11] shows that it is possible to obtain calcium carbonate with necessary properties only if it is precipitated from pure solutions that contain well-soluble calcium salts. From this point of view production of chemically precipitated CaCO_3 on the basis of wastes of soda ash industry is of considerable interest.

It is proposed to use a clarified distiller liquid of soda ash production and excess mother liquor of purified sodium hydrogen carbonate manufacture (baking soda) as raw materials. The distiller liquid contains 120–180 g/dm³ of calcium and sodium chloride and the mother liquor contains up to 150 g/dm³ of carbonate and hydrocarbonate ions. Both of the solutions are not further used in the relevant production cycles and are pumped to sludge tanks or dumped into natural reservoirs. It all leads to an ecological catastrophe [12].

Therefore, the relevance of the authors' scientific research is due to the development of a method for industrial waste recycling to obtain a marketable product. This will contribute to increasing the environmental safety of the soda industry.

Research Aim

The work aims to study the process of calcium carbonate precipitation from the liquid wastes of soda production and determine the main kinetic characteristics.

Discussion of Results

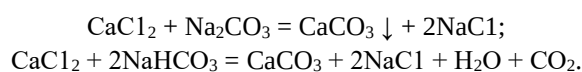
The composition of the clarified distiller liquid and the excess mother liquor is given below (Table 1).

Table 1

Chemical composition of soda production waste

Quality composition	Qualitative composition, g/dm ³
Clarified distiller liquid	
CaCl_2	149,77
NaCl	69,78
CaSO_4	5,81
MgCl_2	2,44
Excess mother liquor	
NaHCO_3	145,25
Na_2CO_3	52,99
NaCl	5,26

The qualitative composition of the specified wastes makes it possible to obtain calcium carbonate according to the equation of chemical reaction:



During the study of calcium carbonate precipitation from solutions, considerable attention was paid to the research of the process kinetic regularities. This later made it possible to determine the mechanism and optimal technological conditions for obtaining CaCO_3 [13, 14].

In laboratory experiments, calcium carbonate precipitation was carried out in a precipitator reactor, where the starting solutions were fed in the appropriate sequence. The process was carried out at a given temperature range (323–363 K) with constant mixing ($\text{Re} = 16000$). The time range for the calcium carbonate sediment formation was set from 1 to 10 minutes.

The obtained CaCO_3 sediment was separated from the mother liquor on a vacuum filter, washed with distilled water from chlorine ions, dried and tested to determine its basic physical and chemical properties. The obtained mother liquor after filtration was analyzed for the residual calcium ions content. Therefore, the kinetics of the calcium carbonate formation process was studied by determining the precipitation degree dependence of the initial substances (in terms of Ca^{2+} ions) on the time and temperature of the process. The

precipitation process was carried out at simultaneous mixing of the clarified distillation liquid with excess mother liquor at a stoichiometric ratio of reagents.

The study's results (Fig. 1) indicate for increase in calcium carbonate precipitation degree with increasing process temperature. This is explained by the decrease in the solubility of CaCO_3 under the experimental conditions. It is known that NaCl , in the solution of which a precipitate is formed, increases the calcium carbonate solubility. However, according to the "salt" effect equation [15], it was determined that both in a pure solvent (water) and in a sodium chloride solution, the calcium carbonate solubility decreases with increasing temperature.

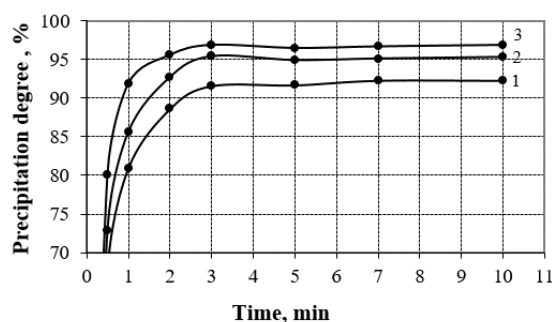


Fig. 1. The dependence of precipitation degree of calcium carbonate on temperature and process time (K): 1 – 323; 2 – 343; 3 – 363

During the research, the main kinetic characteristics of calcium carbonate formation were determined: rate constant, reaction order and activation energy. Also, a kinetic equation for the precipitation process of CaCO_3 from the initial solutions was obtained. The kinetic model was derived using the general equations of chemical reaction kinetics. In this case, the initial solution supersaturation, which is the driving force for the precipitate formation, was used as the reactant concentration.

