

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра “Будівельних, дорожніх машини і будівництва”

"Допущено до захисту"

Зав. кафедрою БДМБ

к.т.н., професор

_____ Владислав НАСТОЯЩИЙ

" ____ " _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
За другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему
Дослідження ефективності використання активованого газобетону в
монолітному будівництві

Виконала здобувач вищої освіти

6 курсу, групи БІ 21МЗ

спеціальності 192 Будівництво та
цивільна інженерія

_____ О.В. Костюкова

" ____ " _____ 2022 р.

Керівник роботи, к.т.н., доцент

_____ Андрій ТИХИЙ

" ____ " _____ 2022 р.

м. Кропивницький

АНОТАЦІЯ

Основним напрямом у підвищенні ефективності будівництва малоповерхових будівель, на думку провідних фахівців, є зведення огорожувальних конструкцій у монолітне виконання. У цьому випадку ніздрюватий бетон, як матеріал для огорожуючих конструкцій, є найбільш перспективним, оскільки дозволяє знизити матеріаломісткість за рахунок зменшення їх товщини, а також широко застосовувати місцеві матеріали та відходи промисловості. Вітчизняний та зарубіжний досвід зі зведення монолітних стін малоповерхової забудови створює певні передумови та необхідність розробки конструктивно-архітектурних рішень незнімної опалубки.

Така опалубка значно скорочує витрати та трудомісткість опалубних робіт, а також спеціальних заходів щодо захисту поверхонь зовнішніх стін від атмосферних впливів та, одночасно, розширює можливості їх декоративного оздоблення з застосуванням різноманітних матеріалів. Наявний досвід показує також, що ефективним прийомом при зведенні монолітних стін малоповерхових будівель є використання мобільних установок, що забезпечують виготовлення та укладання суміші безпосередньо в опалубку будівлі, що будується.

Мобільні установки дозволяють здійснювати підготовку вихідних компонентів та приготування бетонної суміші без організації спеціальної цієї мети бази. Такі установки мають бути оснащені компактним та високоефективним обладнанням, вибір якого повинен ґрунтуватися на оригінальних методах обробки вихідних компонентів та приготування бетонної суміші, а також транспортування її до місця заливання в опалубку.

SUMMARY

According to leading experts, the main direction in increasing the efficiency of low-rise building construction is monolithic construction of enclosing structures. In this case, aerated concrete, as a material for enclosing structures, is the most promising, as it allows to reduce material consumption by reducing their thickness, as well as to widely use local materials and industrial waste. Domestic and foreign experience in the construction of monolithic walls of low-rise buildings creates certain prerequisites and the need to develop structural and architectural solutions of fixed formwork.

Such formwork significantly reduces the costs and labor intensity of formwork work, as well as special measures to protect the surfaces of external walls from atmospheric influences and, at the same time, expands the possibilities of their decorative decoration with the use of various materials. The available experience also shows that an effective technique for erecting monolithic walls of low-rise buildings is the use of mobile units that ensure the production and laying of the mixture directly in the formwork of the building under construction.

Mobile installations allow preparation of initial components and preparation of concrete mixture without organizing a special base for this purpose. Such installations should be equipped with compact and highly efficient equipment, the choice of which should be based on original methods of processing the initial components and preparing the concrete mixture, as well as transporting it to the place of pouring into the formwork.

ВСТУП

Основним напрямом у підвищенні ефективності будівництва малоповерхових будівель, на думку провідних фахівців, є зведення огорожувальних конструкцій у монолітне виконання. У цьому випадку ніздрюватий бетон, як матеріал для огорожуючих конструкцій, є найбільш перспективним, оскільки дозволяє знизити матеріаломісткість за рахунок зменшення їх товщини, а також широко застосовувати місцеві матеріали та відходи промисловості. Вітчизняний та зарубіжний досвід зі зведення монолітних стін малоповерхової забудови створює певні передумови та необхідність розробки конструктивно-архітектурних рішень незнімної опалубки.

Така опалубка значно скорочує витрати та трудомісткість опалубних робіт, а також спеціальних заходів щодо захисту поверхонь зовнішніх стін від атмосферних впливів та, одночасно, розширює можливості їх декоративного оздоблення з застосуванням різноманітних матеріалів. Наявний досвід показує також, що ефективним прийомом при зведенні монолітних стін малоповерхових будівель є використання мобільних установок, що забезпечують виготовлення та укладання суміші безпосередньо в опалубку будівлі, що будується.

Актуальність теми. Мобільні установки дозволяють здійснювати підготовку вихідних компонентів та приготування бетонної суміші без організації спеціальної цієї мети бази. Такі установки мають бути оснащені компактним та високоефективним обладнанням, вибір якого повинен ґрунтуватися на оригінальних методах обробки вихідних компонентів та приготування бетонної суміші, а також транспортування її до місця заливання в опалубку.

Вирішення такої проблеми дозволить організувати потокове виробництво, механізувати трудомісткі процеси, підвищити якість будівельних робіт, забезпечити необхідні вимоги до декоративного оздоблення будівель,

покращити експлуатаційні характеристики і в результаті, знизити витрати на будівництво та на експлуатацію будівель.

Метою роботи є технологія активованого газобетону для бетонування монолітних стін.

Для досягнення поставленої **мети** необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити склади активованого газобетону з максимальним використанням місцевих матеріалів (для Миколаївської області та півдня України), що забезпечують розширення будівельного сезону без використання тепляка або інших пристроїв для утеплення бетонованих конструкцій.

2. Розробити технологічну схему приготування та транспортування сухої суміші до місця укладання за допомогою технологічного обладнання розробленої мобільної установки.

3. Шляхом експериментальних випробувань довести вибір конструкції форсунки для приготування газобетонної суміші та подачі її до місця заливки в опалубку.

4. Розробити конструктивне рішення монолітної стіни із використанням модульних елементів та незнімної опалубки.

5. Виконати техніко-економічне обґрунтування та довести економічну ефективність запропонованої технології та організації робіт з бетонування монолітних стін з активованого газобетону з застосуванням незнімної опалубки.

Наукова новизна: на підставі теоретичних передумов вивчено закономірності впливу режиму активації при обробці суміші вихідних компонентів газобетону та обґрунтовано умови, що визначають отримання найбільшого ефект використання активованих сумішей. Виявлено особливості формування структури та властивостей активованого газобетону при ливарній та вібраційній технології формування, а також вивчений механізм структуроутворення активованих сумішей: «портландцемент - зола - винесення

- вапно - кипіння» та визначено роль вапна-кипіння у формуванні структури та властивостей активованого газобетону.

Розроблено технологію та організацію робіт з бетонування монолітних стін із застосуванням незнімної опалубки на одному об'єкті та при потоковому будівництві.

Спосіб активації вихідних мінеральних компонентів газобетону шляхом обробки сухої суміші на дезінтеграторі при одночасному її зміні.

Склади активованих сумішей, що складаються з портландцементу, золи- виносення та вапна-кипіння. Ці склади при ливарній та вібраційній технологіях забезпечують одержання газобетону з необхідними показниками призначення у разі скорочення витрати цементу. Результати технологічних випробувань форсунок з різним принципом їхньої роботи як змішувального пристрою.

Технологія та організація робіт з бетонування монолітних стін малоповерхової забудови на одному об'єкті та при потоковому будівництві. 5. Техніко-економічне обґрунтування розробленої технології та організації робіт з бетонування монолітних стін малоповерхових будівель із застосуванням незнімної опалубки.

Практична значеність роботи:

1. Визначено технологічну схему та розроблено обладнання мобільної установки для активації сухої суміші вихідних компонентів, їх транспортування та подачі готової суміші в опалубку, з можливістю контролю заданого складу у процесі виконання бетонних робіт.

2. Розроблено конструкцію монолітної стіни із застосуванням модульних елементів незнімної опалубки.

3. Розроблено технологію виконання робіт на одному об'єкті та потоковому будівництві при бетонуванні монолітних стін малоповерхових будівель з застосуванням незнімної опалубки та мобільної установки.

Апробація та публікація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи доповідалися на Міжнародній науково-технічній on-line

конференції (Кропивницький, листопад 2022 року), “Автоматика, комп’ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві”.

Результати досліджень були опубліковані у статтях і тезах доповідей:
Костюкова О.В. Дослідження ефективності використання активованого газобетону в монолітному будівництві / О.В. Костюкова, А.А. Тихий// Автоматика, комп’ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві – 2022. Збірник тез доповідей Міжнародній науково-технічній on-line конференції.– Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – С. 206-208. (електронне видання).

Розділ 1 Шляхи вдосконалення технології бетонування

1.1.Монолітні стіни малоповерхових будівель

Матеріали для заповнення міжопалубного простору Найбільш ефективними для зведення монолітних стін малоповерхових будівель, є місцеві будівельні матеріали - стіни з глини та органічних заповнювачів. Такі матеріали не вимагають значних транспортних витрат, екологічно безпечні, відрізняються високими теплозахисними властивостями та необхідною міцністю. Однак на відкритому повітрі, під впливом коливань вологості та температури, вони розпушуються, а потім руйнуються. Облицювання таких стін захисними покриттями (штукатуркою, цеглою) підвищує їхню міцність і довговічність. Для підтримки зовнішнього виду та експлуатаційних властивостей зазвичай не потрібно більших вкладень, що робить їх популярними в малометражному одноповерховому будівництві відсутність необхідних коштів.

Монолітні стіни з легкого бетону (на пористих заповнювачах) застосовують у районах, де шлаки, керамзит чи інші місцеві матеріали не вимагають великих витрат на придбання та доставку. У Миколаївській області не можна орієнтуватися застосування легких бетонів для влаштування монолітних стін через дорожнечу керамзиту та відсутності якісних місцевих пористих заповнювачів, зокрема є відходами виробництва. Це повною мірою стосується і відходів Одеської області. Незважаючи на значні запаси золошлаків у відвалах, вони не можуть

використовуватися як ефективний заповнювач для бетону монолітних стін через їх високу щільність.

У перспективі, слід орієнтуватися на пористі бетони, які за своїми теплофізичними та механічними властивостями є найбільш технічно та економічно доцільними. Наприклад, для виготовлення 1 м² бетону потрібно близько 500-600 кг (цементу, золи-винесення та ін.) або на 1 м² житлової площі 200-250 кг. Це зумовлює високу ефективність цього матеріалу за умови

організації такої технології зведення монолітних стін, яка забезпечуватиме отримання бетону із заданими механічними та теплотехнічними властивостями.

Перші досліді щодо застосування неавтоклавних пористих бетонів в Росії відносяться до кінця 20-х - початку 30-х років (А.А. Брюшков, М.М. Гензлер, Б.Ф. Кауфман). Для їх виготовлення застосовувався портландцемент та алюмінієва пудра. Однак у цьому випадку була потрібна велика витрата цементу та алюмінієвої пудри. Поряд з цим, такий бетон не володів достатньою міцністю і мав значне усадження, що призводить до тріщин і руйнування бетону. Подальшим розвитком цього напрямку стало використання мотого піску та вапна-пушонки (І.А. Хінт, ЕН. Нимкюла та ін) [17]. Вивчався також вплив різних наповнювачів: маршаліта (І.Т. Кудряшов, В.І. Іванов), гіпсу (А.Б. Гецельов, П.В. Лапшин) [16], дерев'яних відходів та золи-виношення (А.Т. Баранов, К.Е. Горяйнов) та ін.

В даний час в результаті робіт, виконаних у низці наукових установ А.П. Якимової, А.Т. Барановим, К.Е. Горяйновим, А.П. Меркіним, Г.П. Сахаровим та ін., були визначені основні фактори, що надають найбільш-істотний вплив на властивості газобетону в процесі приготування вихідної суміші, режиму витримки та формування структури при введенні різних добавок та ін. [1-4].

Широке застосування збірного залізобетону у 60-80-ті роки дозволило значно знизити витрату лісоматеріалів, будівельних металоконструкцій, цегли та ін. Однак його використання в малоповерховому будинку не отримало впровадження через необхідність вкладення великих коштів в розвитку будіндустрії. Організація ж монолітного домобудівництва вимагає значно менших витрат для свого розвитку і дозволяє наро щувати обсяги будівництва в районах з нерозвиненою матеріально- технічною базою. Проведений А.А. Афанасьєвим [4] техніко- економічний аналіз показує, що монолітні огорожувальні конструкції більш ефективні за сумарною трудомісткістю та наведеними витратами.

Монолітне будівництво має великі можливості для реалізації різноманітних об'ємно-планувальних рішень.

1.2. Опалубні системи та їх роль у підвищенні ефективності монолітного домобудівництва

Сучасний досвід будівництва монолітних будівель, якості поверхні огорожувальних конструкцій, технологічність і, в результаті вартість будівництва, багато в чому залежать від обраної опалубної системи [1]. У вітчизняному будівництві найбільш широко використовувалася металодерев'яна опалубка, в якій каркаси щитів, палуби і всі підтримувальні елементи виконувались з пиломатеріалів із застосуванням лише відокремлених металевих кріпильно-вивірочних елементів. Однак така опалубка неперспективна через велику витрату ділової деревини і не забезпечує високу якість лицьових поверхонь.

Набула поширення суцільнометалева опалубка, в якій всі елементи виконані із сталі. Однак її недоліком, незважаючи на високу в порівнянні з цільнодерев'яною опалубкою оборотність, є висока металомісткість. Тому в останні роки як у вітчизняній, так і в закордонній будівельній практиці пріоритет віддається опалубці комбінованої конструкції, в якій елементи каркаса, підтримуючу і кріпильно-вивірочну оснастку виконують зі сталі, а палубу - з водостійкої фанери.

Найбільш відомі зарубіжні фірми «Батіметал», «Фульке», «Іс», «Сімкара» (Франція), «Хюнебек», «Ньє», «Хега» (ФРН), «Альбетон», «Жерман» (Швейцарія), «Єрбован» (Голландія) [12] під час виробництва огорожувальних конструкцій одноповерхової забудови використовують крупнощитову опалубку. Каркас таких опалубок виконується з металу, а опалубка із водостійкої фанери або листової сталі. Цікавою є конструкція опалубки, розроблена фірмою «Хюнебек» (ФРН). Особливістю опалубки є установка на щитах вертикальних плоских несучих елементів типу AZ. Палуба щита виконується з водостійкою фанери та обрамляється дерев'яним брусом.

Недоліком опалубоч-них систем перерахованих фірм є необхідність монтажу та демонтажу опалубок за допомогою вантажопідйомних засобів (за винятком опалубки фірми "Хюннебек"). Заслугує на увагу розроблена НДІ уніфікована система великощитової опалубки, придатна для зведення різних серій монолітних будівель з різними плануваннями та об'ємними рішеннями. При використанні палуби з фінської фанри, монтаж та демонтаж такої опалубки може здійснюватися без застосування кранів [14].

Проведений аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду виробництва монолітних огорожувальних конструкцій малоповерхової забудови показав, що в будівельній практиці використовується переважно уніфікована опалубка високої індустріальності.

У цьому відношенні великощитова опалубка є найбільш популярною і перспективною, а подальше її вдосконалення має бути пов'язане зі зниженням маси і підвищенням довговічності (оборотності).

Позитивний досвід використання незнімної опалубки в гідротехнічному, промисловому, меліоративному та спеціальному будівництві показує, що застосування такої опалубки в монолітному домобудуванні також може сприяти підвищенню продуктивності праці, скороченню термінів зведення об'єктів і, в цілому, підвищенню ефективності будівництва.

Матеріалами для незнімної опалубки можуть бути профільований металевий настил, тонкостінні залізобетонні плити різного перерізу, азбестоцементні листи, цементно-стружкові плити та інші подібні матеріали та вироби, що володіють необхідною міцністю та атмосферостійкістю.

На думку проектувальників, застосування незнімної опалубки підвищує архітектурну виразність, розширює можливості планувальних рішень, а використання різних матриць для виготовлення опалубних елементів забезпечує можливість отримання необхідної фактури та геометричного малюнка на їх поверхні.

Проблеми використання незнімної опалубки, як і загалом монолітного домобудівництва, пов'язані з організацією приоб'єктних полігонів з її

виготовлення та виробництвом бетону для заповнення міжопалубного простору. | Як показує досвід, при використанні незнімної опалубки значно скорочуються транспортні витрати, вантажно-розвантажувальні операції та неминуче пов'язане з цим підвищення якості виробів. Така опалубка дозволяє підвищити рентабельність робіт, ритмічність, скоротити терміни зведення будівель і, в результаті, підвищити якість і ефективність будівництва.

Позитивний досвід будівельників Франції, Югославії та інших країн свідчить про економічну доцільність використання незнімної опалубки. Така опалубка, наприклад, була успішно застосована югославськими будівельниками при зведенні туристичного комплексу селищі Дагомис (2).

Застосування незнімної опалубки в монолітному будівництві поки що не набуло широкого поширення через відсутність конкретних рішень, пов'язаних з уніфікацією та типізацією модульних елементів, та, як наслідок, організації їхнього масового виробництва.

Поряд із цим, невирішеними питаннями є і проблема індустріалізації монтажу опалубки, її вивірки, тимчасового та остаточного закріплення, не розроблені засоби механізації примусового та безвивірною монтажу її елементів. Наявний досвід у цьому напрямі, головним чином, пов'язаний із розробкою різних прийомів кріплення опалубних елементів до конструкції каркас стіни.

Отже, слід зазначити, що з вирішенні зазначених вище питань очікується широкого впровадження незнімної опалубки не тільки для малоповерхових, а й будівель підвищеної поверховості. Перехід від складної дорогої ковзної та інших видів опалубок до незнімної дозволить різко скоротити вартість огорожуючих конструкцій та підвищити їх теплотехнічні властивості завдяки можливості укладання в міжопалубний простір матеріалів з більш розвиненою пористою структурою.

1.3. Вплив способу транспортування та укладання суміші в опалубку.

Проведена А. А. Афанасьєвим [7] статистична оцінка витрат робітника часу в монолітному будівництві показала, що встановлення та демонтаж опалубки вимагає від загальних витрат часу виконання бетонних робіт - 21 - 24%, приготування суміші - 7 -10%, транспортування та укладання суміші - 52%. Очевидно, що резерви зменшення вартості будівництва монолітних стін можуть бути досягнуті за рахунок механізації всіх етапів з бетонування монолітних стін і, в тому числі, транспортування та укладання суміші.

Проведений С.С. Атаєвим (2) аналіз використання обладнання та різних технологій у монолітному домобудуванні підтверджує ефективність застосування пересувних бетонозмішувальних установок для виготовлення пористих сумішей безпосередньо на об'єкті, що будується.

Наявний досвід «Будспектр» м. Кропивницький показав, ефективність використання установок УПТР для прийому розчинних сумішей, що виготовляються на центральній базі. В цьому випадку для отримання сумішей повної готовності такий розчин перемішують у бетонозмішувачі з суспензією алюмінієвої пудри, після чого вона транспортується бетононасосом до місця заливання.

Однак така технологічна схема хоч і сприяє деякому підвищенню якості пористої суміші, все ж вона не є повною мірою раціональною, так як вимагає доставки товарної суміші з буд- ної бази транспортними засобами, при цьому використовуване обладнання- вання для забезпечення її повної готовності не мобільне, що призводить до певних незручностей при передислокації обладнання на новий об'єкт.

1.4. Технологічні фактори, що визначають властивості газобетону

1.4.1. Активація сухої суміші

Фізичні процеси подрібнення, пов'язані з додатком механічних сил, стають причиною зміни реакційної здатності твердих речовин. Розвиток механохімії (термін, введений В. Освальдом) [15] пов'язане з іменами таких

вчених, як В.В. Болдирєв, Б.Д. Дерягін, П.А. Ребіндер, О.Д. Щукін та ін., у працях яких відображено сучасне представлення про тонкодисперсні системи та фізико-хімічні процеси, обумовлених диспергуванням. Були вивчені зв'язки поверхневої енергії та твердості мінералів (Л.А. Шрейнер), виміряно сили зчеплення в дисперсних системах [17], всебічно розглянута фізика подрібнення та описані фізико-хімічні процеси, що супроводжують диспергування (Г.С. Ходаков). О.М. Фрункіним та В.Д. Кузнєцовим розвинені представлені про поверхневу енергію та закономірності концентрації енергії на межі фаз [18]. Практичне застосування отримала механохімія в виробництві силікальциту (І.А. Хінт). Проведені А.В. Волженським [20] дослідження підтвердили ефективність подрібнення вапна при виготовлення бетонів, проте ці результати не були затребувані в монолітне будівництво. Обробка силікатної суміші за допомогою механічного впливу використовувалася при випуску великорозмірних панелей із пористого бетону. Проте у ряді випадків у таких панелях спостерігаються технологічні тріщини, крім того, необхідність застосування великорозмірних форм викликає підвищену витрату металу.

В даний час дослідження в галузі механохімії широко проводяться у різних науково-дослідних центрах нашої країни. В одному з них – Київському відділенні будівельної академії – досліджуються перетворення мінералів при надтонкому подрібненні [21].

Велика увага приділяється цьому питанню в нашій країні та за кордоном, пов'язано з можливістю різкого підвищення фізикохімічних властивостей композиції при обмежені витрати найдорожчого компонента - в'язучого, а також можливості прискорення процесу затвердіння бетону. Для технології бетонування монолітних огорожувальних та інших видів конструкцій активація сировинних компонентів композиції дозволить скоротити витрату цементу, а також прискорити оборотність опалубки за рахунок скорочення часу визрівання бетону в опалубці

1.4.2. Вплив вібраційної дії

Досвід експлуатації будівель, побудованих з пористого бетону, показує, що в ряді випадків стан поверхні огорожувальних конструкцій, через наявність великої кількості тріщин не можна вважати задовільним. Аналіз причин появи таких тріщин, виконаний А.Т. Барановим, Г.П. Сахаровим, Є.І. Силаєнкова, А.П. Меркіним та ін. (4,5,9) показує, що ці явища пов'язані з утворенням розвиненої мікрокапілярної пористості, карбонізаційними процесами та ін. Найбільш суттєвими в даному випадку причинами слід вважати утворення мікрокапілярної пористості, зменшення якої, зокрема, може бути забезпечене шляхом зниження водо-твердого (В/Т) відношення. Однак таке рішення при лиття бетону технології, яка зазвичай застосовується при бетонуванні монолітних конструкцій не сприятиме ефективному спученню газо-бетонної суміші.

