

І. Л. ЗНАЧКО-ЯВОРСЬКИЙ  
(Ленінград)

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАРОДАВНІХ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ТА В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН НА ТЕРИТОРІЇ СРСР

Писемні історичні джерела дуже мало відбивають ранній період розвитку різних галузей науки, техніки і матеріальної культури. Вони мають численні неясності і протиріччя, викривлення і помилки. Ці джерела вимагають серйозних корективів і доповнень експериментальними дослідженнями речових історичних джерел, співробітництва археолога-історика і техника-технолога та експериментатора.

Експериментальне вивчення археологічних знахідок, архітектурних пам'яток, матеріалів, продукції і відходів стародавніх виробництв і т. д. є важливим засобом історико-технологічного і археологічного дослідження.

Ось чому, наприклад, «в тому розділі радянської історичної науки, який вивчає середньовічну Русь», проходить в даний час переміщення центра ваги із області писемних джерел в область джерел археологічних»<sup>1</sup>.

Благотворна дія прикладення експериментального методу до історичного дослідження виявлялась у кожному випадку, коли робились спроби його здійснення. Так, наприклад, експериментальним шляхом було встановлено застосування в Стародавньому Єгипті до періоду Птолемеїв тільки гіпсового в'язучого і відсунуто на 2,5 тис. років ближче до наших днів використання вапняного в'язучого (А. Лукас), виробництво скла (і вогнетривких матеріалів) і поташу на Русі віднесено з XVIII і XV ст. до XI ст. (М. А. Безбородов); з'ясовано повну відповідність гранулометричного складу заповнювачів римського бетону I ст. н. е. водовода Ейфель—Кельн в ФРН і моста Траяна на Дунаї в Румунії нормативам заповнювачів, які рекомендуються для сучасного бетону (Р. Грюн, С. Солаколу)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Б. А. Рыбаков, Археология и летопись, Тезисы докладов на сессии Отделения исторических наук, посвященной итогам археологических и этнографических исследований 1957 г., М., 1958, стор. 18—23.

<sup>2</sup> А. Лукас, Ancient Egyptian Materials and Industries, 3 ed., London, 1948; А. Лукас, Материалы и ремесленные производства Древнего Египта, Вид. іноземн. літ., М., 1958; М. А. Безбородов, Стеклоделие в древней Руси, Мінськ, 1956; R. Grün, Zusammensetzung und Beständigkeit von 1850 Jahre altem Beton, Angewandte Chemie, 1935, № 7, стор. 124—127; S. C. Solacolu, Technologie des matériaux, Considérations sur la technique du ciment et du béton chez les Romains. Etude du béton du pont de Trajan sur le Danube. Extrait du Bulletin de Mathématiques et de Physique, Bucarest, 1936, № 1, стор. 1—17.

Нагадаємо, що в'язучі речовини, розчинені в порошковому стані водою, утворюють тісто, яке поступово твердіє, досягаючи кам'янистої маси. Залежно від твердіння тільки на повітрі або на повітрі і під водою відрізняють повітряні і гідравлічні (водостійкі) в'язучі. До перших відноситься глина, гіпс, повітряне вапно, до других — вапняно-луццоланова суміш, гідравлічне вапно, романцемент і портландцемент (перелічені основні представники в'язучі). Пісне повітряне вапно, що має в собі деяку кількість природних глинистих домішок, за ступенем гідравлічності займає проміжне

Велике значення мають експериментальні роботи Б. О. Колчіна з чорної металургії і металообробки Древньої Русі та П. М. Лук'янова по древніх фарбах. Значний інтерес становлять дослідження розчинів Києва XI ст., проведені Б. С. Лисиним і Ю. Є. Корніловичом та деяких древньоруських розчинів XI—XVII ст., проведені В. Н. Юнгом. Поряд з дослідженнями, які з'ясовують розчин, рецептуру матеріалів минулого і уявлення стародавніх техніків про придатність матеріалів для застосування в різних умовах, Ю. С. Мусабековим були проведені експерименти для перевірки окремих висновків експериментального або теоретичного характеру<sup>3</sup>.