The kinetic equation of calcium carbonate precipitation in the general case has the following form:

$$\frac{dx}{d\tau} = -\frac{d(\Delta C - x)}{d\tau} = k \cdot (\Delta C - x)^n, \quad (1)$$

where x – precipitated substance amount at time τ in unit volume of solution, mol/dm^3 ; ΔC – absolute supersaturation of the initial solution, mol/dm^3 ; k – rate constant; n – reaction order; τ – time, s.

The absolute supersaturation of the initial solution in calcium ions ΔC under the experimental conditions is 1.35 mol/dm^3 .

The amount of precipitated substance x can be expressed in terms of the precipitation degree (α , %):

$$x = \Delta C \cdot \alpha. \quad (2)$$

It is known that crystallization can be described by a first- or second-order equation. The reaction order will depend on the salt precipitated nature, the temperature, the solution supersaturation degree, and the impurities presence. To determine the reaction order, the rate constant was calculated for the cases when $n = 1$ and $n = 2$. The reaction order will be chosen correctly if the rate constant value at a constant temperature does not change with time. In this case, the average relative error of the calculations should not exceed 10 %.

For a first-order reaction, the rate equation has the form:

$$-\frac{d(\Delta C - x)}{d\tau} = k \cdot (\Delta C - x). \quad (3)$$

After separating variables and integrating formula (3) over the ranges from 0 to τ and from 0 to x , we obtain the equation for calculating the rate constant for $n = 1$:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{1}{1 - \alpha}. \quad (4)$$

For calculations, the precipitation process time was chosen from 1 to 3 min. It is on this section that the process goes most intensively. After 3 min, the calcium carbonate precipitation degree, and therefore the process rate, practically does not change over time (Fig. 1).

Using formula (4), the rate constants values of the calcium carbonate precipitation reaction for the first-order kinetic equation were calculated at different times and temperatures (Table 2).

The relative error δ was determined by the formula:

$$\delta = \frac{k - \bar{k}}{\bar{k}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Calculation data (Table 2) show that the rate constant values for the first-order kinetic equation gradually decrease with increasing precipitation time, and the average relative error exceeds 10 %. A systematic decrease in the reaction rate constant with time is a sign of an underestimated value of the selected reaction order. Thus, it can be assumed that the reaction order of calcium carbonate formation is higher than 1.

For a second-order reaction, the process rate is described by the equation:

$$-\frac{d(\Delta C - x)}{d\tau} = k \cdot (\Delta C - x)^2. \quad (6)$$

Table 2

The rate constant value of the calcium carbonate precipitation reaction at n = 1			
Time, s	Rate constant, k, s ⁻¹		
	323 K	343 K	363 K
30	0,0376	0,0435	0,0538
60	0,0276	0,0323	0,0419
120	0,0181	0,0218	0,0260
180	0,0138	0,0171	0,0193
Average value of the rate constant, $\bar{k}$, s ⁻¹	0,0243	0,0287	0,0353
Average relative error, $\bar{\delta}$, %	34,3	32,2	35,8

Then the rate constant for a second-order reaction can be calculated using the formula:

$$k = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{1}{\Delta C} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (7)$$

The rate constant calculated values for the second-order kinetic equation (Table 3) change little with the precipitation time. This shows that the reaction order is chosen correctly, and the kinetic equation (6) is adequate to the experimental data presented in Fig. 1.