Використання в даному випадку вібраційного впливу, як найбільш доступного в будівельних умовах, може забезпечити можливість спучування суміші при зниженні В/Т відношення і, як наслідок, зменшення мікрокапілярної пористості, а також ймовірність утворення тріщин на поверхні конструкцій, що захищають.

1.4.3. Роль однорідності суміші

Як показує досвід виробництва виробів та конструкцій із комірчастого бетону (Т.Т. Сахаров) [22] одним з найважливіших факторів, що визначають ефективність виробництва, є надійність технологічного обладнання та, насамперед, змішувального, від роботи якого залежить однорідність суміші, а згодом - і однорідність затверділого бетону. Існуючі змішувальні пристрої для приготування комірчасто-бетонних сумішей, що експлуатуються в стаціонарних умовах на заводах по виробництву виробів та конструкцій з пористого бетону за певних умов забезпечують необхідну якість бетонної суміші та затверділого бетону. Однак при використанні таких установок під час зведення монолітних стін малоповерхових будівель виникають певні труднощі

з транспортуванням бетонної суміші до місця заливання за допомогою бетононасосів, так як при перекачуванні може статися розшарування суміші, і з'являється ймовірність початку процесу спучування. Поряд з цим практика транспортування пористої бетонної суміші по трубопроводу виявила також і такі недоліки, як утворення пробок у трубі, складності з обслуговуванням через необхідність промивання трубопроводу після закінчення роботи та ін, а також проблеми регулювання заданого складу (розрахункового водозатворення).

У зв'язку з цим слід вважати перспективним транспортування сумішей здійснювати у сухому вигляді з повною готовністю її на виході з трубопроводу, тобто ретельно перемішаного з водою. Однак у зв'язку з відсутністю надійних форсунок, які могли б забезпечити необхідну точність і сталість водозатворення, а так само високий рівень однорідності суміші, такий спосіб поки ще не знайшов практичного застосування [23]. При бетонуванні монолітних стін під час будівництва малоповерхових будівель найбільш економічно та технологічно виправданим рішенням є використання мобільних установок. У цьому випадку використання форсунок, за допомогою яких забезпечується замішування сухої суміші на виході, безпосередньо біля місця заливання бетонної суміші в опалубку, буде найбільш раціональним. Таке рішення дозволяє регулювати В/Т відношення в заданих межах і тиск у трубопроводі, який має вирішувати гулятися в залежності від дальності транспортування бетонної суміші до місцю заливання.

Вироблені промисловістю в даний час форсунки, при змінюються для торкретування та штукатурних робіт. Однак такі форсунки не забезпечують отримання необхідної однорідності пористої бетонної суміші, Численні спроби модернізації конструкції форсунки хоча і дають певні позитивні результати, проте повною мірою це завдання ще вирішено (30).

1.5. Мета та завдання роботи

Аналіз виконаних досліджень, як у нашій країні, так і за кордоном, а також практичний досвід будівництва показує, що перспективним напрямом

підвищення: ефективності будівництва малоповерховихбудівель слід вважати будівництво огорожувальних конструкцій у монолітному виконанні.

Такий напрямок вимагає вирішення низки питань. В першу чергу це пов'язано з матеріалом для заповнення міжопалубного простору.

Цей матеріал повинен задовольняти вимоги щодо механічних та теплофізичних властивостей, а також здатних до твердіння та нарощування своєї міцності в природних умовах, по можливості, без застосування теплових чи інших способів прискореного твердіння бетону.

Враховуючи можливість будівництва об'єктів віддалених від головної виробничої бази, виникає необхідність застосування мобільної установки, здатної в автономному режимі забезпечувати бетоновані конструкції готової бетонної суміші

Важливу роль у підвищенні ефективності будівництва відіграє та вибір опалубної системи, від якої багато в чому залежать матеріальні та трудові витрати, а також терміни завершення робіт з бетонування огорожувальних конструкцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі приватні завдання:

1. Теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити ефективність обробки сухої суміші вихідних компонентів у дезінтеграторі з метою їх активації та отримання однорідної суміші;

2. Розробити склади активованої суміші з максимальним використанням місцевих матеріалів (для Одеської області та Півдня України), які забезпечують розширення будівельного сезону без використання тепляка або інших пристроїв, що обігрівають;

3. Розробити технологічну схему мобільної установки для приготування та транспортування пористої бетонної суміші та обґрунтувати вибір обладнання;

4. Розробити конструкцію форсунки для перементування сухої бетонної суміші з водою та подачі її до місця заливання в опалубку;

5. Запропонувати конструктивне вирощування монолітної стіни з використанням незнімної опалубки, а також удосконалити конструкцію знімної опалубки, технологію її збирання та розпалубки без застосування кранового обладнання;

6. Розробити рекомендації щодо технології бетонування монолітних стін малоповерхових будівель із пористого бетону із застосуванням мобільного установки;

7. Провести техніко-економічне обґрунтування та оцінку запропонованої технології бетонування монолітних стін.

Розділ 2. Теоретичне та експериментальне обґрунтування вплив технологічних факторів на властивості активованого газобетону

2.1 Теоретичне обґрунтування способу активації

Будь-яке тіло характеризується деякою поверхневою енергією, що вимірюється роботою, яка потрібна на переміщення внутрішньої частки. Виведені на поверхню сили мають деякий «надлишок» енергії, утворюючи поверхневий шар, в якому вона концентрується. У кристалічних твердих тілах поверхнева енергія через анізотропію кристалів залежить також від напрямку розколювання.

Поверхневу енергію можна розглядати як силу, яку необхідно додати до твердого тіла для розриву поверхневого шару.

Подрібнення не може відбуватися без зміни внутрішньої енергії речовини.

Пружне тіло, що має зародкову тріщину, деформується до певних меж, за якими починається зростання тріщини або дефекту кристалічної структури, який можна розглядати як зародок тріщини. Внутрішня енергія тіла сприймається як сума:

- енергії пружної деформації всього тіла, за винятком ділянки, що знаходиться поблизу тріщини;

- енергії пружної деформації, пов'язаної з тріщиною та зобов'язаною своїм існуванням цієї тріщини та поверхневої енергії самої тріщини.

Вивчення цих питань різними методами показало:

- свіжоутворена поверхня не є рівноважною. Розрив суцільності твердого тіла супроводжується формуванням точкових дефектів та дислокацій, організованою сукупністю точкових дефектів або спотворенням кристалічної ґратки. Термодинамічно існування дефектів визначається енергією та ентропією їхньої освіти;

- будь-яка рівноважна поверхня не є гладкою. При цій здається площі загальна поверхнева енергія дійсно мінімальна, якщо поверхня плоска. Проте задля забезпечення цього мінімуму енергії потрібно мало ймовірно перегрупування, тоді як мінімум енергії шорсткої поверхні забезпечується оптимумом між поверхневою ентропією та енергією;

- за теоремою Вульфа, багатогранник – найбільш стабільна форма кристала: його поверхнева енергія становить середню енергію рівноважних граней. Грані реальних кристалів, як правило, недосконалі та незавершені по всіх площинах;

- характер свіжоутворених поверхонь уламків реальних кристалів, значною мірою, визначається механічними факторами диспергування та середовищем подрібнення.

Перебудова речовини, диспергованої настільки, що десятки відсотків молекул виявляються оголеними по двох і більше площинах сколу, захоплює весь об'єм дисперсних частинок. Диспергування речовини протікає з поглинанням з навколишнього середовища енергії та зростанням ентропії твердої фази, а перебудова речовини, пов'язана з його високою дисперсністю, супроводжується зменшенням твердої ентропії фази, і навіть зростанням ентропії загалом.

Залежно від того, як тверді тіла реагують на накладене навантаження, вони мають три основні характеристики:

- Пружність, що відображає здатність твердого тіла повертати свою форму після зняття раніше прикладеної до нього на якийсь час сили;

- Пластичність, що показує, як швидко під дією тривалого навантаження тіло змінює свою форму або який має бути сила, щоб ця зміна йшла з певною швидкістю;

- Міцність, або опір руйнуванню.

Пружність, в основному, залежить від енергії взаємодії складових кристалів, пластичність - від утворення у твердих тілах лінійних дефектів (дислокацій), а міцність - від сукупності факторів різного роду: хімічного зв'язку, структури матеріалу, існування в реальному кристалі структурних дефектів (точкових, інших, поверхневих та об'ємних). Граничні значення цих параметрів можна отримати шляхом розрахунку на основі теорії пружності локальних напружень і тріщин. Подрібнення шляхом дроблення частинок матеріалу тілами, що мелють, з поширених у техніці способів руйнування твердих тіл, наприклад, при рудозбагаченні, виробництві в'язучих речовин, обробки природного каменю та ін. Загальна акумульована енергія, що спрямовується на руйнування, залежить від умов навантаження: інтенсивності підведення енергії, властивостей речовини, тривалості та ін. воно, наприклад (12), що в оптимальних умовах вона не перевищує 25-30% від хімічної енергії. Техніка подрібнення базується в основному на двох принципах впливу на окрему частинку:

- частка або агрегати частинок піддаються подрібненню між двома поверхнями частинок, найчастіше за наявності зсуву;

- частка руйнується при зіткненні з твердою поверхнею (Вільний ударний вплив).

У дослідженнях зарубіжних та вітчизняних вчених [25,26] встановлено, що частота частинок та робота, необхідна для руйнування, зростають із зменшенням розміру частинок. Цей факт пояснюється тим, що із

зменшенням розміру частинок гнидається їхня дефектність. Однак з точки зору хімії дефектних кристалів тверде тіло, що містить підвищену кількість дефектів, що має більш високу реакційну здатність.

У разі розвитку процесу руйнування тверде тіло отримує енергію за рахунок активації поверхності оголених зерен. У цьому випадку при розколі твердих тіл на утворених поверхнях накопичується електричний заряд, який не є однорідним, а має мікро- та макрорельєф, що відображає існування різного типу дефектів у твердому тілі. Поряд із цим вона залежить від іонної активності оголених поверхностей, яка проявляється найбільш помітно в момент розриву (відділення) частинок рідкого тіла. У цьому випадку вільні електрони накопичуються на цій поверхні, створюючи електростатичне поле.

При утворенні нових поверхонь шляхом зсуву перехід – «стікання» електронів на іншу орбіту вірогідніший, ніж при відриві частинок один від одного і тому рівень електростатичного поля значно нижчий. Наявність електростатичного поля на поверхні подрібнених частинок підтверджується такими експериментами. Досвідами встановлено, що зі збільшенням часу витримки суміші після активації в металевій ємності до моменту замішування суміші активність подрібнених частинок (вимірюється за міцністю композиції: цемент - зола-виношення) зменшується: через 60 хв - на 20%, а через 120 хв – на 30%.

При зберіганні активованої суміші у скляній ємності час витримки практично не впливає на її активність, тому що в цьому випадку скло, як діелектрик, перешкоджає перетіканню заряджених частинок із поверхневих шарів зерен на корпус ємності.

Таким чином, використання дезінтегратора для подрібнення сухих сумішей сприяє підвищенню реакційної здатності не тільки за рахунок збільшення їх поверхні, а й завдяки генерації електростатичного поля на оголених поверхнях твердих частинок. Подрібнення не може відбуватися без зміни внутрішньої структури твердого тіла, що визначається тривалістю навантаження на тіло. У дезінтеграторі подрібнення залежить від кількості

пальців та швидкості обертання кошиків. Логічно припустити, що з підвищенням швидкості обертання інтенсивність активації збільшуватиметься. Однак підвищення швидкості супроводжується збільшенням енергетичних витрат та прискореним зносом пальців-білів. У зв'язку з викладеним було вирішено визначити раціональну швидкість кошиків дезінтегратора, при якій вийшов би максимальний ефект, тобто. Найбільша міцність композиції цемент - зола-винесення. З цією метою були виготовлені зразки із суміші портландцементу та золи-винесення ТЕЦ. Суха суміш оброблялася при швидкості обертання 15000об/хв. та 3000 об/хв. Після обробки в дезінтеграторі суха суміш перемішувалась з водою до повної однорідності у лабораторній чаші. Рухливість суміші прийнята 22 см. Після розпалубки у добовому віці зразки витримувалися 28 діб.

Досліди показали (рис. 2.1), що при обробці в дезінтеграторі сухий суміші зі швидкістю кошиків 3000 об/хв приріст міцності, порівняно з обробкою при швидкості кошиків при 1500 об/хв, знаходиться в межах 10%. У зв'язку з цим, враховуючи несуттєве збільшення міцності композиції в подальших дослідках, обробка сухої суміші проводилася при швидкості кошиків 1500 об/хв, при якій зменшуються знос дезінтегратора та витрата електроенергії.

Поряд з цим були поставлені дослідження щодо виявлення ефекту активації за різних способів подрібнення, від якого, як вказувалося вище залежить рівень електростатичного поля на поверхні подрібнюваних частинок.

Таблиця 2.1

Вплив способу підготовки суміші на міцність газобетону

№п/п	Умови обробки	Час виготовлення та перемішування, хвилини	Середня щільність кг/м ³	Міцність, МПа
1	2	3	4	5
1	У кульовому млині	15	630	4,7

2	У дезінтеграторі	2	770	10,8
3	Без обробки	-	389	1,7

Для дослідів використовувався склад, що складається з цементу – 182кг/м³, вапняно-зольної суміші 203кг/м³ (При співвідношенні 0,75:1), витрата алюмінієвої пудри 1 кг/м³. Рухливість суміші прийнята 22 см. Визначення міцності та середньої щільності проводилося за прийнятою схемою.

Для пояснення отриманого ефекту та встановлення, який із факторів має найбільш важливе значення: збільшення поверхні подрібнених частинок або їх активація була визначена питома поверхня всіх компонентів, що входять до складу суміші.

Питома поверхня визначалася приладі ПСХ - 4

Таблиця 2.2

Питома поверхня вихідних компонентів газобетону

Вид суміші	Питома поверхня,г/см ²		
	Портланд цемент	Вапно кипілка	Зола - винесення
Неактивована	3200	2750	3000
Активована	3520	3003	3300

Як видно з таблиці 2.2, збільшення поверхні після подрібнення у дезінтеграторі для всіх вихідних компонентів трохи більше 10%.

Міцність композиції після такої обробки більш ніж у 2 рази перевищує цей показник, отриманий із суміші, обробленої в кульовому млині. У зв'язку з цим, ефект активації є першорядним.

Отримані дані в принципі підтверджують відомі результати про ефект мінеральних матеріалів під час обробки в дезінтеграторі. Однак питання про ефект при подрібненні суміші складного складу, наприклад, портландцемент, вапно - кипілка, зола - винесення, раніше не розглядався, що спричинило вивчення цього питання.

Обробка сумішей у дезінтеграторі приваблива також і тим, що в процесі активації відбувається одночасно і перемішування компонентів суміші складного складу. При цьому завдяки високій швидкості кошиків суміш набуває високої однорідності. Ця обставина має особливе значення під час підготовки сумішей за умов мобільної установки, тобто при обмеженій площі розміщення технологічного устаткування.

2.2 Застосовувані матеріали, обладнання та методика дослідження

2.2.1 Характеристика матеріалів

Експериментальна перевірка проводилася на портландцементі Новоросійського заводу «Пролетар» М400, що відповідає вимогам ГОСТ 10178-78, негашеного вапна, що відповідає ГОСТ. 9179-77.

Як кремнеземистий компонент використовувалася зола-винесення Новочеркаській ГРЕС, що відповідає вимогам ГОСТ 25818-91 «Золи теплових електростанцій для бетону. Технічні умови.» Хімічний склад золи-винесення та основні її характеристики наведені в табл. 2.3, 2.4.

Таблиця 2.3

Хімічний склад золи - винесення

Масовий вміст, %									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	п.п.п.
50,5- 55,4	19,4- 22,5	9,3- 14,3	3,7- 5,1	1,1- 8,4	3,5- 7,7	0,7- 1,7	0,9- 1,0	0,9- 1,5	3,7

Таблиця 2.4

Характеристика золи-винесення

Показники	Значення
Розміри частинок, мкм	580
Насипна щільність, кг/м ³	950

Справжня щільність, кг/м ³	2370
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м ⁰ С	0,22
Уд. Поверхню, см ² /г	2100
Водопотреба, %	44,4
До осн. (за Боженівим)	0,18

Для приготування алюмінієвої суспензії застосовується пральний порошок «Лемос» ГОСТ 25644 ТУ 2381-017-1464375-96 та алюмінієва пудра, Черкаського заводу, що відповідає ГОСТ 5494-71, (Табл. 2.5)

Таблиця 2.5

Характеристика алюмінієвої пудри

Марка пудри	ступінь подрібнення (залишок на ситі 008)%	вміст органічних домішок %, макс	Вміст активного металу %, мін	Криюча здатність на воді, см ²	кінетика газовиділення мм при 25 ° С		
					За 2 хвил Макс.	За 8 хвил	За 16 хвил
ПАГ-4С	1,0	1,5	90	3500-5000	5	40-50	51-50

Вода для замішування відповідала ГОСТ 23732-79 «Вода для бетонів та розчинів Технічні умови»

2.2 2 Устаткування

Кульовий млин (МБЛ), потужність ел./двигуна - 1.1 кВт, продуктивність - 5 кг/год по клінкеру, швидкість обертання барабана - 48 об/хв

Дезінтегратор лабораторний. Швидкість обертів кошиків від 0 до 3000 об/хв, встановлена потужність – 3,0 кВт, продуктивність – 500 кг/год.

Прес гідравлічний ПСУ 10

Ваги лабораторні ВЛКТ-500

Сушильна шафа лабораторна, максимальна температура сушіння 110°C
з автоматичним режимом

Вібромайданчик лабораторний, стандартний, частота - 50 Гц, амплітуда -0,3мм.

Форми металеві лабораторні 10*10*10

Для визначення розпливу суміші використовувався віскозиметр Суттарда.

2.2.3 Методика приготувань та випробувань зразків

Виготовлення зразків проводилося в такий спосіб. Зважені на технічних вагах розрахункові кількості вихідних компонентів, перемішувалися у сухому стані у лабораторній чаші. до повної гомогенізації протягом 5 хв. Потім суміш зачинялася необхідним кількістю води з алюмінієвою суспензією і знову перемішували в протягом 5-7 хв.

Для ливарної технології рухливість прийнята 22 см, а для вібраційної - 11 см. Рухливість суміші визначалася на віскозиметрі Суттарда.

Приготовлена суміш заливалася у форми розміром 10*10*10 см з розрахунком повного їх заповнення після спучування.

Зразки, виготовлені за ливарною технологією, після добової витримки розпалублювалися і вкладалися на стелажі, де зберігалися в приміщенні лабораторії до моменту їх випробування протягом 28 діб.

Зразки, що виготовляються на лабораторній віброплощині, після заливання суміші у форму піддавалися вібрації на початку процесу спучування протягом 1-2 секунд, а потім у період інтенсивного спучування - вібрувалися повторно 2-3 сек. Після витримки зразки розпалублювалися, потім укладалися на стелажі, де зберігалися протягом 28 діб.

Фізико-механічні - характеристики: щільність і - міцність визначалися відповідно до вимог ГОСТ 10181.2-81 «Бетони. Методи визначення густини»,

а міцність за ГОСТ 10810-90 «Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками». Випробування проводились на пресі ПСУ-10.

Коефіцієнт конструктивної якості (ккк) зразків визначався за формулі:

$$ККК = R_{сж} / \rho_{ср}$$

де: $R_{сж}$ - межа міцності зразка при стисканні, кгс/см²;

$\rho_{ср}$ - середня щільність зразка, кг/см³.

Визначення усадки проводилося відповідно до вимог ГОСТ 25485-89 на зразках розміром 40*40*160 мм активованого та неактивованого газобетону.

Водопоглинання визначалося за ГОСТ 12703.4-78 на зразках розміром 10*10*10см з активованого та неактивованого газобетону рівної середньої густини.

Теплопровідність визначалася за допомогою електронного вимірника теплопровідності ІТП МГ4. Перед проведенням зразки висушували до постійної маси. Випробування проводились на зразках з активованого та неактивованого газобетону.

Фізико-хімічні дослідження.

Рентгенофазовий аналіз проводився на дифрактометрі ДРОН-4 з реєстрацією на двокоординатному самописні.

Умови зйомки: 0-20 метод, швидкість лічильника - | градус у хвилину, шкала 1000 імпульсів за секунду, постійна часу RC=5сек., щілина лічильника 0,25*8 мм, мідне Си К α -випромінювання, Ni-фільтр товщиною 20 мкм, напруження на трубці 40 Кv, сила струму 25 мА.

На готометр ГУР-7 встановлювалася приставка ДП-4 із обертанням зразка своєї площині 20 об/хв. Зразок для аналізу подрібнювався в агатовій ступці до проходження через сито № 0053 і закріплювався у кюветі за допомогою невеликої кількості клею, змішаного з невеликим кількістю етилового спирту.