Однак методи експериментального дослідження у вивченні історії науки, техніки і матеріальної культури, як правило, до цього часу майже не застосовуються. Використання їх в окремих випадках має спорадичний характер, а їх результати, що публікуються в спеціальній хіміко-технологічній літературі, не стають загальним надбанням. Впровадження в практику методів точного дослідження і зіставлення одержаних результатів часто ускладнюється відсутністю єдиної методики.

Подібне становище характерне, зокрема, для історії виробництва і застосування цементу та його попередників, тобто глини, гіпсових і вапняних в'язучих речовин.

Слово «цемент» протягом нової ери мало, щонайменше, шість різних значень. Цементом називали дроблений камінь, гідравлічні (які надають водостійкості) і прискорюючі твердіння домішки до вапна, повітряні і гідравлічні вапняні розчини<sup>4</sup>, в'язучі (вапняно-пуццоланові) частини гідравлічних розчинів, різні в'язучі речовини, починаючи від замазки і кінчаючи гідравлічним вапном, і, нарешті, власне цементи і деякі в'язучі речовини сучасності.

Деякі з цих значень існували протягом багатьох віків, і кожне з них охоплювало велику кількість різних за складом матеріалів. Послідовна еволюція цього слова йшла від первісного значення «роз'єднання» (*caedo, caedimentum, cementum* — розбивати, розбитий камінь) до «з'єднання», зв'язування» (*sement* — зв'язувати, в'язуче). Через це необгрунтоване дослідником експериментально або лінгвістично сучасне тлумачення слова семент, цемент і т. д. при використанні письмових джерел минулого не раз веде до недопустимих, дезорієтуючих науку помилок у висновках істориків науки і техніки.

Один з таких висновків — про виробництво і застосування в петрозські часи поряд з вапном також і цементу, як більш досконалої в'язучої речовини — міцно ввійшов в нашу історичну і хіміко-технологічну літе-

---

становище між жирним (чистим) повітряним вапном і гідравлічним вапном, що випадається з глиняних вапняків чи мергелів.

В'язуче тісто, змішане з піском, утворює будівельний розчин, а суміш розчину з гравієм або щебнем—бетон. Пісок, гравій, щебень являють собою так звані інертні заповнювачі розчину і бетону. Пуццоланові чи гідравлічні доповнення надають повітряному в'язучому здатність твердіння під водою, вони активні заповнювачі. До них відносяться природні доповнення осадного і вулканічного походження і штучні добавки — випалена глина, відходи гончарного виробництва, уламки цегли, золи і шлаки. Є також активні добавки, які не надають розчину гідравлічних властивостей, але інтенсифікують їх твердіння. Такими є, наприклад, карбонатні домішки або заповнювачі.

<sup>3</sup> Б. А. Колчин, Черная металлургия и металлообработка в древней Руси, МИА, № 32, М., 1953; П. М. Лук'янов, история химических промыслов и химической промышленности России, т. IV, История производства красок, М., 1955; Б. С. Лисин, Ю. Е. Корнілович, Исследования древних киевских строительных растворов. Сборник научных работ по химии и технологии силикатов, Промстройиздат, М., 1956, стор. 89—94; В. Н. Юнг, Основы технологии вяжущих веществ, Промстройиздат, М., 1951, стор. 12—15; Ю. С. Мусабеков, Исторический метод и химический эксперимент в историко-научном исследовании, Збірник, VIII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Секция истории химии и химической технологии, Рефераты докладов и сообщений, № 17, М., 1958, стор. 31.

<sup>4</sup> Також повітряні гіпсові і глиняні розчини.

ратуру 1951—1957 рр. Однак проведені нами експериментальні дослідження будівельних розчинів із споруд петровського і післяпетровського Петербурга і дослідження лінгвістичного характеру, а також додаткові писемні джерела XVIII ст. дозволили встановити, що петровський «цемент» — це роздрібнені, інколи випалені домішки, які надавали повітряному вапну водостійкість і прискорювали твердіння та наростання міцності повітряному і гідралічному вапну (цем'янка, глініт, карбонатні породи і т. д.). Ці домішки змішували з вапном — тодішнім в'яжучим — під час виготовлення будівельних розчинів.