Table 3

The rate constant value of the calcium carbonate precipitation reaction at n = 2			
Time, s	Rate constant, k, mol ⁻¹ ·dm ³ ·s ⁻¹		
	323 K	343 K	363 K
30	0,0517	0,0665	0,0994
60	0,0525	0,0733	0,1403
120	0,0477	0,0786	0,1343
180	0,0449	0,0854	0,1291
Average value of the rate constant, $\bar{k}$, mol ⁻¹ ·dm ³ ·s ⁻¹	0,0492	0,0758	0,1258
Average relative error, $\bar{\delta}$, %	5,9	7,9	10,4

The kinetic equation (6) in differential form is not very convenient for practical use. It can be transformed into the dependence of CaCO₃ precipitation degree on time, temperature, and the starting solutions initial supersaturation. Then, the kinetic model of the calcium carbonate precipitation process will have the following form:

$$\alpha = \frac{k \cdot \tau \cdot \Delta C}{1 + k \cdot \tau \cdot \Delta C} \quad (8)$$

During the calculations, the rate constants values of CaCO₃ precipitation depending on temperature were obtained. This made it possible to determine the activation energy of the precipitation process. The effect of temperature on the rate constant is described by the Arrhenius equation:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right) \quad (9)$$

where k_0 – pre-exponential factor; E – activation energy, kJ/mol; R – universal gas constant, which is 8.3143 J/(mol·K); T – temperature, K.

Taking the logarithm of equation (9) gives it the form:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT} \quad (10)$$

To determine the activation energy of the calcium carbonate precipitation process, a graph was constructed. The graph has a form of a linear dependence of the rate constant logarithm on the inverse temperature $\ln k = f(1/T)$ (Fig. 2).

Based on the calculations, the following empirical equation was obtained:

$$\ln k = 5,4664 - 2745,1 \frac{1}{T} \quad (11)$$

According to equation (11) $\frac{E}{R} = 2745,1$ та

$\ln k_0 = 5,4664$.

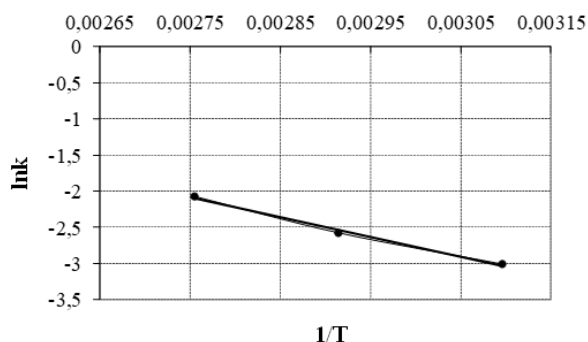


Fig. 2. The dependence rate constant of the calcium carbonate precipitation process on temperature

Then the pre-exponential factor will be $k_0 = 236.6060 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, and the activation energy will be $E = 22.824 \text{ kJ/mol}$.

Conclusions

During experimental studies, it was found that the calcium carbonate precipitation process at simultaneous mixing of clarified distillate liquid with excess mother liquor at a stoichiometric ratio of reagents is described by a second-order kinetic equation.

Experimental data on the dependence of the rate constant of the CaCO_3 precipitation on temperature made it possible to determine the activation energy and the area of the course of the process. The calculated activation energy value shows that the calcium carbonate precipitation process from solutions occurs in the diffusion-kinetic (transitional) area. This activation energy value shows that the calcium carbonate precipitation process from solutions occurs in the diffusion-kinetic (transitional) area. In this case, the rates of diffusion (transfer process of the dissolved substance from the depth of the solution to the surface of the growing crystal) and interaction of initial reagents at the phase boundary (deposition process of the substance that crystallizes on the surface of the crystal) are approximately equal to each other. Therefore, both of these stages affect the process rate.

Thus, the CaCO_3 precipitate formation will be influenced by those factors that determine the stages listed above. These include temperature, intensity of solutions mixing, presence of impurities in solutions, the supersaturation of the solutions, etc.