ІЧ-спектрограми отримані на інфрачервоному спектрофотометрі Specord-751R у діапазоні хвильових чисел від 4000 до 400 см⁻¹. похибка

хвильових чисел 4000 - 2000 $\text{см} \pm 2 \text{ см}^{-1}$ похибка хвильових чисел 2000 – 400 $\text{см}^{-1} \pm 1 \text{ см}^{-1}$.

Зразок закріплювався у спеціально сконструйованій приставці в суміші з безводним К Вг і запресовували на пресі при тиску $5 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^9$ Па. При цьому були отримані однорідні прозорі диски в інфрачервоному діапазоні. До Вг попередньо розмелювався, просіювався і сушився при 135°C протягом 48 годин.

Умови зйомки: масштаб 7,5мм/100см⁻¹, щілина 3мм, час реєстрації 2,2хв., Підсилення -3, константа часу - 1сек.

2.2.4 Вибір складу бетону

При проведенні попередніх дослідів, що виявляють загальну залежність впливу складових газобетону на його міцність та щільність, співвідношення кремнеземистого компонента до вапна-кипіння приймалося 1:1.

Склад суміші, що використовується в дослідях, визначався відповідно до інструкції з виготовлення виробів з пористого бетону СН 277-80.

Склади, використані як вихідні, представлені в таблиці 2.6

Таблиця 2.6

Характеристика складу

№п/п	Витрата матеріалів, кг/м ³					В/ Т	текучість суміші, см
	Ц	П	З-Ун	Вапно	Al		
1	300	600				0,3	11
2	350		350		0,750	0,43	22
3	294		406		0,750	0,43	22
4	238		462		0,750	0,43	22
5	350		350		1,0	0,43	22
6	294		406		1,0	0,43	22
7	238		462		1,0	0,43	22
8	350		350		1,250	0,43	22
9	294		406		1,250	0,43	22
10	238		462		1,250	0,43	22
11	238		268	174	1,0	0,43	22

12	238		238	224	1,0	0,43	22
13	238		165	297	1,0	0,43	22
14	238		288	174	1,0	0,43	11
15	238		238	224	1,0	0,43	11
16	238		165	197	1,0	0,43	11
17	127		381	127	1,0	0,43	11
18	182		381	72	1,0	0,43	11

2.2.5 Планування та обробка експериментальних даних

При статистичній обробці експериментальних даних важливим моментом є точність і достовірність отриманого значення параметра виходу кожному з дослідів. Точність оцінки параметра тісно пов'язана з визначенням помилки експерименту або відтворюваності помилки.

За результатами низки паралельних операцій розраховувалася помилка відтворюваності. Середнє арифметичне значення параметра виходу (y) визначалося за такою формулою:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

де y_i - часткове значення параметра;

n - число паралельних визначень.

Дисперсія вираховувалася за такою формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y - y_i)^2}{n-1},$$

Значення квадратного кореня з дисперсії називається середнім квадратичним відхиленням (квадратичною помилкою):

$$S = \sqrt{S^2}$$

При проведенні експерименту виникають випадки, коли одне або кілька значень багатьох паралельних визначень різко відхиляються в той чи інший бік. Якщо такі відхилення отримані внаслідок змін умови проведення експерименту, вони виключалися з подальшого аналізу. Коли причина різних відхилень не була виявлена, доцільність відбраковування таких даних вирішувалася за допомогою t -критерію Стьюдента. Розрахункове значення критерію (t_p) визначалося за такою формулою:

$$t_p = \frac{Y^{\text{ж}} - y}{S}$$

де $Y^{\text{ж}}$ – результат, що «видав»;

y - середнє значення параметра без урахування результату, що «видав»;

S - квадратична помилка без урахування результату, що «видав».

Якщо $|t_p| > t_{\tau}$, то результат вважається вибрактованим, де $|t_{\tau}|$ - табличне значення t-критерію Стюдента.

З урахуванням вимог кореляції та сумісності як фактори, що впливають на властивості газобетону, вибрано: витрату цементу, золовапняної суміші та алюмінієвої пудри. Параметрами оптимізації прийняті щільність, межа міцності при стисканні 28 діб та ККК газобетону.

Вплив обраних факторів на якийсь із параметрів оптимізації має описуватися поліномом другого ступеня (повним квадратним рівнянням):

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2,$$

де y - значення параметра виходу (щільність, міцність, ККК);

$b_0, b_1 \dots b_{33}$ - коефіцієнти регресії;

x_1, x_2, x_3 - шукані фактори.

План проведення експериментів представлений у вигляді матриці. Експерименти, які входять у план, у процесі реалізації були рандомізовані. За допомогою відомих методів регресивного аналізу розраховано коефіцієнти регресії рівнянь, що описують параметри оптимізації.

Оцінку значущості цих коефіцієнтів проведено за допомогою F-критерію. На основі рівнянь регресії були побудовані графічні залежності параметрів оптимізації від обраних факторів.

2.3 Оцінка впливу активації та складу на міцність та середню густину газобетону.

2.3.1 Вплив витрати цементу та алюмінієвої пудри

Оцінка впливу витрати складових компонентів газобетону проводилася шляхом ведення серій експериментів з різною витратою цементу та алюмінієвої пудри в діапазоні, що охоплює можливі варіанти величин міцності та середньої щільності, що відповідають вимогам для монолітних стін малоповерхових будівель, тобто. за міцністю не менше 2.0 МПа, а середньої щільності для прийнятої товщини стін 35 см - не більше 450 кг/м³.

Результати експериментів представлені на рис. 2.2, 2.4, 2.5 та 2.6 показали, що зі збільшенням кількості цементу при всіх витратах алюмінієвої пудри міцність бетону збільшується. При цьому ефект активації проявляється тим помітніше, чим більше витрата цементу. У всіх випадках впливу витрати цементу та алюмінієвої пудри проявляється однозначно: активована суміш показує більшу міцність і середню щільність.

Підтвердженням цього є також і величина ККК, яка з рис. 2.5, 2.7 значно вище активованих сумішей порівняно з неактивованими.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити важливий практичний висновок про те, що активація сухих компонентів газобетону забезпечує для отримання нормативних значень міцності (2,0 МПа) та економію цементу не більше 27-32 %.

З метою виявлення складу новоутворення в активованому газобетоні, що впливає на його характеристики міцності, був проведений рентгенофазний аналіз.

Для дослідження були взяті зразки газобетону, вихідні суміші яких оброблялися в кульовому млині та дезінтеграторі, а як еталонного - приймався зразок, виготовлений із суміші без підготовки.

Для експериментів використовувався газобетон 11 складу (табл. 2.5).

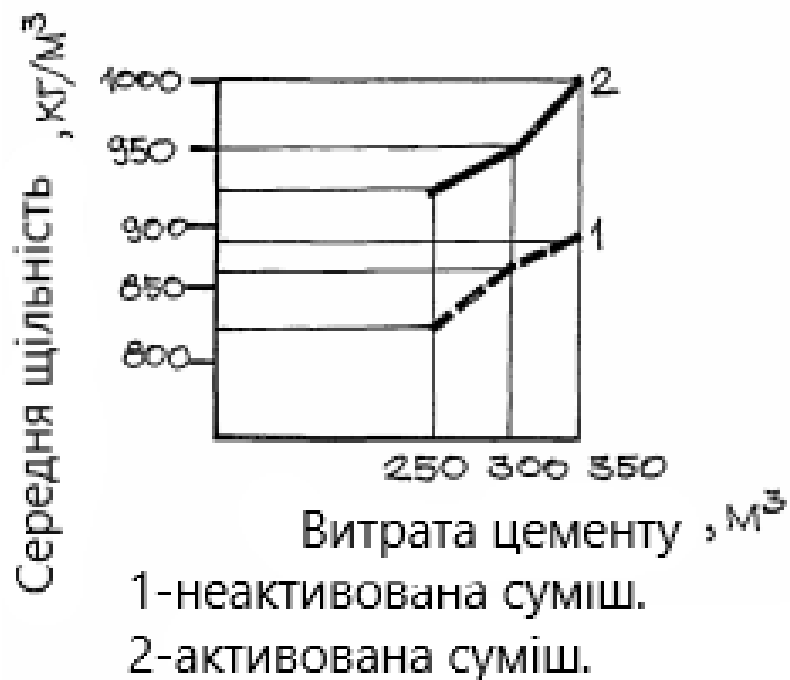
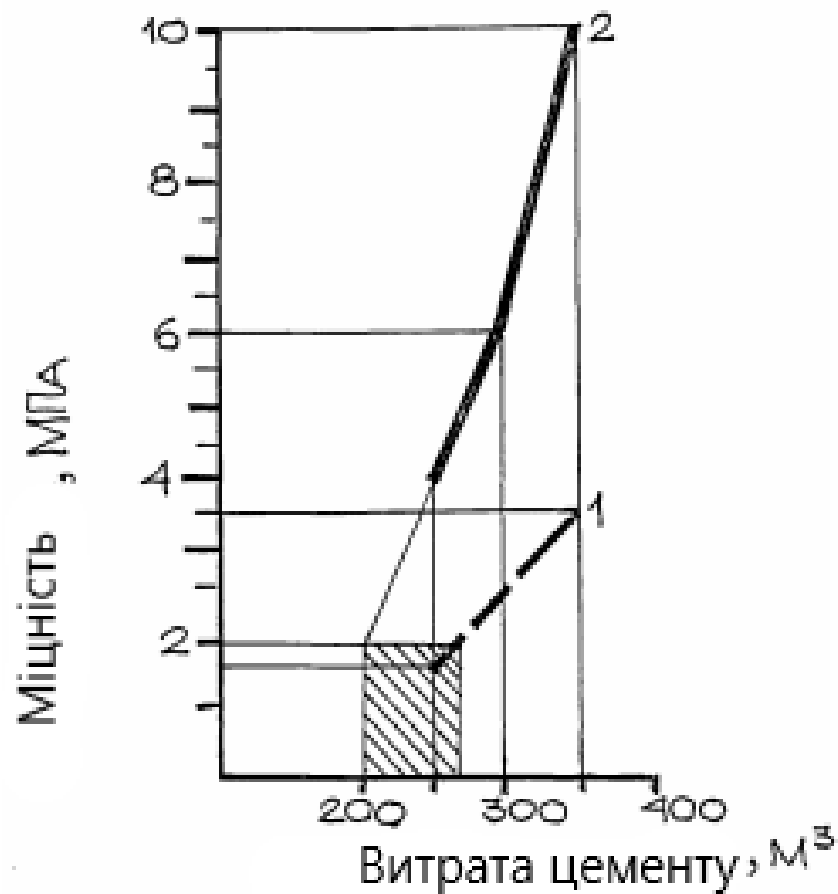


Рис. 2.2 Вплив активації сухої суміші на R та q в залежності від витрати цементу (витрата алюмінієвої пудри - $0,75 \text{ кг}/\text{м}^3$).



1-активована суміш.

2-неактивована суміш.

Рис. 2.3 Вплив активації суміші на К.К. в залежності від витрати цементу (витрата алюмінієвої пудри - $0,75 \text{ кг}/\text{м}^3$).



1-неактивована суміш.

2-активована суміш.

Рис. 2.4 Вплив активації сухої суміші на R та q в залежності від витрати цементу (витрата алюмінієвої пудри - 1 кг/м^3).



1-активована суміш.

2-неактивована суміш.

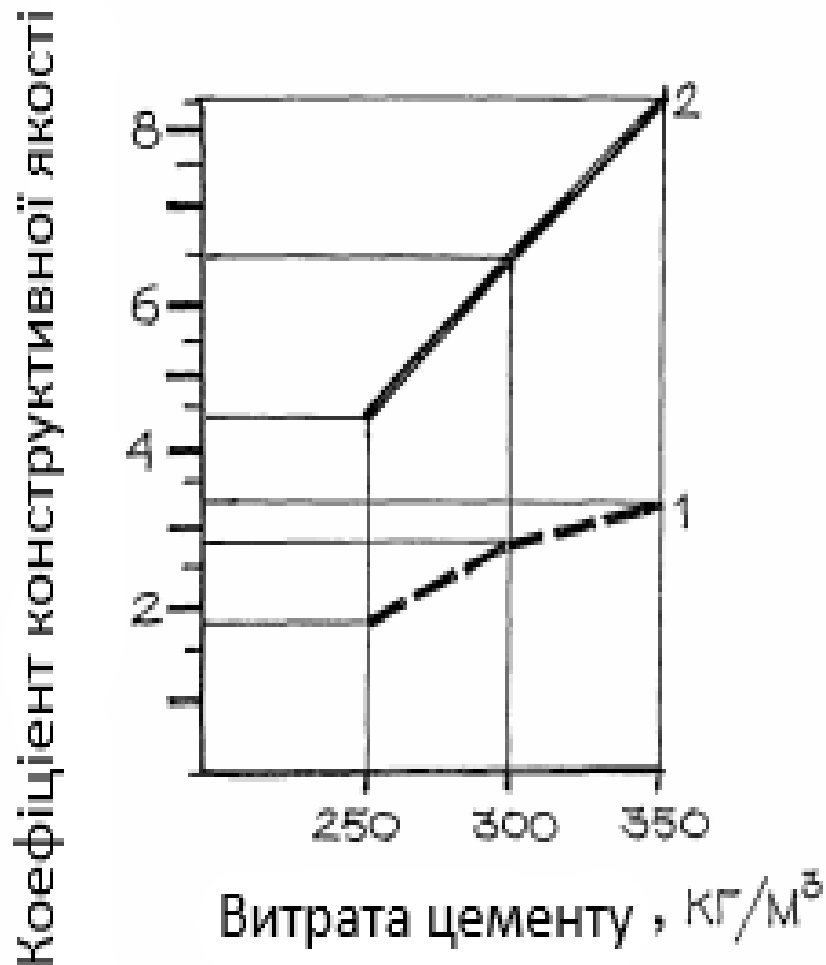
Рис. 2.5 Вплив активації суміші на К.К. в залежності від витрати цементу (витрата алюмінієвої пудри - $1 \text{ кг}/\text{м}^3$).



1-неактивована суміш.

2-активована суміш.

Рис. 2.6 Вплив активації сухої суміші на R та q в залежності від витрати цементу (витрата алюмінієвої пудри - $1,25 \text{ кг/м}^3$).



1-неактивована суміш.

2-активована суміш.

Рис. 2.7 Вплив активації суміші на К.К. в залежності від витрати цементу (витрата алюмінієвої пудри - 1,25 кг/м³).

Рентгенограма еталонного зразка (рис. 2.8) демонструє наявність у великій кількості таких мінералів як тоберморит, SiO_2 , CaCO_3 . що вказує на часткову гідратацію основних мінералів. Це підтверджується аналізом рентгенограми, яка показує наявність у склад новоутворень наступних мінералів:

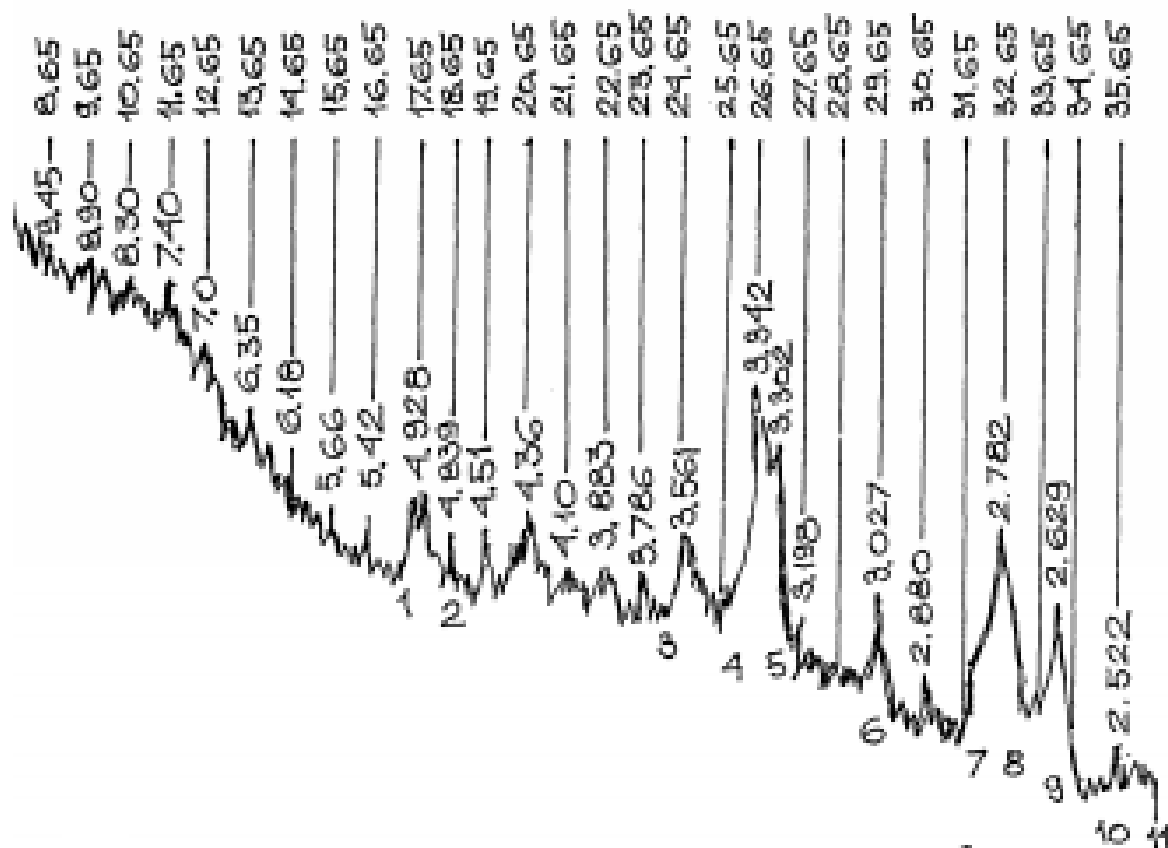
1. Гідроксид - 4.928; 2.623; 1.923; 1.190 Å

2. Кальцит – 2.483; 1.648; 1.540 Å

3. Зола-винесення (510) – 2.280; 2.109; 1.979; 1.817 Å
4. Гіроліт - 3.561 Å
5. CSH (B)-3.027 Å
6. Тоберморит - 3.302; 2.063; 1.852 Å
7. Ксонотліт - 2.782; 2.522 Å

У пробі активованого газобетону за допомогою дезінтегратора спостерігається незначна кількість гідроксиду, SiO_2 , тобермориту, але збільшено зміст новоутворень: CSH (B), C_2SH_2 , C_2SH (A), C_2SH (B) та C_3SH_2 . Цей факт є підтвердженням того, що в активованих сумішах залучається більша кількість речовин, що містяться в цементному клінкері та золе-винесення, сприяє появі новоутворень більш складного складу (рис. 2.9):

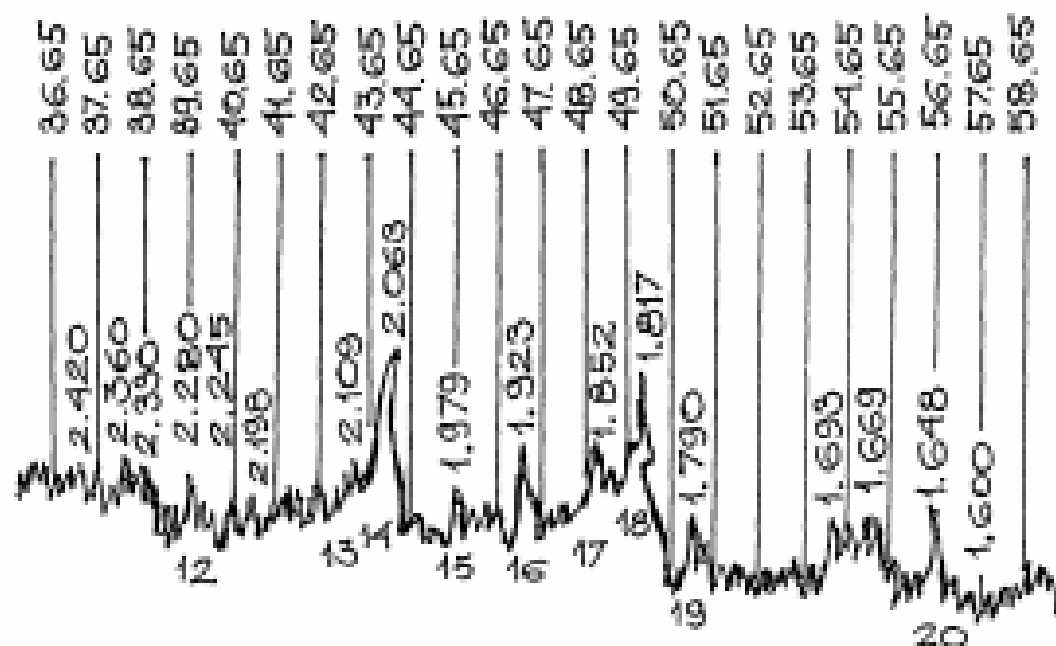
1. Гідроксид – 1.792; 1.680 Å
2. Кальцит-2.282; 1.913 Å
3. Зола-винесення (SiO_2)-3.351; 1.543 Å
4. Гіроліт-3.103; 1.873 Å
5. CSH (B) -3.026 Å
6. Тоберморит-3.351; 2.075 Å
7. Ксонотліт-2.049; 1.518 Å
8. C_2SH (A) - 2.719; 1.925 Å
9. C_2SH_2 -1.817 Å
10. C_2SH (B) - 4.884; 2.623 Å
11. C_3SH_2 -1.974 Å
12. Оксид кальцію (CaO) -2.760; 2.493 Å



Міжплощинні відстані, ($\text{\AA}$):