References

1. Soda Ash Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2025–2033. Report. Retrieved from: <http://surl.li/qttgio>.
2. Czaplicka, N., Konopacka-Łyskawa, D. (2019). Studies on the utilization of post-distillation liquid from Solvay process to carbon dioxide capture and storage. *SN Applied Sciences*, 1, 431. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0455-y>.

3. Bonfim-Rocha, L., Batista Silva, A., de Faria, S. H.B., Vieiraand, M. F., & de Souza, M. (2019). Production of Sodium Bicarbonate from CO_2 Reuse Processes: A Brief Review. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 18(1), 20180318. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2018-0318>.
4. Cichosz, M., Kiełkowska, U., Skowron, K., Kiedzik, Ł., Łazarski, S., Szkudlarek, M., ... Żurawski, D. (2022). Changes in Synthetic Soda Ash Production and Its Consequences for the Environment. *Materials*, 15, 4828. <https://doi.org/10.3390/ma15144828>.
5. Erdogan, N., & Eken, H. A. (2017). Precipitated calcium carbonate production, synthesis and properties. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 53(1), 57–68. <https://doi.org/10.5277/ppmp170105>.
6. Jimoh, O. A., Ariffin, K. S., Hussin, H. B., & Temitope, A. E. (2018). Synthesis of precipitated calcium carbonate: a review. *Carbonates Evaporites*, 33, 331–346. <https://doi.org/10.1007/s13146-017-0341-x>.
7. Mufrodi, Z., Shitophyta, L. M., Sulisty, H., & Rochmadi, A. M. (2023). Reaction of Carbon Dioxide Gas Absorption with Suspension of Calcium Hydroxide in Slurry Reactor. *Emerging Science Journal*, 7(2), 28–338. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-02-02>.
8. Ramakrishna, C., Thenepalli, T., & Ahn, J. W. (2017). Evaluation of Various Synthesis Methods for Calcite-Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Formation. *Korean Chemical Engineering Research*, 55(3), 279–286. <https://doi.org/10.9713/kcer.2017.55.3.279>.
9. Yang, A., Huang, Z., Zhu, Y., Han, Y., & Tong, Z. (2021). Preparation of nano-sized calcium carbonate in solution mixing process. *Journal of Crystal Growth*, 571, 126247. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2021.126247>.
10. Farrag, N. M., Bayoumi, R. A., & Mohamed, T. A. (2022). Factorial analysis of nano-precipitated calcium carbonate via a carbonation route using Solvay wastewater. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2022.100236>.
11. Czaplicka, N., Konopacka-Łyskawa, D., Lewandowska, P., Łapiński, M., & Bray, R. (2021). Influence of selected CO_2 absorption promoters on the characteristics of calcium carbonate particles produced by carbonation of the post-distillation liquid from the Solvay process. *Powder Technology*, 391, 432–441. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.042>.
12. Mykhailova E. O. Environmental safety issues in soda ash production. Problems of ecological safety. *Collection of abstracts XV International scientific and technical conference, October 11–13, 2017*. Kremenchuk : Mykhailo Ostrohradskyi Kremenchuk National University, 2017, p. 52.
13. Mykhaylova, E. O., Moroz, M. O., & Sincheskul, O. L. (2017). Chemical precipitation of various crystalline modifications of calcium carbonate. *Bulletin of NTU "KhPI". Series : Chemistry, Chemical Engineering and Ecology*, 48(1269), 68–73.
14. Mykhailova, E. O., Moroz, M. O., Markov, N. B., & Bagrova I. V. (2019). Research and modeling of physical and chemical characteristics of chemical precipitated calcium carbonate. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: technical science*, 30 (69), 2, 2, 108–112.

15. Mullin J. W. (2001). Crystallization. Oxford: Butterworth-Heinemann. 600 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4833-2.X5000-1>.