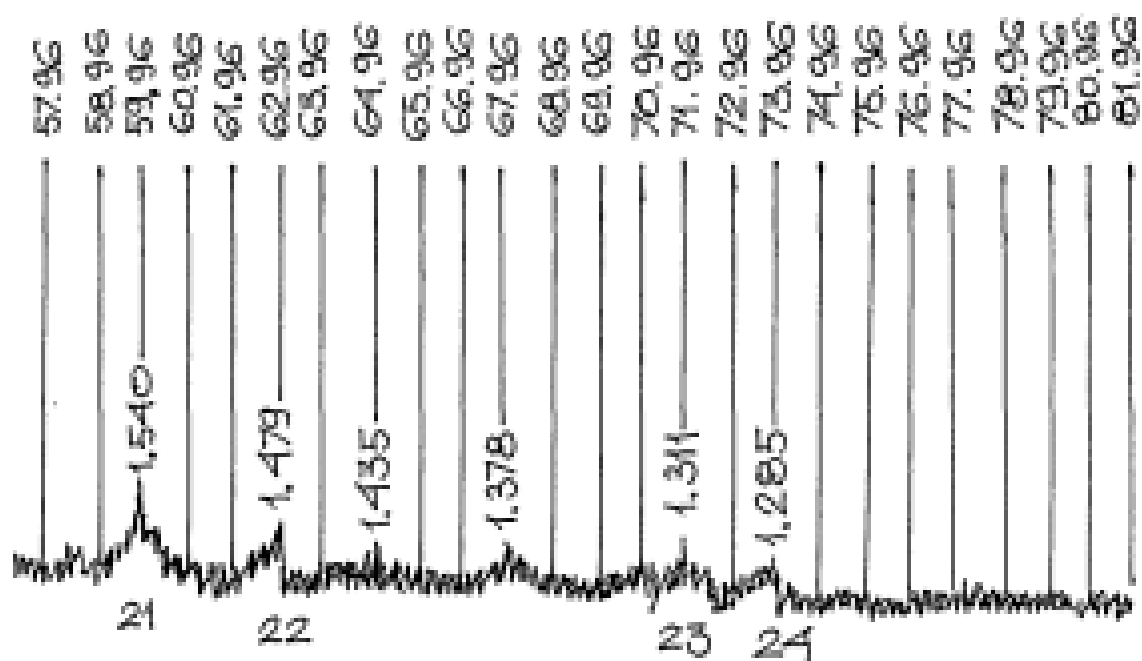
1.	4.928	7.	2.782
2.	4.839	8.	2.727
3.	3.561	9.	2.623
4.	3.342	10.	2.522
5.	3.302	11.	2.483
6.	3.027		

Рис. 2.8 Рентгенограма проб газобетону з необробленими вихідними матеріалами



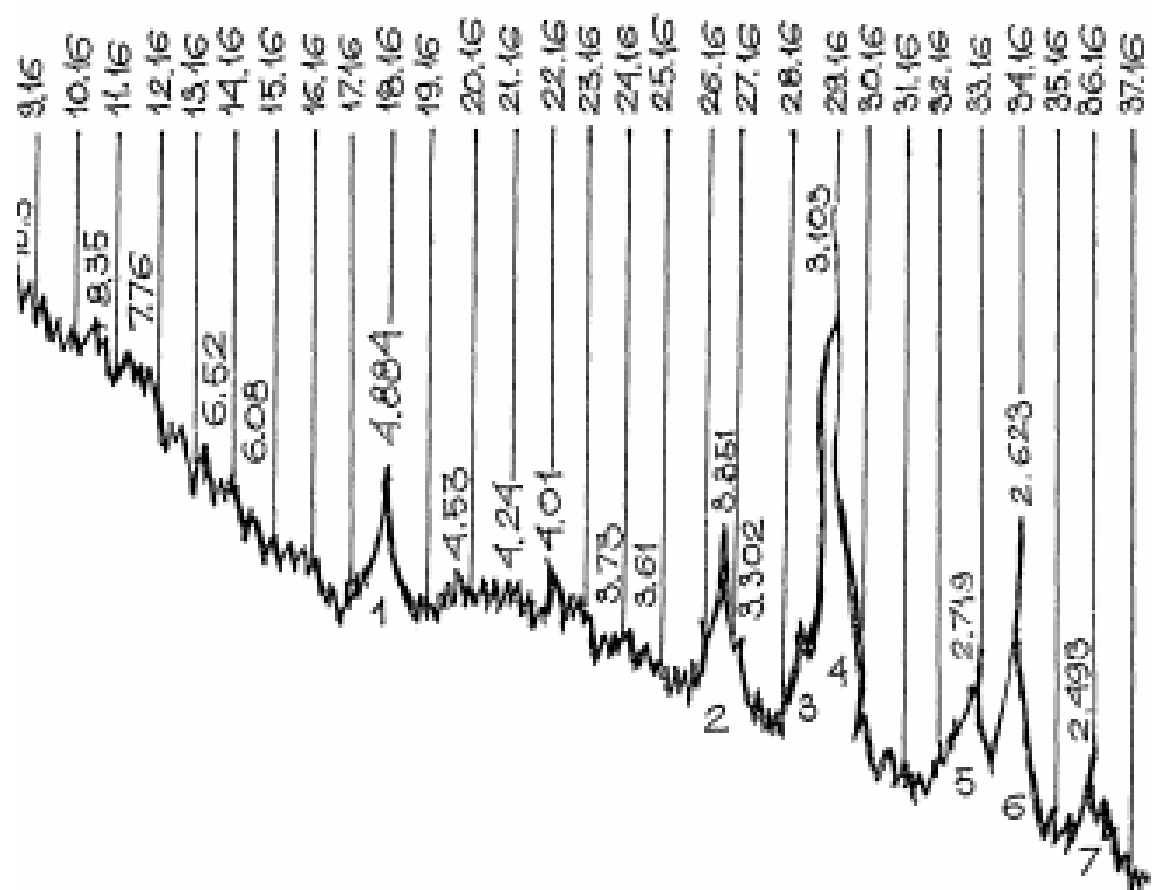
12.	2.280	17.	1.852
13.	2.109	18.	1.817
14.	2.063	19.	1.790
15.	1.979	20.	1.648
16.	1.923		

Продовження рис. 2.8



- 21. 1.540
- 22. 1.479
- 23. 1.311
- 24. 1.285

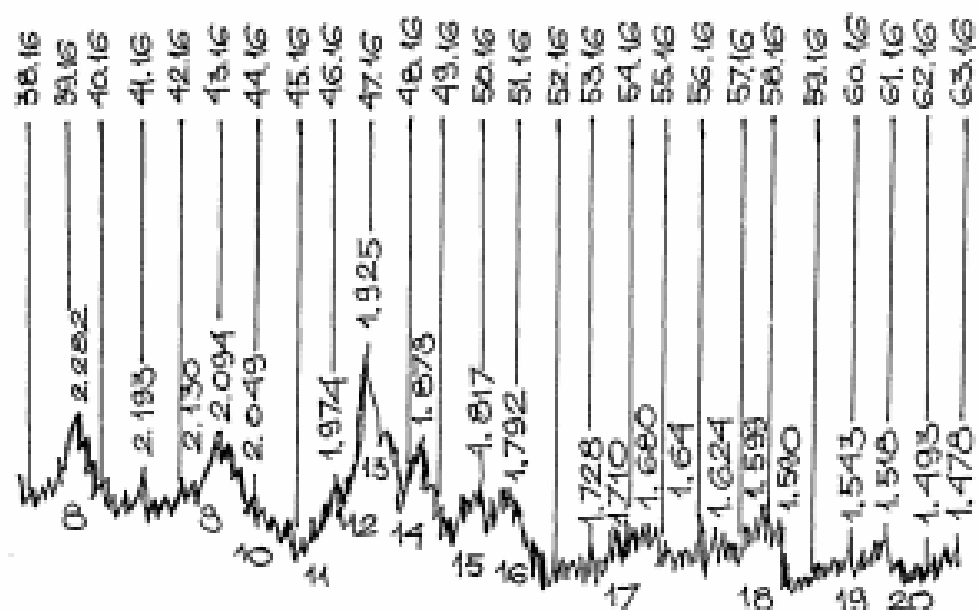
Продовження рис. 2.8



Міжплощинні відстані , (Å)

1. 4.884
2. 3.351
3. 3.103
4. 3.026
5. 2.719
6. 2.623
7. 2.493

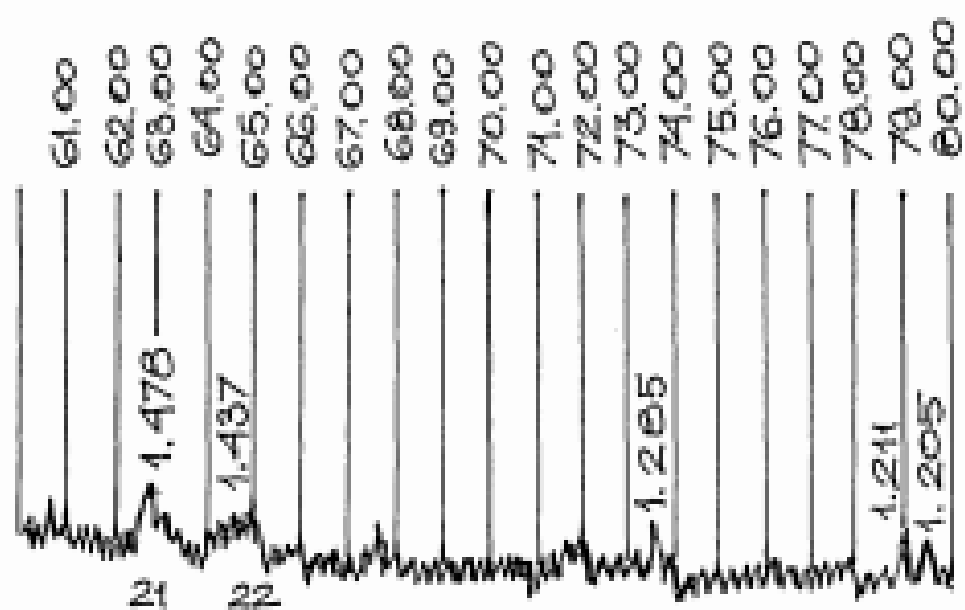
Рис. 2.9 Рентгенограма проб газобетону, вихідні матеріали якого оброблялись дезінтегратором.



8. 2.282
 9. 2.094
 10. 2.049
 11. 1.974
 12. 1.925
 13. 1.913
 14. 1.873
 15. 1.817

16. 1.792
 17. 1.680
 18. 1.599
 19. 1.543
 20. 1.518

Продовження рис. 2.9



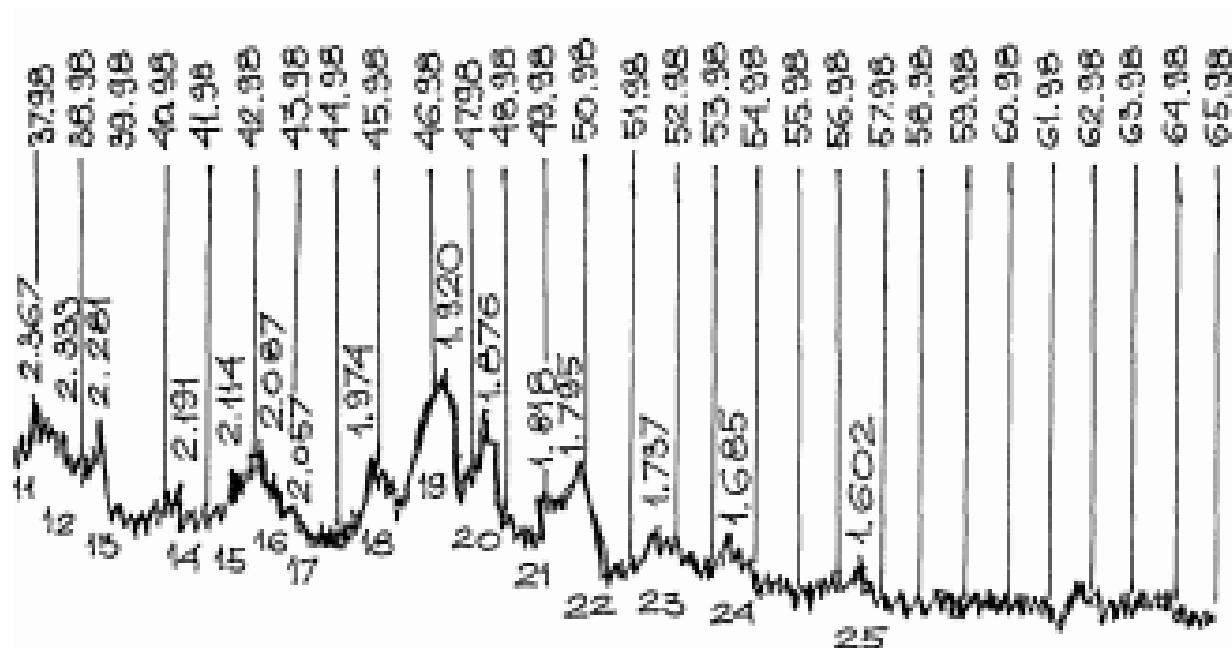
21. 1.478

22. 1.437

Продовження рис. 2.9

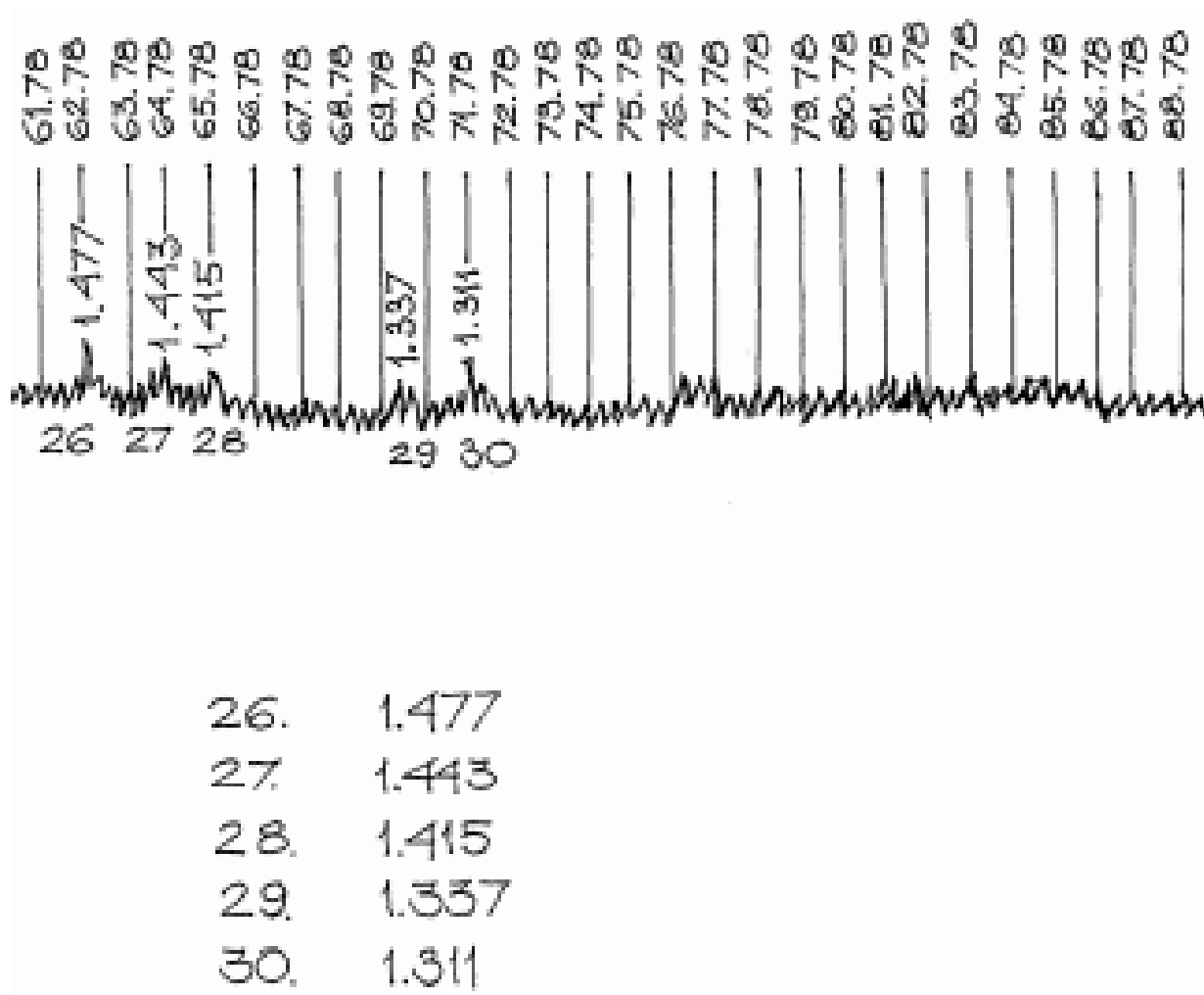


Рис. 2.10 Рентгенограма проб газобетону, вихідні матеріали якого оброблені в кульовому млині



11.	2.367	19.	1.920
12.	2.333	20.	1.876
13.	2.281	21.	1.818
14.	2.191	22.	1.795
15.	2.114	23.	1.737
16.	2.087	24.	1.685
17.	2.057	25.	1.602
18.	1.974		

Продовження рис. 2.10



Продовження рис. 2.10

У газобетоні, вихідна суміш якого оброблялася в кульовій млина, за рахунок гідратації збільшилася кількість гідроксиду, що сприяло підвищенню міцності кристалічних ґрат, а невеликий вміст оксиду кальцію є результатом підвищеної реакційної можливості компонентів проти еталонного складу. Це підтверджується аналізом рентгенограми (рис. 2.10), що вказує на наявність у складі наступних мінералів:

1. Гідроксид – 4.884; 3.078; 1.974; 1.795; 1.685 Å
2. Кальцит – 3.027; 2.493; 3.087; 1.602 Å
3. Зола-винесення (SiO₂)-3.363; 2.461; 2.281 Å
4. Гіроліт-2.114 Å
5. Тоберморит – 2.333; 1.876 Å
6. Ксонотліт – 2.057 Å

7. C_2SH (A)-1.920:1.737 Å
8. C_2SH (B)-1.872: 1.818 Å
9. Окис кальцію (CaO) – 2.724 Å
10. C_3SH_2 -3.292: 2.820 Å

Аналіз отриманих результатів показує, що підвищення міцності активованого газобетону впливає не тільки збільшення питомої, але підвищення реагованої поверхні силікатів за рахунок появи електронної емісії. Крім того, інертні компоненти, що є складовими газобетону, до яких можна частково віднести золу-винесення, при такій обробці активізуються. Найменша міцність газобетону, виготовленого із суміші, обробленої на кульовому млині, пояснюється меншим рівнем поверхні подрібнених частинок, крім того, має місце "злипання" частинок за рахунок тяжіння їх електричним зарядом, що веде до зменшення швидкості гідратаційних процесів.

2.3.2 Ефект введення вапна-кипілки

У роботах Севергіна І. В., Міхаеліса В., Каплан А. С. та ін., опублікованих ще в ХХ столітті є вказівки про те, що вапно, взяте у негашеному вигляді, може бути використана і без попереднього гасіння «з більшою користю».

Найбільші дослідження в цьому напрямку проведені І. В. Смирновим та Б. В. Осиним (15,16), які показали широкі можливості та ефективність використання такого вапна у виробництві будівельних матеріалів та розчинів.

Відкриття нових властивостей вапна стало підставою для перегляду основ технології піносілікату, тобто заміні в ньому вапна-пушонки гідратаційного твердіння вапна-кипілки піносілікатна маса не осідає і не розшаровується. Теплота, що виділяється при гідратаційному схоплюванні та твердінні, підвищує пружність газу в бульбашках піни, а, отже, і стійкість до осаду та розшарування маси.

Вивчення основних властивостей піносілікату та виявлення раціональних співвідношень між сплавом-кипільною і піском дозволили встановити, що ефективність такої технології проявляється не тільки у спрощенні її основних операцій (виключення етапу гасіння вапна), а й різкого покращення властивостей пінобетону. При цьому показано, що властивості піносілікату залежать від співвідношення між піском і вапном - кипільною, а також тонкощі її помелу. Остання обставина має особливе значення, так як застосування, у нашому випадку, дезінтеграторної технології передбачає дроблення зерен кремнеземистого компонента (золи-винесення) та вапна-кипільки спільно з цементом до розмірів зерен цементу. Враховуючи, що в пропонованій нами технології, підготовка вихідної шихти передбачає спільний помел і змішування одночасно, слід очікувати, що така технологія дозволить отримати значний ефект у прирості механічних властивостей за рахунок силікатного твердіння суміші вапна - кипільки із золою - винесення, а також отримання екзотермічного ефекту. При цьому слід відзначити і позитивний вплив вапна - кипільки на процес газоутворення і спучування, що в результаті дозволить знизити щільність газобетону.

Зазначені передумови послужили основою для проведення експериментів, результати яких наводяться нижче.

Приготовлені суміші (склади 11, 12, 13, табл. 2.6) заливали у форми розміром 10*10*10 см і через 30 хв після змішування вимірювалася температура в центрі зразка. Одночасно аналогічні склади заливали в стіни розміром: 0,8 м заввишки, 0,3 м - шириною, і 1,0 м - довжиною. Температура замірялася в центрі масиву в аналогічні терміни, як і в лабораторних зразках.

Подальше витримування зразків та масиву проводилося у приміщенні лабораторії.

Експериментальна оцінка такого ефекту представлена у табл.2.7.

Таблиця 2.7

Екзотермічний ефект при введенні вапна - кипілки

Склад суміші	Температура повітря, °С	Температура суміші у формулах °С		Температура суміші у фрагменті стіни °С	
		Через 30 хвилин	Через 12 годин	Через 30 хвилин	Через 12 годин
Цемент, зола-винесення, алюмінієва пудра	18-20	27	125	27,9	25
Цемент, зола-винесення, вапно-кипілка, алюмінієва пудра	18-20	59,2	42,5	69,8	58,2

Подані дані показують, що екзотермічний ефект більш яскраво виражений у фрагментах стіни. Такий результат, природно, не є несподіваним, тому що в масиві повнота реакції, накопичення тепла та його збереження відрізняються від умов у лабораторних зразках. У більш сприятливих умов, тобто в масивних конструкціях, екзотермічний ефект виявлятиметься ще більшою мірою. Все це надаватиме позитивний вплив на процес газоутворення, спучування та твердіння газобетону.

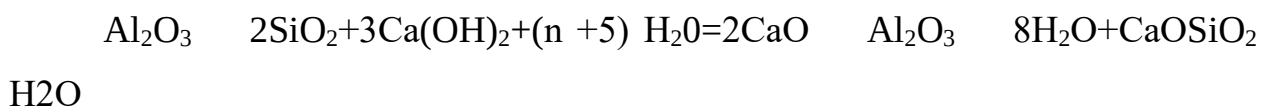
Отримані дані показують, що введення вапна-кипілки може забезпечити сприятливі умови для формування структури газобетону та твердіння за знижених температур повітря, а за умови захисту опалубки від продування - і за негативних.

Таким чином, введення вапна-кипілки може сприяти розширенню будівельного сезону та економії енергетичних витрат при бетонуванні монолітних стін у весняно-осінній період виробництва будівельних робіт.

Суттєве поліпшення фізико механічних характеристик газобетону, що спостерігається в дослідах, при введенні вапна - кипілки є наслідком ряду причин.

Наявність у складі композиції золи-винесення, яка хоч і не має активності до безпосередньої взаємодії з водою при звичайних температурах, проте наявність у ній аморфних компонентів сприяє у цих умовах пов'язувати двогідрат кальцію з утворенням нерозчинних з'єднань.

Пуццоланову активність у складі зол мають продукти випалу глин: аморфізована глиниста речовина типу метакаолініту, аморфні SiO_2 і Al_2O_3 та алюмосилікатне скло. Реакційна здатність по відношенню до двогідроксиду кальцію у них різна і залежить від температури перетворення каолінітових глин при спалюванні палива. Володіючий великою питомою поверхнею метакаолініт Al_2O_3 та 2SiO_2 активно реагує з Ca(OH)_2 при звичайних температурах з утворенням гідросилікатів кальцію та гідрогеленіту за наступною реакцією:



Пуццоланова реакція золи в бетоні починається з адсорбції на поверхні частинок золи двогідроксиду кальцію, що виділяється при гідратації портландцементу, а також завдяки введенню до складу суміші вапна-кипілки. Це призводить до різкого прискорення всіх процесів, що визначають умови формування структури газобетону Його швидкість залежить від хімічного та фазового складу золи, її дисперсності та умов твердіння. У даному випадку як підвищення дисперсності та активності зерен золи-винесення, так і підвищена концентрація та активність оксиду кальцію, що виникає екзотермічний ефект – усе це сприяє прискоренню процесу твердіння та зростанню міцності, а активізація процесу газоутворення – зменшенню середньої щільності.

Особлива роль вапна-кипілки проявляється і в її здатності брати участь у формуванні структури за схемою гідратаційного твердіння за Б.В.Осіну.

Ця особливість проявляється в період, коли продукти гідратації не можуть переходити в розчин, так як він вже насичений і тому вони виділяються у твердому вигляді у стані найдрібнішого подрібнення. Це призводить до утворенню колоїдної системи у формі гелю або колодця.

Роздроблення відбувається внаслідок того, що дрібні частинки двогідрату кальцію утворюються шляхом безпосереднього приєднання води до твердого оксиду кальцію.

За П.А. Ребіндером це називається періодом хімічного та адсорбційного диспергування. У цей час виникають дрібні центри кристалізації двугідроксида кальцію.

Екзотермічний характер цієї реакції призводить до швидкого підвищення температури, тому швидкість реакції зростає, зумовлюючи розігрів всієї маси вапна, що прискорюється. У період колоїдації виникають нові поверхні, що призводить до утворення навколо твердого ядра рою гідрофільних іонів у вигляді дифузного шару колоїдної міцели.

Нові поверхні мають гідрофільні властивості і вимагають для свого змочування великої кількості вільної води. Адсорбуючи цю воду, маса в період колоїдації загусає і з рідкого рухомотекучого стану переходить у тістоподібне.

Період коагуляції характеризується зближенням, ущільненням та зчепленням колоїдних частинок, що призводять до утворення коагуляційної структури та коагуляційної міцності.

У процесі схоплювання та твердіння вапна найбільш тонка частина колоїдних фракцій починає мимовільно перекристалізовуватись внаслідок термодинамічної нестійкості через наявність величезної вільної поверхневої енергії.

Зчеплення та переплетення кристалів двогідроксиду кальцію, що відбувається в процесі перекристалізації тонко-дисперсних фракцій, призводить до зростання міцності затвореної суміші.

Наведені вище міркування про особливості процесу гідратації та твердіння композиції цемент - зола-винесення - вапно-кипілка, підтверджуються результатами рентгенофазового аналізу з різним змістом вапна-кипілки.

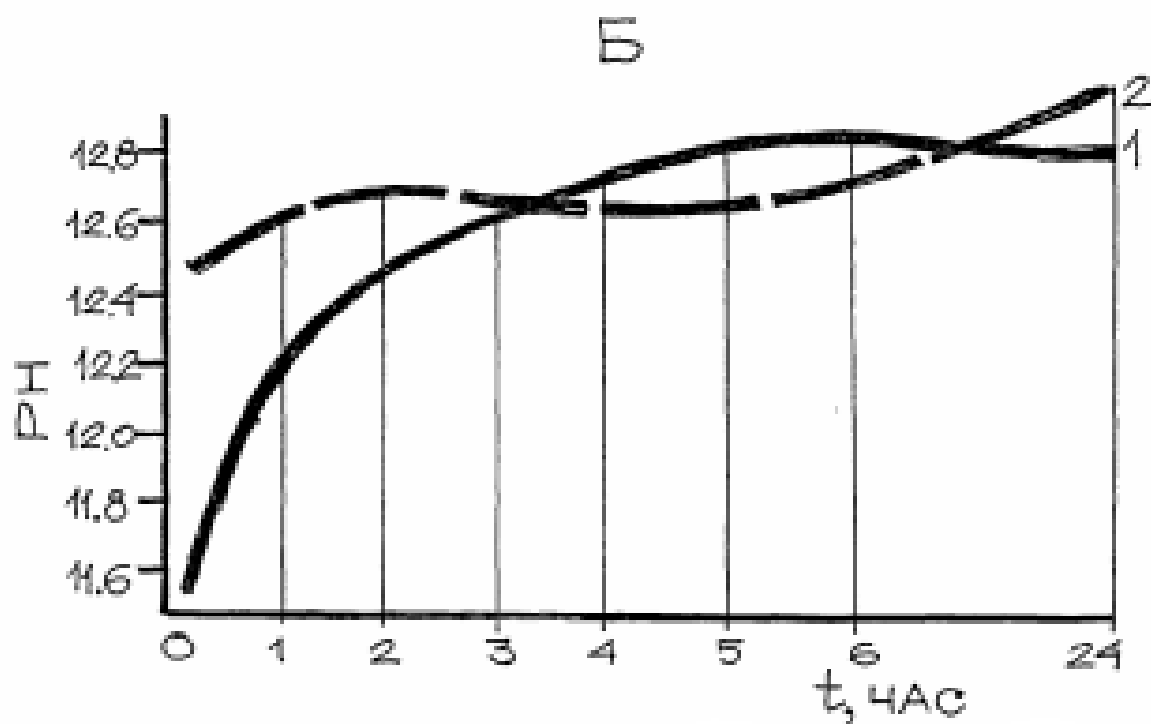
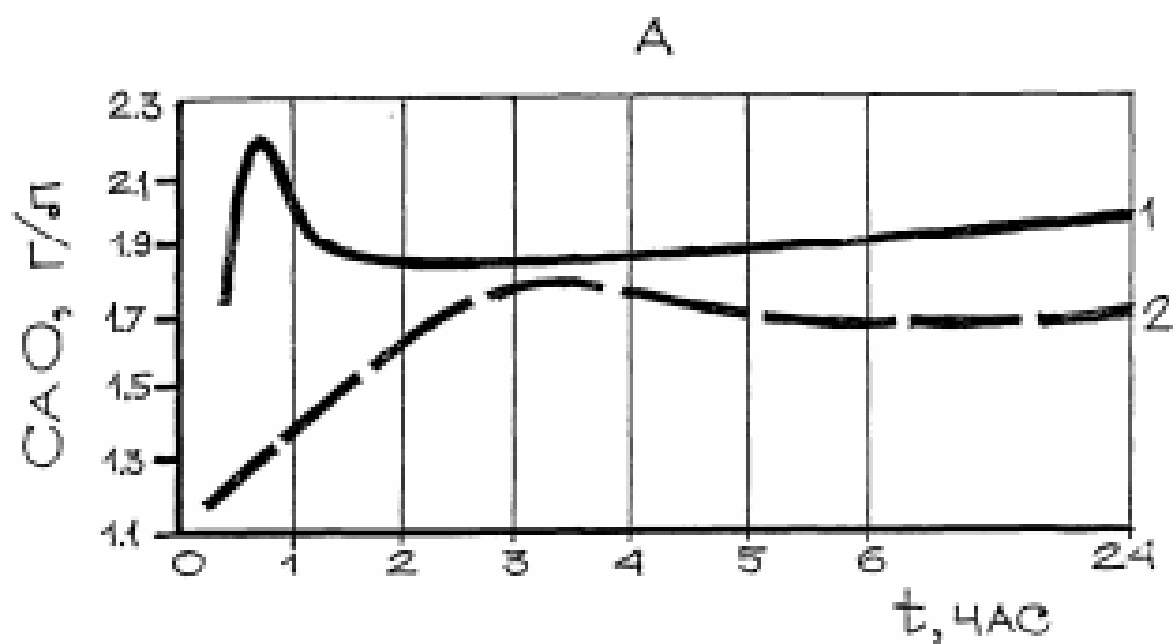
Як видно із рис. 2.11 залежність міцності композиції від співвідношення 3-уносу до вапна-кипілки має екстремальний характер. Зокрема, для даної золи-винесення та цементу він знаходиться в межах 0,7-0,75.

Для встановлення причин цього факту було проведено модельний експеримент із визначенням рН та складу нового утворення.

Кількість вапна-кипілки, що вводиться, варіювалася від 0,25 до 0,5 від маси золоцементної суміші; експеримент проводився при температурі $+20^{\circ}\text{C}$, результати якого представлені на рис. 2.12. Як видно з отриманих даних, поява гідрата оксида кальція в системі призводить до гальмування процесу розчинення силікатів, так як при їх вмісті в розчині ($\text{pH}=12,63$), концентрація оксиду кальцію більше 1,196 г/л, тому вони стають стійкими, тобто має місце гальмування процесу гідратації в початкові терміни твердіння.

Аналогічний вплив має і введення вапна-кипілки. Проте надалі частина гідроксиду кальцію, що виділився, зв'язується C_3A з утворенням $\text{C}_4\text{A}\cdot\text{ag}$. У свою чергу це призводить до зниження концентрації гідроксиду кальцію в рідкій фазі системи, а також гідратації та розчинення гідросилікатів. Так через одну годину гідратації золо-цементних систем з добавкою оксиду кальцію рентгенофазовим аналізом зареєстровані наступні зміни у твердій фазі;

- поява великої кількості кристалічного гідроксиду кальцію;
- поява гідросилікатів кальцію складу CS(B) , C_2H_2 ;
- утворення кристалів типу тобермориту $\text{C}_1\text{S}_5\text{H}_5$, про наявність яких можна судити з роздвоєння лінії 3,03 Å, лінії 3,07 і 2,096 Å, і навіть виникнення ліній 1,83; 2,26 і 2,5 Å, що згодом призводить до наростання міцності системи.



Склад золоцементних сумішей:

1- Ц+ЗУ+СаО+В

2- Ц+ЗУ+В

Рис. 2.13 зміни концентрації гідроксиду (у перерахунку на СаО (А) та РН (Б) у рідкій фазі золоцементних сумішей з додаванням СаО при $t + 20^{\circ}\text{C}$)

Таким чином, аналіз наведених даних дозволяє зробити такі висновки:

-введення вапна-кипільки в золо-цементні суміші різко підвищує концентрацію іонів кальцію та рН рідкої фази системи, що в ранні терміни гідратаційного твердіння позитивно впливає на процес газоутворень і процес спучування газобетону,

- процес гідратації основних цементних мінералів клінкеру та активних компонентів золи-виноса в ранні терміни утруднений через високу концентрацію іонів кальцію у рідкій фазі;

- зниження міцності композиції при відношенні більше 0,7-0,75 (ЗУ/І) пояснюється тим, що цементно-золяна композиція не може пов'язати наявну кількість вапна-кипіння в системі. Тому підвищення її рН призводить до відповідного гальмування процесу гідратації та зростання міцності системи загалом.

2.3.3. Вплив вібраційного впливу на щільність та міцність газобетону

Причини тріщиноутворення в огорожувальних конструкціях з газобетону в процесі експлуатації вивчалися як у нашій країні, так і за кордоном [26.28]. З цього приводу, зрештою, виробилася думка у тому, що головним фактором їх виникнення та розвитку є мікрокапілярна пористість. Одним із ефективних заходів щодо зменшення такої пористості є зниження водо-твердого відношення. Однак такий підхід до вирішення поставленого завдання пов'язаний з певними труднощами: при зменшенні В/Т відношення збільшується в'язкість суміші, що ускладнює процес спучування.

Дуже ефективним прийомом використання низького В/Т відношення та одночасно отримання легко спучуваної суміші є вібраційна технологія.

Передумовами для такого рішення є відомі положення про тиксотропних властивостях цементних композицій [29].

Як відомо [30], при динамічній дії суміш стає менш в'язкою та більш пластичною. Це відбувається внаслідок того, що при такому впливі структурна сітка руйнується, а кожна тверда частка суміші набуває властивість рухатися самостійно. В цю мить орієнтування частинок

порушується, деяка кількість води вивільняється, структурована композиційна суміш набуває на час дії динамічного навантаження якості важкої рідини.

У нашому випадку для регулювання пластично-в'язких властивостей газобетонної суміші прийнято внутрішнє вібрування, яке найбільше енергійно вигідно, тому що збудник коливань передає всю свою енергію безпосередньо суміші. При вібруванні суміші, що спучується в опалубці кількість вібраторів підбиралася з розрахунку їх продуктивності за формулою:

$$V = \pi * R^2 * h,$$

де V - обсяг суміші, м³;

R – радіус дії вібратора, м;

h — товщина шару, що вібрується, м.

У наших дослідках було прийнято склади, які мали співвідношення вапна-кипілки до золи-винесення як 1,0:0,75, 1,0:1,0, 1,0: 1,25 після замішування та заливання у форми частина з них вібрувалася на лабораторному вібростолі 2-3 рази через 3-4 хв, тривалістю 2-3 сек, з наступним витримкою у приміщенні лабораторії 28 діб. Інша частина форм після заливання також витримувалась у приміщенні лабораторії 28 діб (без вібраційного впливу). Результат такого впливу на вспучувану суміш при всіх варіантах складу виявився позитивним.

При аналізі експериментальних даних щодо оцінки ефекту введення вапна-кипілки, вібраційного впливу та активації суміші встановлено:

- збільшення кількості вапна-кипілки при одночасному підвищенні витрати цементу і кремнеземистого компонента (золи-винесення) в сумішах, що тверднуть у природних умовах, призводить до зменшення середньої щільності газобетону. Аналогічні результати мають місце і зі збільшенням витрати алюмінієвої пудри;

- у всіх випадках відзначається підвищення міцності та зниження середньої густини;

- ефект активації суміші посилює позитивний вплив вібрації при менших значеннях В/Т відношеннях відзначається підвищення міцності та одночасне зменшення середньої щільності.

Перевірка цього ефекту на фрагментах стіни з монолітного газобетону підтвердила результати лабораторних даних.

Для встановлення раціонального складу газобетону, що рекомендується для монолітних стін нижче наводяться результати експериментальних досліджень із застосуванням математичного планування.

2.3.4. Вибір раціонального складу

З урахуванням описаних вище результатів попередніх експериментів було обрано основні фактори, визначено їх «нульові» значення та інтервали варіювання для наступних факторів:

X_1 - витрата цементу, кг/м³,

X_2 - золо-вапняна суміш (1: 0,75), кг/м³,

X_3 - витрата алюмінієвої пудри, кг/м³

Як параметри оптимізації прийняті

Y_1 - середня щільність газобетону, кг/м³,

Y_3 - межа міцності при стиску у віці 28 діб, МПа.

Для оптимізації параметрів прийнято трифакторну модель. Основні характеристики вибраного плану проведення експерименту, а також матриця планування представлені в таблиці 2.8 і 2.9.

Таблиця 2.8

Умови кодування змінних

Технологічні параметри	Код	Рівні варіювання			Інтервали варіювання ΔX
		Нижній -1	Основний 0	Верхній +1	
витрата цементу, кг/м ³	X_1	182	238	294	56
витрата золо-	X_2	203	231	259	28

вапняної суміші, кг/м ³					
витрата алюмінієвої пудри, кг/м ³	X ₃	0,75	1	1,25	0,25

Таблиця 2.9

План Рехтшафнера для K = 3

Номер досвіду	X ₁	X ₂	X ₃
1	+	+	+
2	-	+	+
3	+	-	+
4	-	-	-
5	+	+	-
6	-	+	-
7	+	-	-
8	-	-	-
9	+	0	0
10	-	0	0
11	0	-	0
12	0	-	0
13	0	0	+
14	0	0	-
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Після розрахунку коефіцієнтів регресії було отримано повне квадратичне рівняння, що описує вплив вмісту цементу, вапняної пілки та алюмінієвої пудри на вибрані параметри оптимізації.

Щільність *Xi			Щільність *(Xi)2			Щільність *Xi*Xj		
X ₁	X ₂	X ₃	(X ₁)2	(X ₂)2	(X ₃)2	X1* X2	X1* X3	X2* X3
440.0	440.00	440.00	440.000	440.000	440.000	440.000	440.000	440.000
-425.0	425.00	425.00	425.000	425.000	425.000	-425.00	-425.00	425.000
446.0	-446.0	446.00	446.000	446.000	446.000	-446.00	446.000	-446.00
-465.0	-465.0	465.00	465.000	465.000	465.000	465.000	-465.00	-465.00
475.0	475.00	-475.00	475.000	475.000	475.000	475.000	-475.00	-475.00
-480.0	480.00	-480.00	480.000	480.000	480.000	-480.00	480.000	-480.00
450.0	-450.0	-450.00	450.000	450.000	450.000	-450.00	-450.00	450.000
-457.0	-457.0	-457.00	457.000	457.000	457.000	457.000	457.000	457.000
438.0	0.000	0.000	438.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-429.0	0.000	0.000	429.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	427.33	0.000	0.000	427.333	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	-445.0	0.000	0.000	445.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	442.00	0.000	0.000	442.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-444.00	0.000	0.000	444.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-25.00	-33.67	-70.000	4487.00	4492.33	4506.00	18.000	26.000	-76.000
				13485.3				
X ₁	X ₂	X ₃	(X ₁)2	(X ₂)2	(X ₃)2	X1*X2	X1*X3	X2*X3
3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200
-2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	-2.600	-2.600	2.600
3.300	-3.300	3.300	3.300	3.300	3.300	-3.300	3.300	-3.300
-2.800	-2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	-2.800	-2.800
3.310	3.310	-3.310	3.310	3.310	3.310	3.310	-3.310	-3.310
-2.700	2.700	-2.700	2.700	2.700	2.700	-2.700	2.700	-2.700
3.600	-3.600	-3.600	3.600	3.600	3.600	-3.600	-3.600	3.600
-2.900	-2.900	-2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900
3.100	0.000	0.000	3.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-2.900	0.000	0.000	2.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

0.000	2.850	0.000	0.000	2.850	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	-2.950	0.000	0.000	2.950	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	2.760	0.000	0.000	2.760	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-2.880	0.000	0.000	2.880	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.600	-0.890	-0.730	30.410	30.210	30.050	0.010	-0.210	0.190
				90.670				

Розрах. значення		густина	міцність
густина	міцність	($Y_{оп}-Y_p$) ²	($Y_{оп}-Y_p$) ²
453,861	3,081	192,138	0,014
453,749	3,194	826,525	0,353
453,560	3,127	57,149	0,030
453,448	3,239	133,456	0,193
444,011	3,613	168,707	0,092
443,399	3,726	1303,266	1,053
443,710	3,659	39,569	0,003
443,598	3,771	179,626	0,759
448,162	3,404	103,273	0,093
448,050	3,517	362,913	0,381
448,251	3,451	437,535	0,361
447,949	3,496	8,697	0,298
453,633	3,175	135,326	0,173
443,783	3,707	0,047	0,685
448,092	3,475	95,237	0,123
448,092	3,475	9,562	0,186
448,092	3,475	7,612	0,025

		4030,640	4,821
--	--	----------	-------

Перевірка адекватності отриманого рівняння за F- критерієм Фішера показала, що рівняння адекватне, тобто відхилення експериментальних даних від значень параметрів, розрахованих за рівняння, не перевищують допустимих значень.

Результати отриманих регресивних моделей середньої щільності та міцності показують, що найбільш раціональним є варіант, при якому X_1 і X_2 мають мінімальні значення, а X_3 - нульове.