Література

1. Soda Ash Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2025–2033. Report [Electronic resource] / Research and Markets: website. – Updated continuously. – Regime of access: <http://surl.li/qttgjo>.
2. Czaplicka N. Studies on the utilization of post-distillation liquid from Solvay process to carbon dioxide capture and storage / N. Czaplicka, D. Konopacka-Lyskawa // SN Applied Sciences. – 2019. – Vol. 1:431. – DOI: [10.1007/s42452-019-0455-y](https://doi.org/10.1007/s42452-019-0455-y).
3. Production of Sodium Bicarbonate from CO₂ Reuse Processes: A Brief Review / L. Bonfim-Rocha, A. Batista Silva, S. H.B de Faria, M. F. Vieiraand, M. De Souza // International Journal of Chemical Reactor Engineering. – 2019. – Vol. 18, Issue 1 : 20180318. – DOI: [10.1515/ijcre-2018-0318](https://doi.org/10.1515/ijcre-2018-0318).
4. Changes in Synthetic Soda Ash Production and Its Consequences for the Environment / M. Cichosz, U. Kielkowska, K. Skowron, Ł. Kiedzik, S. Łazarski, M. Szkudlarek, B. Kowalska, D. Żurawski // Materials. – 2022. – Vol. 15 : 4828. – DOI: [10.3390/ma15144828](https://doi.org/10.3390/ma15144828).
5. Erdogan N. Precipitated calcium carbonate production, synthesis and properties / N. Erdogan, H. A. Eken // Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2017. – Vol. 53, Issue 1. – P. 57–68. – DOI: [10.5277/ppmp170105](https://doi.org/10.5277/ppmp170105).
6. Synthesis of precipitated calcium carbonate: a review / O. A. Jimoh, K. S. Ariffin, H. B. Hussin, A. E. Temitope // Carbonates Evaporites. – 2018. – Vol. 33. – P. 331–346. – DOI: [10.1007/s13146-017-0341-x](https://doi.org/10.1007/s13146-017-0341-x).
7. Reaction of Carbon Dioxide Gas Absorption with Suspension of Calcium Hydroxide in Slurry Reactor / Z. Mufrodi, L. M. Shitophyta, H. Sulisty, A. M. Rochmadi // Emerging Science Journal. – 2023. – Vol. 7, No 2. – P. 328–338. – DOI: [10.28991/ESJ-2023-07-02-02](https://doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-02-02).
8. Ramakrishna C. Evaluation of Various Synthesis Methods for Calcite-Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Formatio / C. Ramakrishna, T. Thenepalli, J. W. Ahn // Korean Chemical Engineering Research. – 2017. – Vol. 55, Issue 3. – P. 279–286. – DOI: [10.9713/ker.2017.55.3.279](https://doi.org/10.9713/ker.2017.55.3.279).
9. Preparation of nano-sized calcium carbonate in solution mixing process / A. Yang, Z. Huang, Y. Zhu, Y. Han, Z. Tong // Journal of Crystal Growth. – 2021. – Vol. 571, 126247. – DOI: [10.1016/j.jcrysgro.2021.126247](https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2021.126247).

10. Farrag N. M. Factorial analysis of nano-precipitated calcium carbonate via a carbonation route using Solvay wastewater / N. M. Farrag, R. A. Bayoumi, T. A. Mohamed // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2022. – Vol. 6, 100236. – DOI: [10.1016/j.cscee.2022.100236](https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100236).
11. Influence of selected CO₂ absorption promoters on the characteristics of calcium carbonate particles produced by carbonation of the post-distillation liquid from the Solvay process / N. Czaplicka, D. Konopacka-Lyskawa, P. Lewandowska, M. Łapiński, R. Bray // Powder Technology. – 2021. – Vol. 391. – P. 432–441. – DOI: [10.1016/j.powtec.2021.06.042](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.042).
12. Михайлова Є. О. Питання екологічної безпеки виробництва кальцинованої соди / Є. О. Михайлова // Проблеми екологічної безпеки : збірник тез доповідей XV міжнар. наук.-техн. конф, Кременчук, 11–13 жовт. 2017 р. – Кременчук : КрНТ імені Михайла Остроградського, 2017. – С. 52.
13. Михайлова Є. О. Хімічне осадження карбонату кальцію різних кристалічних модифікацій / Є. О. Михайлова, М. О. Мороз, О. Л. Сінческул // Вісник НТУ «ХПІ». – 2017. – № 48(1269). – С. 68–73. – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія).
14. Дослідження та моделювання фізико-хімічних характеристик хімічно осащеного карбонату кальцію / Є. О. Михайлова, М. О. Мороз, Н. Б. Маркова, І. В. Багрова // Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. – 2019. – Т. 30(69), № 2, Ч. 2. – С. 108–112. – (Серія: Технічні науки).
15. Mullin J. W. Crystallization / J. W. Mullin. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2001. – 600 p. – DOI: [10.1016/B978-0-7506-4833-2.X5000-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4833-2.X5000-1).