В даному експерименті як функції відгуку були обрані міцність газобетону при стисканні (Y_1) та його середня щільність (Y_2). Обробка результатів проводилася на ЕОМ, а оцінка адекватності здійснювалася за величиною критерію Фішера. Регресивні рівняння, описують досліджувані залежності, виглядають наступним чином:

- Міцність при стисканні (Y_1)

$$R = 2,956 + 0,26 * X_1 - 0,19 * X_2 - 0,19 * X_2 - 0,07 * X_3 + 0,001 * X_1 X_2 + 0,35 * X_1 * X_3 - 0,25 * X_2 * X_3 - 0,025 * X_2^2;$$

- Середня щільність (Y_2)

$$\rho_0 = 434 - 2,5 * X_1 - 3,3 * X_2 - 7 * X_3 + 1,82 * X_1 * X_2 + 4,8 * X_1 * X_3 + 11,32 * X_2 * X_3 + 2,25 * X_1^2 + 3,25 * X_2^2$$

Для оцінки взаємного впливу факторів, що вивчаються, на властивості газобетонів було виконано квазіоднофакторний аналіз (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

Квазіоднофакторні моделі

Функція відгуку	Моделі
Y_1 (МПа) межа міцності при стисканні	$W_1 = 0,26 * X_1 + 0,001 * X_1 * X_2 + 0,35 * X_1 * X_3$
	$W_2 = -0,19 X_2 + 0,001 * X_1 * X_2 - 0,22 * X_2 * X_3 - 0,25 * X_2^2$
	$W_3 = -0,07 + 0,25 * X_1 * X_3 - 0,25 * X_2 * X_3$
Y_2 (кг/м ³) середня щільність	$W_4 = -2,5 * X_2 + 1,82 * X_2 * X_2 + 4,8 * X_1 * X_3 + 2,25 * X_1^2$

	$W_5 = -3.3X_2 + 1.82X_1X_2 + 11.32X_2X_3 + 3.25X_2^2$
	$W_6 = -7X_3 + 4.8X_1X_3 + 11.32X_2X_3$

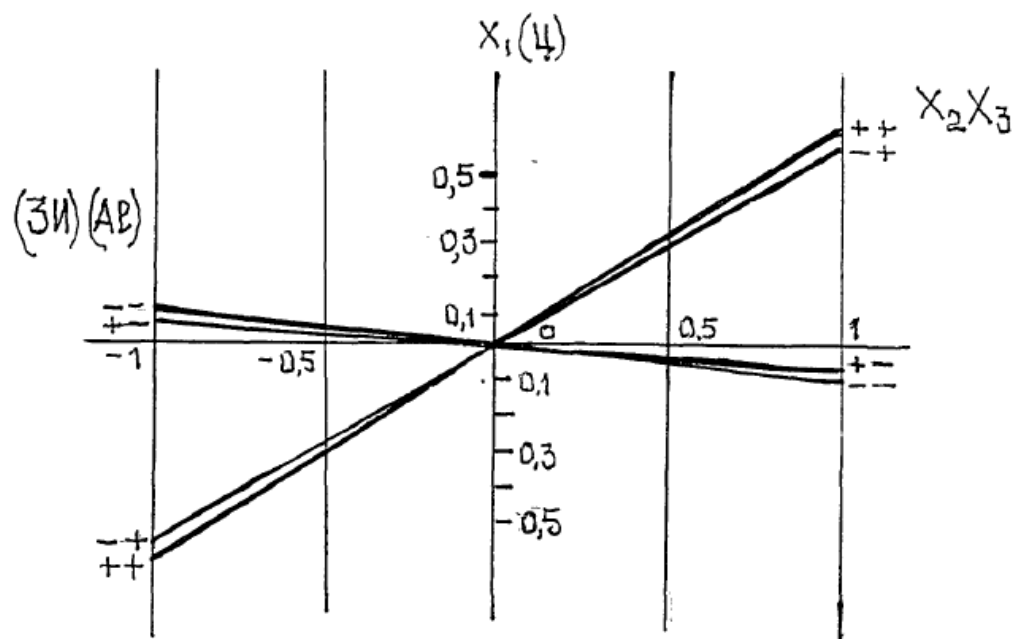


Рис. 2.15 Вплив X_1 (витрата цемента)

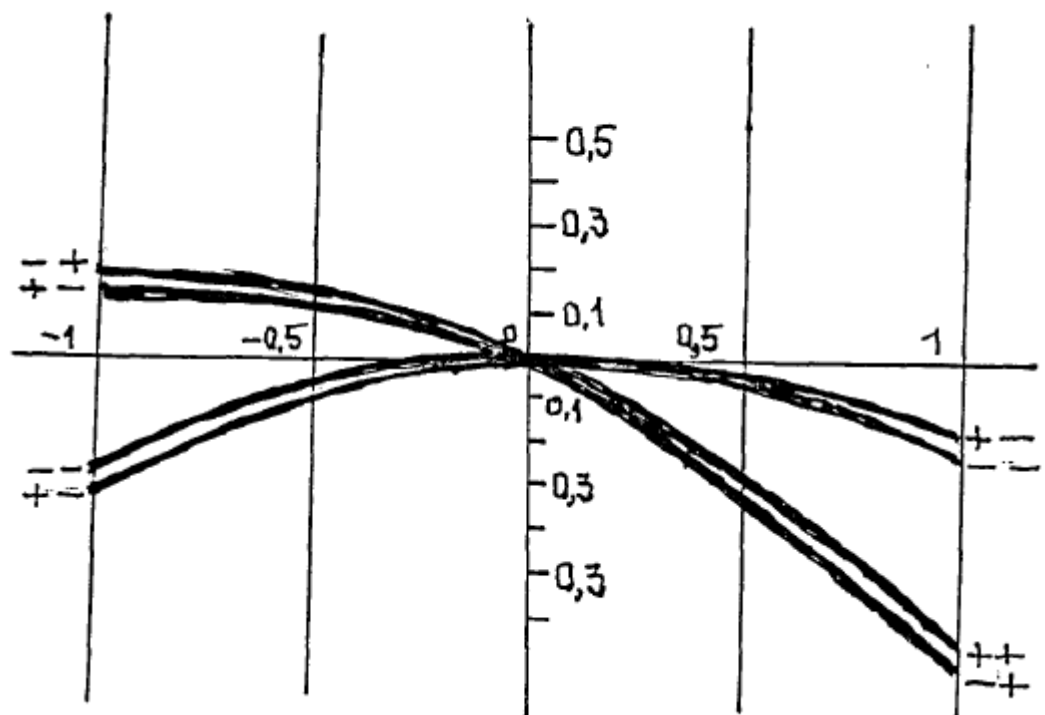


Рис. 2.16 Вплив X_2 (витрата золо-вапняної суміші)

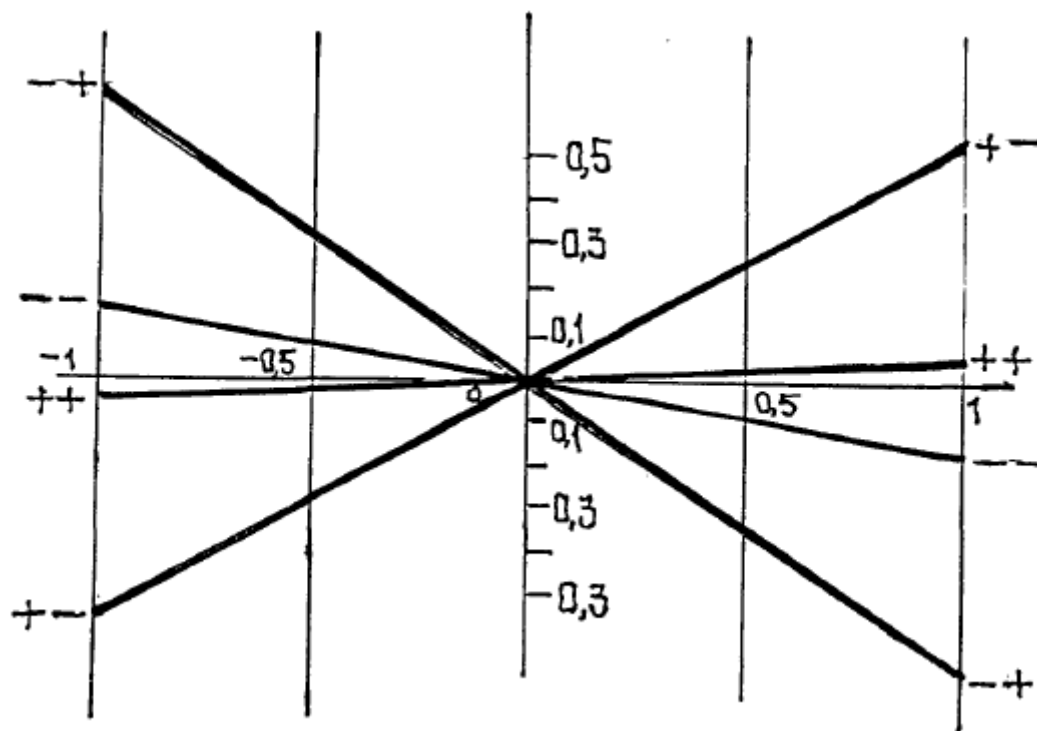


Рис. 2.17 Вплив X_3 (витрата алюмінієвої пудри)

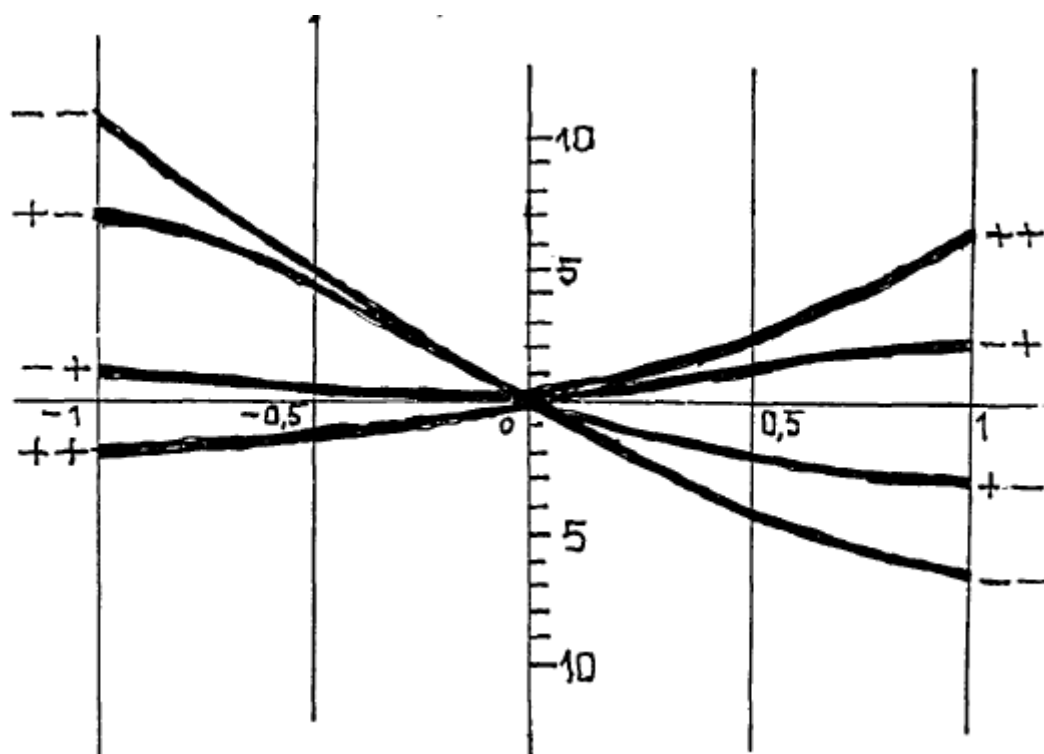


Рис.2.18 Вплив X_1 (витрата цементу)

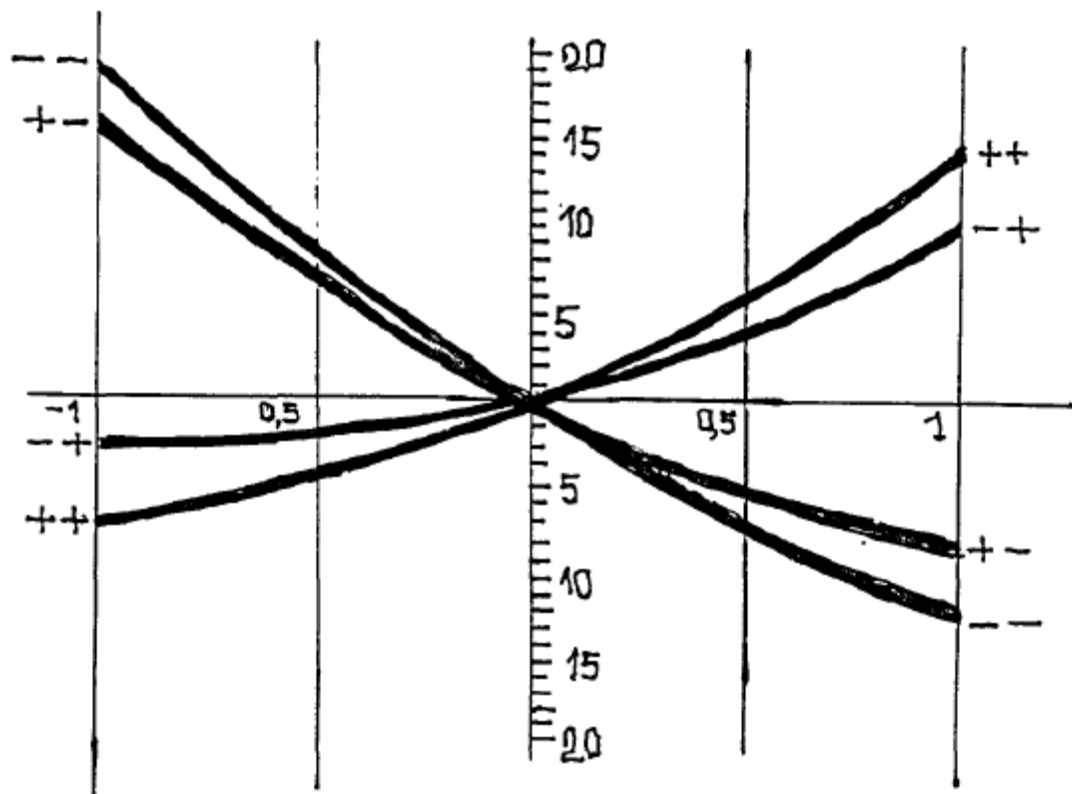


Рис. 2.19 Вплив X_2 (витрата золо-вапняної суміші)

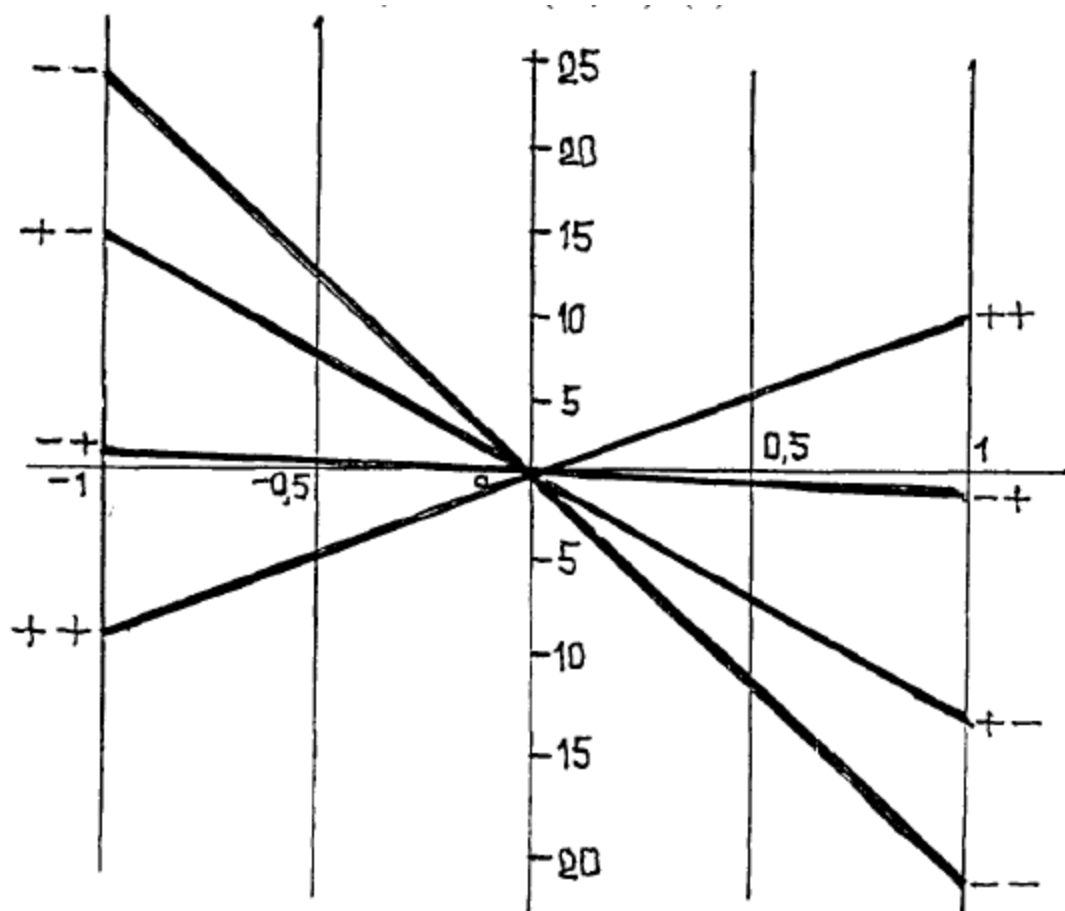


Рис. 2.20 Вплив X_3 (витрата алюмінієвої пудри)

На рис.2.15 - 2.20 наведено квазіоднофакторні моделі впливу досліджуваних факторів на міцність пористого бетону. Як і передбачалося, найбільший вплив на міцність газобетону надає витрата цементу та алюмінієвої пудри. Вплив витрати зола - вапняної суміші проявляється менш суттєво. Зі збільшенням витрати цементу (X_1) при сумісному впливі витрат зола-вапняної суміші та алюмінієвої пудри найбільша міцність газобетону досягалася при мінімальні витрати газоутворювача в системі, тоді як за його мінімальний вміст помітного впливу витрати цементу на міцність не виявляється.

Вплив витрати зола-вапняної суміші (X_2) на міцність газобетону виражено менш істотно. Закономірно, що зі зростанням витрати алюмінієвої пудри у системі міцність газобетону знижується, так як газовиділення сприяє утворенню більш пористої і, як наслідок, менш міцної структури матеріалу. При витраті алюмінієвої пудри на нижньому рівні відчувається її недолік для поризації суміші. Оптимальний вміст алюмінієвої пудри виявляється на основному рівні.

Вплив витрати алюмінієвої пудри (X_3) при взаємодії інших чинників мало цілком закономірний характер. Зі збільшенням частки вапна - кипілки в системі газовиділення активізується і це призводить до зниження міцності бетону.

І лише при витраті цементу на верхньому рівні міцність бетону стає максимальним.

Середня щільність газобетону суттєво залежить від усіх трьох досліджуваних факторів, проте найбільший вплив на нього надає вміст газоутворювача - алюмінієвої пудри.

Вплив витрати цементу (X_1) на щільність проявляється закономірно. Зі зростанням витрати цементу як найважчої складової суміші спостерігається несуттєве коливання густини. За великих витрат газоутворювача щільність газобетону знижується значно, особливо при витратах зола - вапняної суміші на верхньому рівні.

Зі зростанням вмісту зола - вапняної суміші в системі найбільш значне зниження середньої щільності газобетону досягається при великих витратах газоутворювача і цементу. Мабуть при таких поєднаннях факторів досягаються найбільш сприятливі умови.

Таблиця 2.12

Порові характеристики газобетону

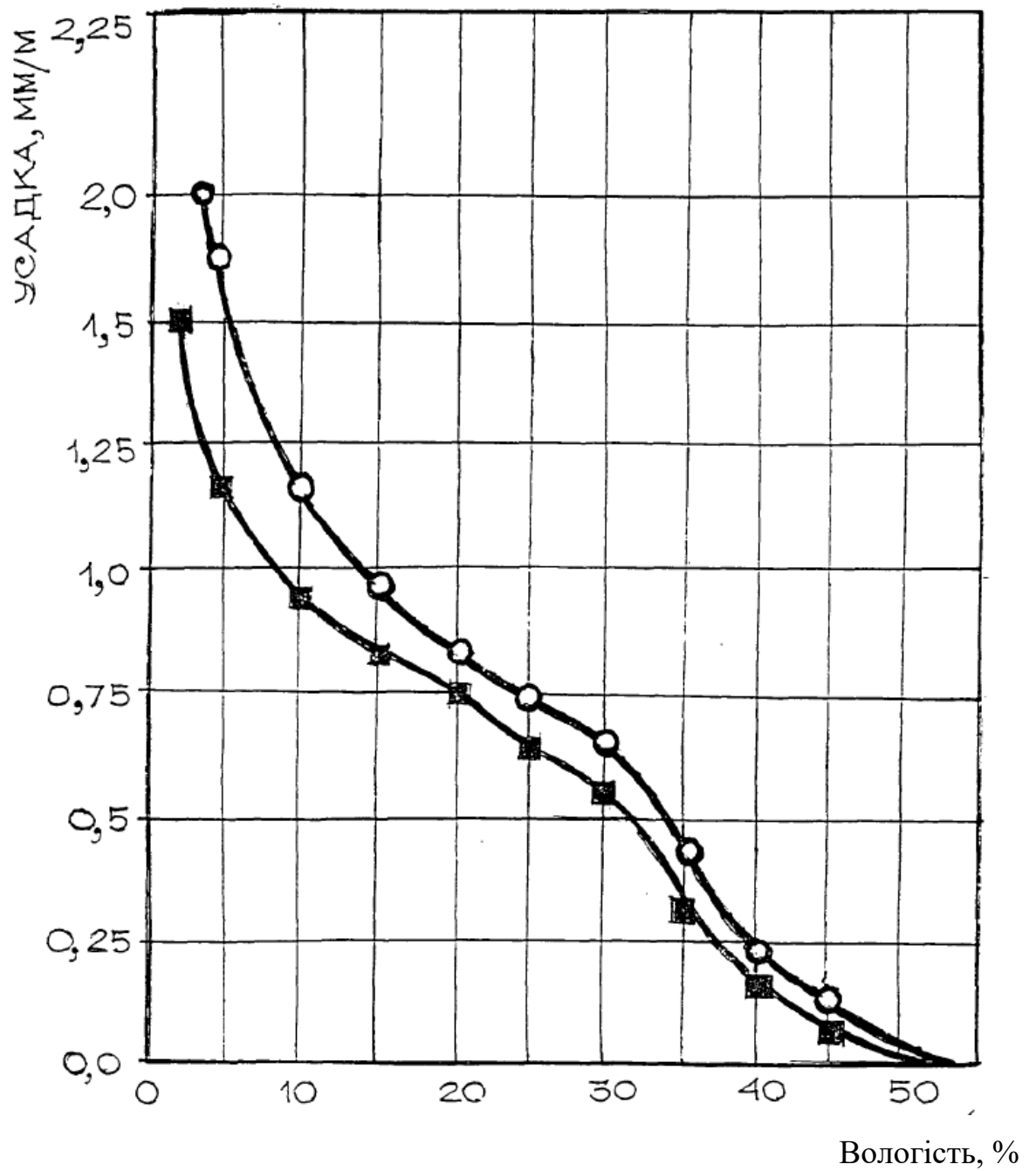
Вид суміші	Середня щільність, кг/м ³	Загальна пористість, %	Водопоглинання, %	Закрита пористість, %
активована	410	86,4	46	40,6
неактивована	400	86,7	49	37,7

Результати проведених випробувань показують, що водопоглинання газобетону знаходиться в межах нормативних значень (для пористих бетонів допускається величина 55%).

Усадка. Результати випробування, представлені на малюнку 2.21 показують, що усадка активованих сумішей менше, ніж у неактивованих. Величина усадочних деформацій в обох випадках знаходиться в допустимих межах.

Теплопровідність газобетону визначалася за допомогою приладу ІПІ-МГ4 у висушеному до постійної маси стані. Випробування показали, що коефіцієнт теплопровідності з активованого газобетону дорівнює 0,079 Вт/м°С, а неактивованого - 0,098 Вт/м°С. Незважаючи на приблизно рівну середню щільність складів, що розглядаються, менше значення теплопровідності активованого газобетону пояснюється більш рівномірною пористою структурою, ніж у газобетону, виготовленого із неактивованої суміші.

Зведені дані щодо результатів контрольних випробувань представлені нижче.



-■- активований газобетон;

-○- неактивований газобетон.

Характеристика активованого газобетону, що рекомендується

1. Витрата матеріалів, кг/м³

цемент М500	182
зола-винесення	116
вапно-кипілка	87
алюмінієва пудра	1

2. Міцність при стисканні, МПа	3,5
5. Середня Щільність, кг/м ³	410
4. ККК	7,6
5. Теплопровідність, Вт/м ⁰ С	0.079
6. Водопоглинання, %	46
7. Усадка, мм/м	1.5
8. Морозостійкість, цикл	понад 25

Результати контрольної перевірки рекомендованого складу показали, що основні характеристики активованого газобетону відповідають вимогам до матеріалу для заповнення міжопалубного простору монолітних стін малоповерхових будівель.

У зв'язку з цим рекомендований склад та спосіб його підготовки пропонується для розробки технологічної схеми мобільної установки, призначеної для підготовки та приготування активованої газобетонної суміші

2.4 Висновки

1. Обробка сухих сумішей у дезінтеграторі сприяє збільшенню міцності композиції у 2-3 рази порівняно з помолом у кульовому млині або одержанні газобетону із заданими параметрами при скороченні витрати цементу до 30%

2. Встановлено, що механізм активації обумовлений утворенням електростатичного поля (електронного емісії) на свіжоутвореній поверхні подрібнених зерен, завдяки якому різко прискорюються процеси гідратації та твердіння. Досліди показали, що в результаті обробки в дезінтеграторі визначальний вплив на зростання міцності активованого газобетону має ефект активації, а не збільшення сумарної поверхні компонентів суміші.

3. Методами рентгенофазового аналізу встановлено, що зміст новоутворень типу CSH (B), C₂SH (A), C₂SH (B), C₃SH₂ у композиціях, активованих дезінтегратором, вище у порівнянні з обробкою їх у кульовий млині. Це вказує на те, що активація сприяє залученню у реакцію гідратації

більшого обсягу вихідних компонентів та, як наслідок, підвищення його міцності.

4. Введення в пористу суміш вапна-кипільки (при оптимальному її співвідношенні до золи-винесення), і при спільній їх обробці в дезінтеграторі сприяє різкому збільшенню міцності (у 2-4 рази) газобетону, при одночасному зменшенні його середньої густини в 1,5-2 рази. При цьому процес спучування починається в більш ранні терміни і протікає більше інтенсивно.

5. Екзотермічний ефект, що виникає при введенні вапна-кипільки, завдяки якому суміш розігрівається до 70-75⁰С на фрагменті стіни, дозволяє розширити будівельний сезон без обігрівачів та скоротити терміни стабілізації структури бетону.

6. Вібраційний вплив на суміш, що спучується, дозволило використовувати більш в'язкі суміші при менших значеннях В/Т відношення, що сприяло збільшенню міцності газобетону в 2-3 рази в порівнянні з аналогічними складами при формуванні по ливарній технології.

7. На основі проведених дослідів та оцінки досліджуваних факторів з допомогою трифакторної регресійної моделі визначено раціональний склад газобетону, вивчено основні його властивості, які підтвердили можливість його застосування для заповнення міжопалубного простору монолітних стін малоповерхових будівель.

Розділ 3. Вибір і обґрунтування технологічної схеми та обладнання мобільної установки

3.1. Опис та обґрунтування технологічної схеми

При бетонуванні монолітних огорожувальних конструкцій приготування бетонної суміші зазвичай здійснюється поза будівельного майданчика. При цьому відомо, що умови доставки бетонної суміші від бетонозмішувального вузла до місця укладання мають великий вплив на її технологічні властивості та якість укладеного бетону.

Як показує практичний досвід, для подачі бетонної суміші в опалубку найбільш раціональним є трубопровідний транспорт, так як він забезпечує ізоляцію переміщуваного матеріалу від навколишнього середовища, безперервну подачу, а також транспортування його як у сухому, так і у водозамішеному стані.

Такий спосіб найбільш доцільно здійснювати за допомогою мобільної установки. На такій установці можна розмістити потрібне обладнання та транспортні засоби для подачі сухої суміші до місця перемішування її з водою, наприклад, до форсунки, і укладання замішеної суміші у опалубку. Важливою обставиною є також те, що цей процес відбувається при виході суміші з трубопроводу безпосередньо в зоні укладання в опалубку. У цьому випадку виключається пробкоутворення, порушення структури суміші (розшарування), а також потреба у промиванні та очищення трубопроводу. Крім того, слід врахувати, що пневматичний спосіб транспортування сухих сумішей має великий діапазон дії: в горизонтальному напрямку до 2 км, а у вертикальному – до 100 м.

Мобільна установка призначена для виготовлення бетонних сумішей, що використовуються при бетонуванні огорожувальних конструкцій, влаштування підлог з поризованих розчинів, а також утеплення покрівлі.

Вона складається з двох мобільних комплексів із встановленою електричною потужністю близько 15 кВт.

Пересувний склад обладнаний трьома силосними бункерами для зберігання вихідних матеріалів з дозаторами, а також гомогенізатором для перемішування віддозованих компонентів.

Обсяг силосних бункерів прийнято з умови запасу для вихідних компонентів на тридобову роботу комплексу: цементу-12т, вапна-кипільки-8,0т, золи-винесення-8,5 т.

Мобільний технологічний комплекс (рис. 3.1) оснащений обладнанням для виготовлення суміші, її активації: з одночасним перемішуванням і подачею трубопроводом до місця заливки суміші в опалубку.



Рис. 3.1 Мобільна установка для виробництва наливного пінобетону
ПБС-0.9

Подача вихідних компонентів в технологічний комплекс проводиться за допомогою скіпового підйомника по шлюзуючому лотку безпосередньо в накопичувальні бункери сухої суміші, з яких після попереднього

перемішування вона потрапляє в дезінтегратор, де активується та одночасно перемішується (рис. 3.2, 3.3). Установка двох накопичувальних бункерів із сухою сумішшю забезпечує можливість безперервної роботи дезінтегратора шляхом почергової подачі її від кожного бункера.

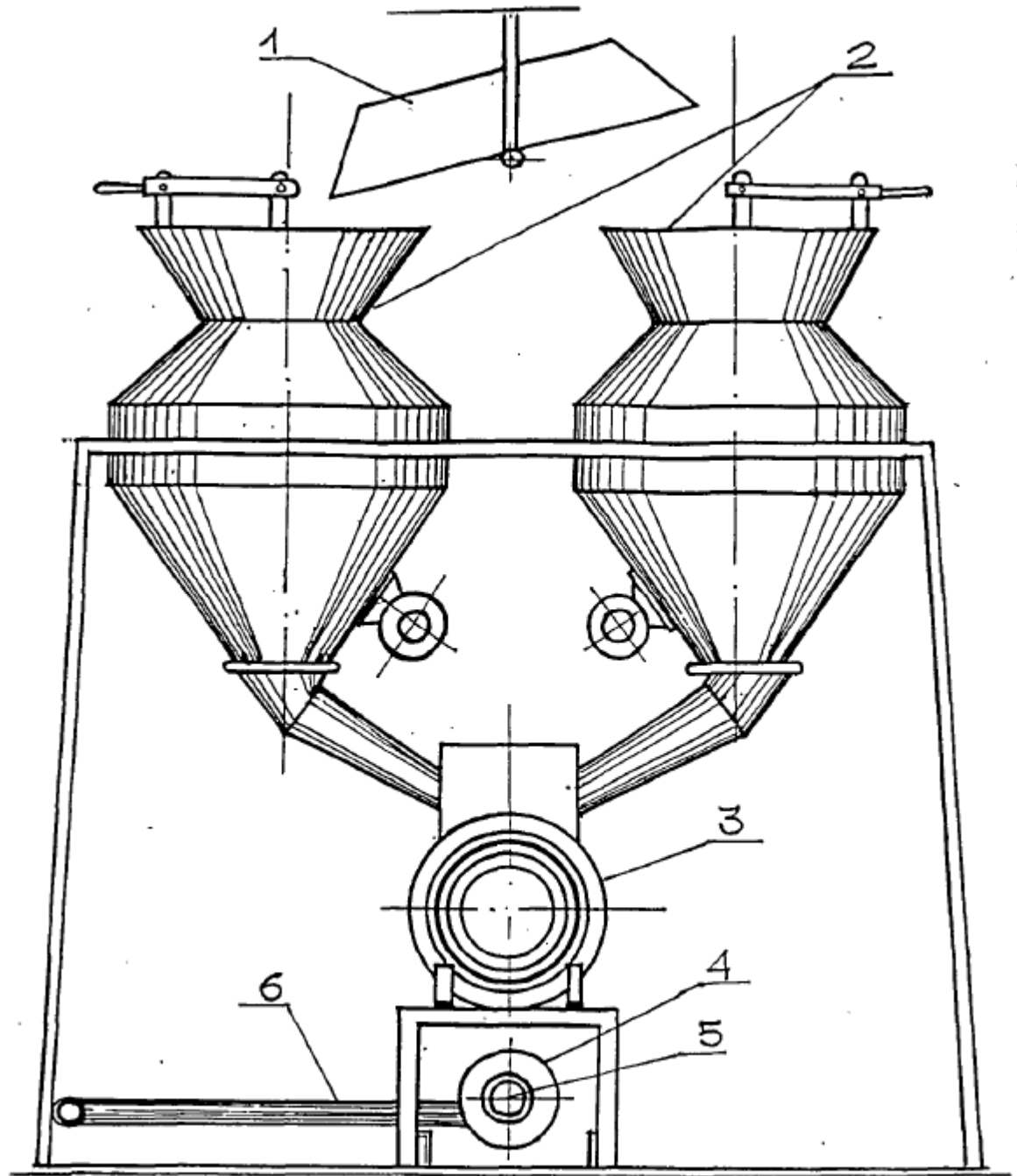


Рис.3.2 Технологічне обладнання мобільної установки

- 1- шлюзуючий лоток; 2- бункери; 3- дезінтегратор; 4- дифузорний насос;
5- трубопровід сухої суміші; 6- трубопровід для подачі повітря.

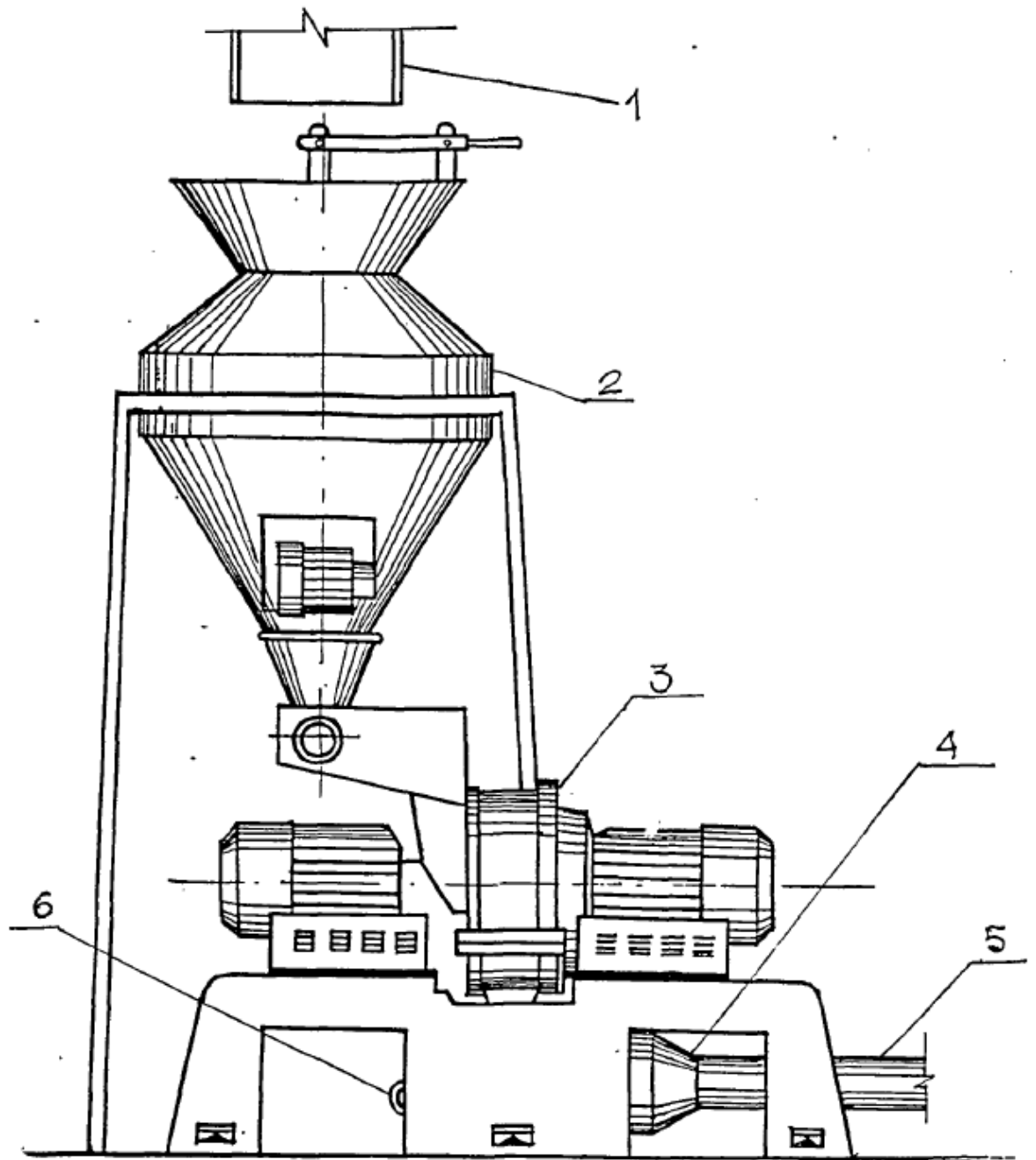


Рис. 3.3. Технологічне обладнання мобільної установки

2- шлюзуючий лоток; 2- бункери; 3- дезінтегратор; 4- дифузійний насос;
5- трубопровід сухої суміші; 6- трубопровід для подачі повітря.

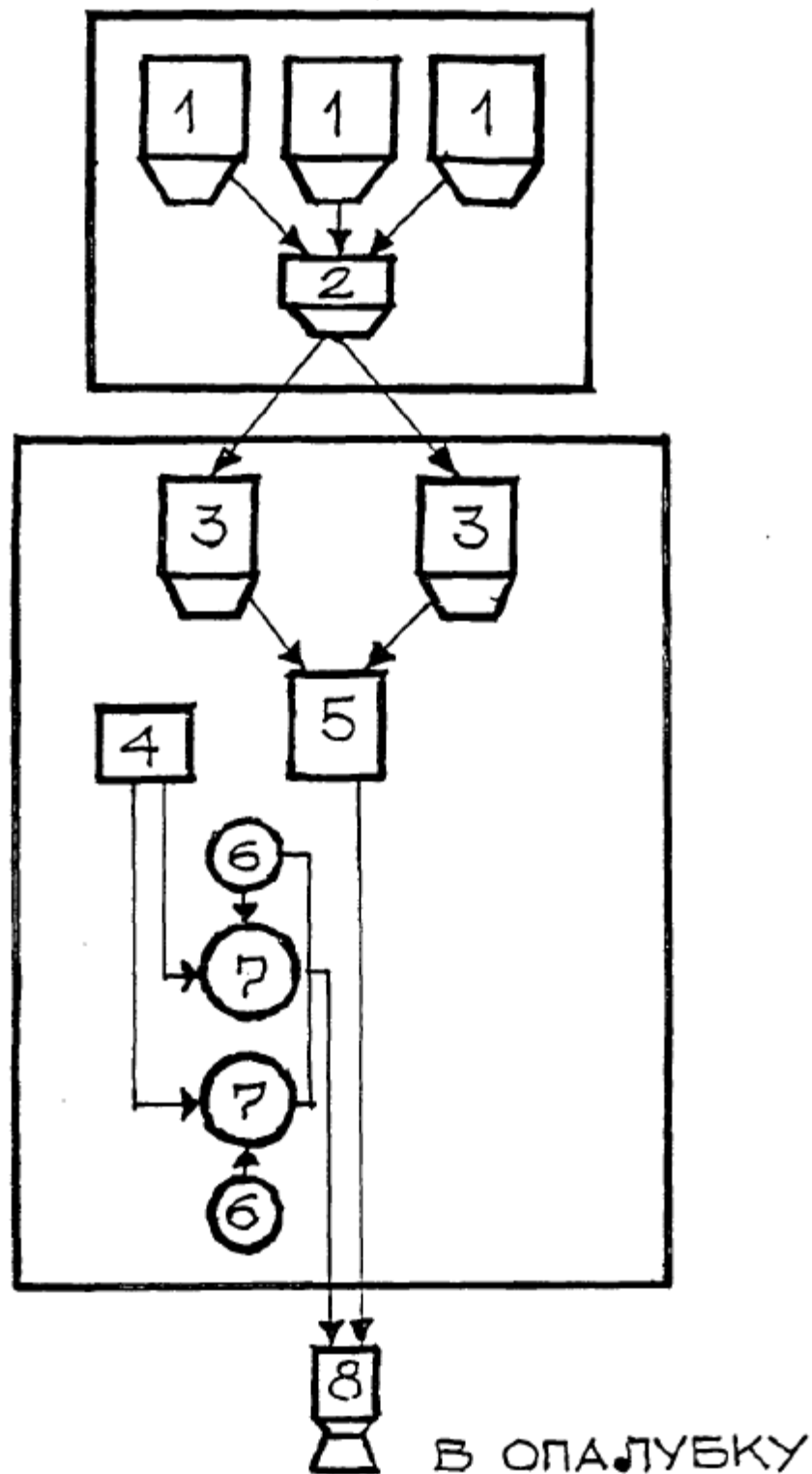


Рис. 3.4 Технологічна схема приготування, транспортування та перемішування сухої суміші. 1- силосні бункери для цементу, вапно-кипільки та золи-винесення; 2- гомогенізатор; 3- бункери для віддозованої сухої суміші; 4- компресор; 5- дезінтегратор; 6- суспензії; 7- ємність для перемішування суспензії з водою; 8- форсунка.

З дезінтегратора за допомогою дифузорного насоса суміш надходить у трубопровід. Обертове лопатеве колесо цього насоса нагнітає повітря, який створює вихроподібний рух частинок сухої суміші під час її транспортування трубопроводом. З цієї причини в процесі переміщення не відбувається її розшарування. (Рис. 3.4).