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ф. В. Новіков, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна

Автор: МИХАЙЛОВА Євгенія Олександрівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця
E-mail – mykhailova.e@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0182-0823>

КІНЕТИКА ОСАДЖЕННЯ КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ ЯК ТОВАРНОГО ПРОДУКТУ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СОДОВОЇ ГАЛУЗІ

Є. О. Михайлова

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

У статті розглянуто кінетичні дослідження процесу осадження кальцій карбонату з відходів содової галузі. Через особливості технологій у циклах відповідних содових виробництв утворюється велика кількість рідинних відходів, які зберігаються у шламонакопичувачах або скидаються до природних водоймищ, створюючи екологічну небезпеку для довкілля. Актуальним завданням є розроблення способів утилізації відходів содової галузі з одержанням товарних продуктів. Таким продуктом може стати хімічно осащений карбонат кальцію, який широко використовується як мінеральний наповнювач для створення різних матеріалів. Зазвичай хімічно осащений CaCO₃ одержують вапняним способом шляхом

карбонізації суспензії кальцій гідроксиду газоподібним карбон (IV) оксидом. Даний спосіб має низку недоліків, що не дає можливість отримати продукт високої якості. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що одержати хімічно осадовий кальцій карбонат потрібної якості можливо, якщо осадження проводити з чистих розчинів, які містять добре розчинні солі кальцію. Як вихідну сировину запропоновано використовувати розчини-відходи содової галузі: освітлену дистилерну рідину виробництва натрій карбонату (кальцінованої соди) та надлишковий маточний розчин виробництва гідрокарбонату натрію (харчової соди). Під час досліджень визначено основні кінетичні характеристики (порядок реакції, константу швидкості, енергію активації) та отримано кінетичне рівняння процесу осадження CaCO_3 з вихідних розчинів. Це дало можливість визначити механізм і оптимальні технологічні умови одержання продукту. Кінетику утворення осаду кальцій карбонату вивчали шляхом встановлення залежності ступеня осадження вихідних речовин (у перерахунку на іони Ca^{2+}) від часу та температури процесу при одночасному змішуванні дистилерної рідини з надлишковим маточним розчином при стехіометричному співвідношенні реагентів. Осадження проводили від 1 до 10 хвилин. Встановлено, що процес утворення CaCO_3 описується кінетичним рівнянням другого порядку. Значення констант швидкості при температурах 323, 343 та 363 К дорівнюють 0,0492, 0,0758 та 0,1258 $\text{моль}^{-1} \cdot \text{дм}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ відповідно. При цьому середня відносна похибка розрахунків не перевищує 10 %. Енергія активації процесу осадження становить 22,824 кДж/моль. Величина енергії активації свідчить, що процес осадження кальцій карбонату протікає у дифузійно-кінетичній області. Отже, швидкість процесу осадження CaCO_3 буде залежати від пересичення й складу вихідних розчинів, інтенсивності перемішування реакційної суміші та температури процесу.

Ключові слова: карбонат кальцію, осадження, відходи, содове виробництво, кінетика.