Підготовка води замішування здійснюється наступним чином. Приготовлена в суспензаторах суспензія (ПВА+ алюмінієва пудра) перемішується з водою у двох ємностях та по черзі з кожної ємності транспортується іншим трубопроводом до форсунки, де суха суміш замішується водою. Завдяки особливій конструкції форсунки в ній відбувається інтенсивне перемішування сухих компонентів з водою, після чого вже готова суміш подається в опалубку.

Пропонована установка не вимагає значної площі та великої електричної потужності, що має важливе значення під час її експлуатації. Наявність колісного ходу дозволяє переміщати її в будь-яке місце будівельного майданчика та за його межі. Транспортування установки можливе за допомогою трактора або автомобільного тягача.

Технічні характеристики мобільної установки:

Об'єм робочої ємності	1020л
Продуктивність	4-6 м ³ /год
Споживана потужність	4 кВт/год
Напруга живлення	380 Вт
Вага в незавантаженому стані	1620 кг
Обслуговуючий персонал	2 люд.
Габаритні розміри, мм	5100*2200*2280

Двоосний автомобільний причеп вантажопідйомністю 2500 кг, Змішувач, Піногенератор «ПГІЩ-600», Компресор, шланги.

3.2. Змішування дисперсних сумішей

Перемішування дисперсних сумішей складається з 3-х елементарних процесів: переміщення груп частинок з одного положення до іншого (конвективне змішування), перерозподіл частинок через оновлювану поверхність розділу (дифузійне змішування) та зсувні деформації.

Отримання однорідної бетонної суміші можливе за умови, що не тільки змішувальні матеріали, але і кожна частка суміші окремо здійснювала б багаторазові переміщення в змішувачі по найбільш складним траєкторіям, що часто перетинаються.

Для перемішування компонентів на виході з трубопроводу в якості змішувального пристрою зазвичай використовуються форсунок. Однак вироблені промисловістю форсунок застосовуються тільки для торкретирування та нанесення штукатурного шару. У робочий об'єм таких форсунок суміш надходить вже готовою, а вода, що подається в неї, призначена тільки для забезпечення необхідної технологічної рухливості суміші. Тому застосування таких форсунок для приготування комірчастої суміші дуже проблематично, так як це пов'язано з великими труднощами не тільки по забезпеченню необхідної однорідності суміші, але заданого В/Т.

У зв'язку з цим ми провели аналіз робіт, на підставі якого було прийнято низку рекомендацій щодо проектування форсунок, призначених для перемішування ніздрюватобетонних та інших подібних сумішей транспортованих трубопроводом.

Встановлено, наприклад, що в процесі приготування ніздрюватобетонної суміші, до складу якої введено вапно-кипілка, рекомендується деякий розрив часу між замішуванням і перемішуванням. Ця обставина була врахована шляхом установки живильної труби в місці перетинання потоків води і сухої суміші на певній відстані до робочого органу, де відбувається їх остаточне перемішування. На якість замішування сухої суміші впливає кут подачі води в момент її зустрічі з потоком сухої суміші, тому в пропонованих конструкціях форсунок кут перетину потоків

сухої суміші і води прийнятий $\beta = 25^\circ$. У цьому випадку забезпечується найбільш повне замішування суміші в процесі її переміщення та перемішування у форсунці.

У загальному вигляді конструкції форсунок є робочим об'ємом у вигляді розширеної труби або циліндра, в якому безпосередньо здійснюється перемішування змішаних компонентів. Робочий обсяг за формою та обсягом має різні конструктивні рішення та залежить від способу перемішування. У всіх випадках подача сухої суміші проводиться за допомогою дводюймових труб, а вода замішування - по врізаному в неї дюймовому патрубку.

Як гасники швидкості струменя готової суміші на виході з форсунок встановлені розтруби. В/Г відношення регулюється кранами, встановленими на дюймових патрубках.

Для вибору найбільш раціональної конструкції нами було запропоновано три варіанти форсунок, що відрізняються обсягом робочого органу (змішувача) та принципом перемішування суміші.

За першим варіантом (рис. 3.5, 3.6) завдяки дотичному розташуванню впускного патрубка, замішена суміш рухається в робочому обсязі по спіралі, швидко обертаючись. При цьому виникають відцентрові сили, під дією яких частинки відкидаються до стінок корпусу, а потім, відскакуючи та перетинаючи на своєму шляху, перемішуються. Перемішана суміш викидається у вихідний отвір, розташований у верхній частині форсунки.

Перемінювання компонентів у форсунці за другим варіантом (рис. 3.7, 3.8) здійснюється за допомогою лопатевого колеса. Замішана суміш надходить у сегмент лопатевого колеса і обертається як тверде тіло з кутовлю швидкістю, утворюючи вихровий рух. Рух частинок суміші представляється у вигляді суми лінійного переміщення, обертання та зсувної деформації. Вибір числа лопаток робився так, щоб забезпечувався максимальний ККД колеса. При малій кількості лопаток з'являються зони відриву потоку суміші в лопатевих каналах, надмірна ж їх кількість викликає збільшення поверхневого тертя. Вивчений досвід показує, що оптимальним є

таке число, при якому середня відстань між лопатками дорівнює половині їхньої довжини. У пропонуваній форсунці використовується шестилопатеве колесо із загнутими назад лопатями і кутом атаки в 20° . Такий кут забезпечує ненаголошений вхід суміші в робочий простір форсунки. Співвідношення діаметрів характеризується як $D_1 / D_2 = 0,7$, вхідний діаметр (D_2) дорівнює 70 мм, вихідний (D_1) – 50 мм. Обертання лопатевого колеса здійснюється за рахунок кінетичної енергії руху сухої суміші та води.



Рис. 3.5 Форсунка циклонного способу перемішування

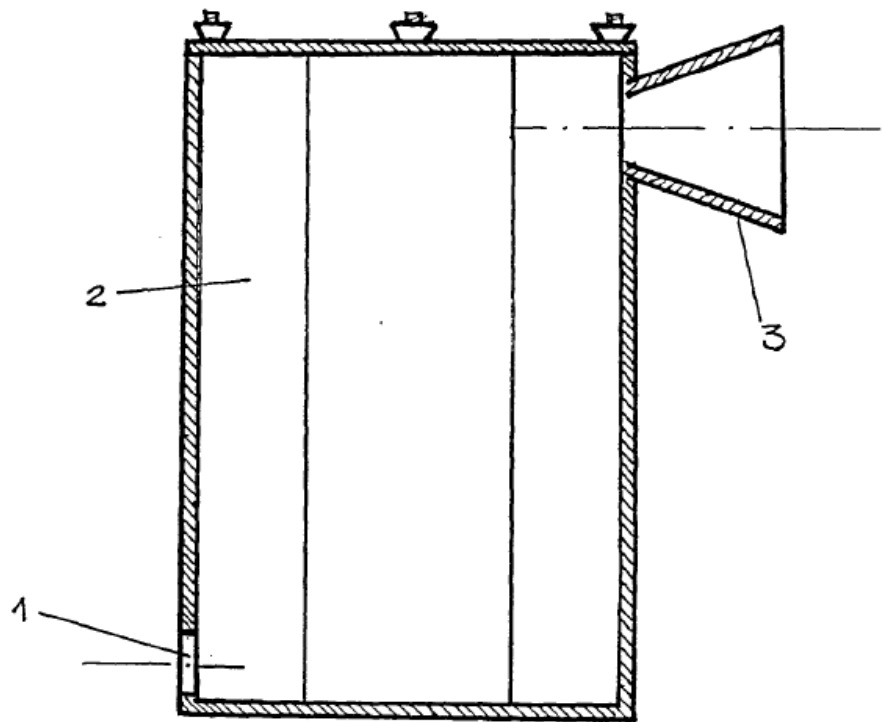


Рис. 3.6 Розріз форсунки циклонного способу перемішування.

1- Вхідний отвір; 2- робочий обсяг; 3- раструб.



Рис. 3.7 Форсунка з лопатевим колесом

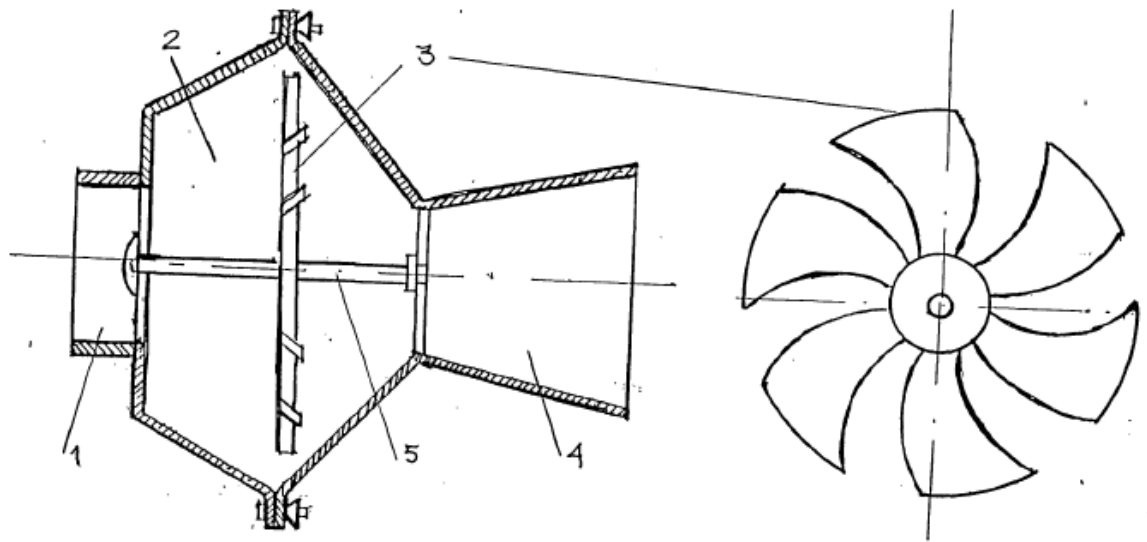


Рис.3.8 Розріз форсунки з лопатевим колесом

1- Вхідний отвір; 2- робочий обсяг; 3- лопатеве колесо; 4- раструб; 5- вал.



Рис. 3.9 Форсунка зі шнековим валом

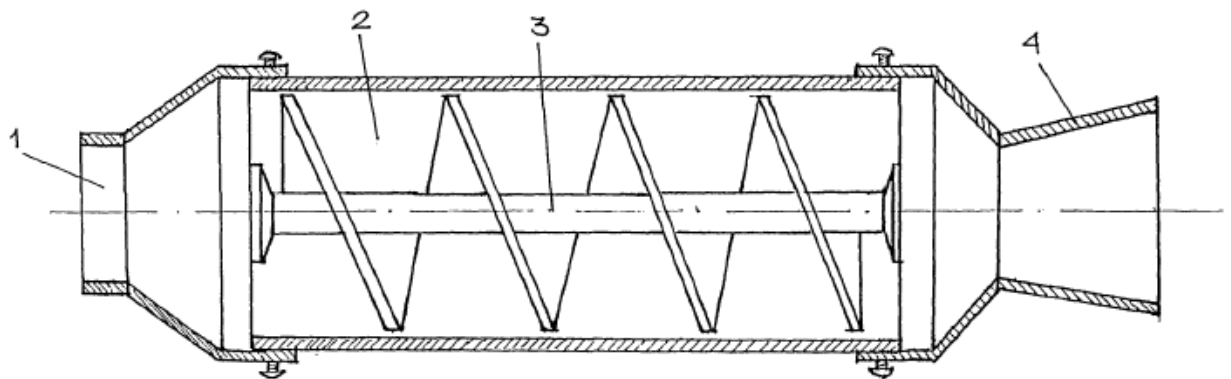


Рис. 3.10 Розріз форсунки зі шнековим валом.

1- Вхідний отвір; 2- робочий обсяг; 3- шнек; 4- вал.

У пропонованій конструкції форсунок за 3-м варіантом (рис.3.9, 3.10) використовуються рекомендації О.А.Гершберга (2), який вважає за доцільне для перемішування таких сумішей застосовувати шнекові одновальні змішувачі. У таких змішувачах перемішування здійснюється також за рахунок кінетичної енергії, що виникає при русі суміші, що транспортується.

Такий спосіб перемішування викликає появу зсувної деформації, що призводить до руйнування захисного шару на частинках алюмінієвої пудри, сприяючи підвищенню її активності. Розглянутий варіант конструкції форсунки не має «мертвих зон» при перемішуванні компонентів у її робочому обсязі. Має значення і силове поле, що виникає при обертанні шнека, що також сприяє підвищенню однорідності комірчастої суміші.

Для вибору найбільш раціонального конструктивного рішення та режиму роботи в полігонних умовах були проведені технологічні випробування різних видів форсунок.

Випробування проводили за допомогою пересувного агрегату (прототип установка СБ-67Б), що складається з двох накопичувальних ємностей для сухої суміші, бака для води замішування суспензії та компресора СО-7Б.

В якості випробуваної була використана композиція із суміші портландцементу, золи-винесення та вапна-кипілки, попередньо віддозована і перемішана у кульовому млині. Розрахунковий склад забезпечував міцність до 4,0 МПа та середню щільність близько 500кг/м³.

Технологічні випробування проводилися в наступній послідовності: після заповнення накопичувальних ємностей і бака для води замішування, яка попередньо була перемішана з алюмінієвою суспензією, під тиском за допомогою компресора в трубопровід подавалась суха суміш і одночасно за спеціальним патрубком вода замішування.

Початковий період роботи не залежно від конструкції форсунки характеризувався вихлопами повітря та викидами згустків суміші. Цей період зазвичай був більш тривалим при випробуванні форсунки з циклонним

способом перемішування (рис. 3.5, 3.6), який продовжувався в межах від 3 до 4 хвилин. Вибір тиску повітря, що подається у більший або менший бік проводився візуально. Виходячи з форсунки суміш при недостатньому тиску характеризувалася яскраво вираженою неоднорідністю, а при надмірному. вона розбризкувалася.

Спостереження за роботою різних форсунок показує, що зовнішній вид і поведінка готової суміші з форсунки у всіх випадках приблизно однакова: спочатку вихлоп повітря, а потім викид згустку суміші з повітрям. До кінця першого періоду роботи, до початку стабілізації режиму, кількість таких явищ поступово зменшувалася.

Відмінність у роботі різних форсунок за спостереженнями полягають у тому, що тривалість таких явищ різна: більше у форсунках з циклонним типом перемішування, менше – при шнековому способі.

У період роботи агрегату в режимі, що встановився, струмінь тече спокійно, з рідкісними викидами повітря і явними згустками погано перемішаної суміші. Найчастіше це спостерігається у форсунки з циклонним способом перемішування, рідше - у форсунки з лопатевим колесом (рис. 3.7, 3.8) та ще рідше - із шнековим принципом перемішування (рис. 3.9, 3.10).

Загальні висновки

1. Розроблено технологічний комплекс (мобільна установка) з набором необхідного обладнання, що забезпечує тридобовий автономний режим роботи з бетонування огорожувальних конструкцій з активованого газобетону.

2. Обґрунтовано доцільність транспортування сухої суміші по трубопроводу від активатора до встановленої на виході форсунки, в якій відбувається перемішування суміші з водою та подачі її в опалубку.

3. Технологічні випробування підтвердили можливість використання форсунок з різним принципом перемішування для приготування пористої бетонної суміші заданої рухливості, а газобетону - з необхідними значеннями за міцністю та середньою щільністю при допустимій однорідності вихідних параметрів.

4. Комплектація технологічного обладнання для приготування активованого газобетону дозволяє забезпечити контроль вихідного складу за масою, а шляхом регулювання тиску води при подачі її в форсунку – рухливість бетонної суміші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. — М.: Стройиздат, 1982. — 448 с. ¶
- 2) Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач. — М.: Высш. шк., 1974. — 200 с. ¶
- 3) Бич Г.М. Длительная прочность грунтов и методы ее определения. — Одесса, 1998. — С. 56. ¶
- 4) Бич Г.М. Экспериментальное определение предела длительной прочности грунтов методом ступенчато-релаксирующего нагружения // Инженерная геология. — 1989. — №6. — с. 72—75. ¶
- 5) Борт О.В. Нелінійна модель деформування ґрунтових основ у інкрементальній постановці при плоскому напруженому стані // Будівельні конструкції: Міжвід. наук. техн. зб. — Вип. 58. — К.: НДІБК, 2003. — С. 102-108. ¶
- 6) Борт О. В. Математичне моделювання процесу одноплощинного зрушення при визначенні характеристик міцності ґрунту у лабораторних умовах // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка. — Полтава: ПолтНТУ, 2002. — Вип. 10. — С. 26-31. ¶
- 7) Брайт П.И. Геодезические методы измерений деформаций оснований и сооружений. — М.: “Недра”, 1965. — 298 с. ¶
- 8) Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. — М.: Физматгиз, 1962. — 564 с. ¶
- 9) Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі: Наук. монографія. — Полтава: 2004. — 238 с. ¶
- 10) Власов А.Н., Мнушкин М.Г. Моделирование задач геомеханики на основе объектно-ориентированного подхода // Современные методы

инженерных изысканий в строительстве: Сб. тр. МГСУ. — М., 2001. — С. 152-166.¶

- 11)→Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. — М.: Высшая школа, 1978. — 311с.¶
- 12)→Вялов С.С., Бугров А.К., Цеева А.Н. Напряженно-деформированное состояние неоднородных оснований с наклонными слабыми слоями// Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1989. — №2. — С. 18-21.¶
- 13)→Гетун Г.В. Архітектура будівель та споруд. Книга 1. Основи проектування. — К.: Кондор, 2012. — 380-с.¶
- 14)→Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977. — 640-с¶
- 15)→Голли А.В., Белов Д.В. Мониторинг напряженно-деформированного состояния грунтов в основании сооружения// Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1999. — №5 — С. 15-18.¶
- 16)→ ДБН° В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2000.¶
- 17)→ ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.¶
- 18)→ДСТУБ°А.2.4-43:2009 (ГОСТ°21.502-2007, MOD). Система проектної документації для будівництва. Правила виконання проектної та робочої документації металевих конструкцій. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.¶
- 19)→ ДСТУ°Б°В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. К.: Мінбуд України, 2006.¶
- 20)→Зоценко М.Л. Математичне моделювання геотехнічних процесів на основі рішень пружно-пластичної задачі нелінійної механіки ґрунтів//

- 36) наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)/ Полт. нац. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка. — Полтава: ПолтНТУ, 2003. — Вип. 12 — С. 96-104.¶
- 21) Інструкція з хорони праці при монтажу сталевих та залізобетонних конструкцій [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://trudova-ohrana.ru/primery-dokumentov/prikladi-nstrukcj-z-ohoroni-prac-ukranksuju/4061-nstrukcja-z-ohoroni-prac-pd-chas-vikonannja-robt-z-montazhu-metalevih--zalizobetonnih-konstrukcj.html>¶
- 22) Кваліфікаційна магістерська робота. Методичні вказівки для студентів спеціальності 8.06010101 "Промислове та цивільне будівництво" усіх форм навчання. /- Пащинський В.А., Настоящий В.А. — Кіровоград: КНТУ, 2012. — 35 с.¶
- 23) Клепиков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. — К.: НИИСК, 1996. — 204 с.¶
- 24) Клованич С.Ф. Программа "Concord" для решения геотехнических задач методом конечных элементов // Вісник Одеського національного морського університету. — Вип. 10. — Одеса: ОНМУ, 2003. — С. 39-46.¶
- 25) Конструкції цивільних будівель. Під загальною ред. М.С. Туполева. М.: «Архітектура-С», 2006.¶
- 26) Пащинський В. А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України. — К., 1999. — 185 с.¶
- 27) Лихтарников Я.М., Лалыженский Д.В., Клыков В.М. Расчет стальных конструкций. — К.: Будівельник, 1984. — 366 с.¶
- 28) → Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. — М.: Стройиздат, 1979. — 319 с.¶
- 29) → Малышев М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений. — М.: Стройиздат, 1994. — 228 с.¶
- 30) → Малышев М.В. Прогноз осадок фундаментов неглубокого заложения с использованием обоих критериев предельных состояний // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1996. — №1. — С. 2-4.¶

- 31) → Маслов Н.Н., Казарновский В.Д. Определение сопротивляемости грунтов сдвигу методом плотности-влажности // Автомобильные дороги. – 1962. – Вып. 12. – С. 19-21. ¶
- 32) → Монтажні вказівки по електропроводці [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://trudova-ohrana.ru/tekhnika-bezopasnosti/elektrobezopasnost/850--montazhnye-ukazaniya-po-jelektroprovodke.html> ¶
- 33) → Муханов К.К. Металлические конструкции. Учебник для вузов. Изд. 3-е. – М.: Стройиздат, 1978, 572 с. ¶
- 34) → Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И.° Лантух, Ляшенко, В.А.° Пашинский, А.В.° Перельмутер, С.Ф.° Пичугин. Под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: ИАСВ, 2006. – 482 с. ¶
- 35) → Основи теорії надійності будівель і споруд. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності "Промислове та цивільне будівництво" усіх форм навчання. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – 37 с. ¶
- 36) → Охрана праці . [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://um.co.ua/8/8-2/8-218071.html> ¶
- 37) → Савченко І.І. Архітектура будівель і споруд // Конспект лекцій. – Київ: КНУБА, 2011. ¶
- 38) → Прагер В. Введение в механику сплошных сред. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 311 с. ¶
- 39) → Сахновский М.М. Справочник конструктора строительных стальных конструкций. Днепропетровск: Промінь, 1975. – 237 с. ¶
- 40) → СНиП-12-04-2002. Безпека праці в будівництві. ¶
- 41) → Харченко І.В., Нісфоян С.С., Глух В.Н. Економіка підприємства. Методичні вказівки до виконання курсових робіт на тему «Розрахунок економічної ефективності нової техніки» та виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 8.090244-

Додатки