Технолог-цементник і будівельник, які покликані для здійснення грандіозних завдань сучасного будівництва, як правило, не знайомі з досвідом історичної технології виробництва і застосування в'яжучих або цементуючих речовин, розчинів і бетонів. Далекі від нього і вчені, які ведуть дослідження в галузі цементу і бетону. Ця технологія виникла слідом за виникненням потреби людини в приготуванні їжі і влаштуванні житла. Тисячоліттями вона вдосконалювалась від простішого безвипалювального в'яжучого епохи неоліту—глини до основного в'яжучого сучасності—портландцементу і залишала нам численні приклади великих досягнень минулого.

Археологи здобувають розчини і бетони із споруд різного призначення багатьох часів і народів. Вони упевнено встановлюють вік цих споруд. Проте не маючи хіміко-технологічної підготовки, вони самі не можуть до кінця дослідити ці найважливіші історичні речові джерела.

Для з'ясування застосування в древній споруді вихідних в'яжучих археологи і історики архітектури звичайно користуються методами візуальної оцінки і спрощеного (польового) випробування затверділого розчину. Перший метод навіть не завжди дає можливість відрізнити гіпсове і вапняне в'яжуче і часто приводить до неправильного визначення затверділого вапняного тіста як «гіпсовидної маси», другий — дає можливість констатувати вапняне в'яжуче; але без встановлення його різновидності, що саме і є основним критерієм розвитку техніки в'яжучих. Для цього необхідно експериментальне (лабораторне) дослідження розчинів.

В працях з археології, історії архітектури і будівництва найрізноманітніші в'яжучі (а інколи і розчини) різних часів узагальнюються рядовим поняттям «цемент», «зв'язка», інколи з додатковими визначеннями «білий», «сірий», «червоний», «з цем'янкою», «шамотом» і т. п. Рідше вживаються поняття «гіпс», «вапно» без їх розшифрування (повітряне або гідралічне, жирне чи пісне, ступінь магnezіальності). В той же час не викликає сумніву і важливість розкриття природи цього «цементу» для археолога та історика архітектури і будівництва.

Всебічні дослідження будівельних розчинів і в'яжучих речовин із споруд різного призначення минулого мають подвійне значення. Насамперед, вони з'ясовують склад і властивості, способи виробництва і застосування цих матеріалів, уточнюють час виникнення та етапи розвитку їх виробництва і застосування у взаємозв'язку з соціально-економічним розвитком, встановлюють спадковість технологічних засобів і будівельних традицій. Вони відкривають і перевіряють уяви стародавніх будівельників про технічні засоби і специфічні властивості в'яжучих і розчинів для різних умов і галузей застосування. Вони також полегшують реставрацію і збереження пам'яток архітектури. Дослідження речових джерел має велике значення також для розшифрування і коректування технічної термінології в писемних джерелах.

В той же час такі дослідження сприяють уточненню уяв про процеси твердіння і корозії в'яжучих, що має відношення до важливих для сучасного будівництва проблем довговічності бетонних і залізобетонних споруд та економії цементу. Вони є передумовою для постановки від-

повідних спеціальних досліджень. Експериментальне уточнення теорії твердіння і корозії сучасних в'язучих, які досі не дістали вичерпної розробки, в значній мірі базується саме на вивченні найпростіших процесів у мономінеральних в'язучих.

Нарешті, в ряді випадків вивчення стародавніх розчинів дасть можливість безпосередньо використати надійно перевірений часом досвід минулого в сучасній будівельній практиці. В цьому відношенні важливе значення, наприклад, мають шарові субструкції стінок монументальних споруд на слабих ґрунтах, еластичні розчини для антисейсмічного будівництва, захисні обмазки цистерн виноробних майстерень і рибозасолюючих установок, неперевершені за довговічністю та водостійкістю розчини і бетони морських і річкових гідротехнічних споруд та обмазки стиків гончарних водопровідних труб, чудові щодо міцності розчини і бетони, довготривалі і повітростійкі штукатурки наземних споруд. Вік цих пам'яток повчального досвіду минулого визначається від кількох століть до трьох тисячоліть.

Дослідження стародавніх розчинів зробило б зайвим запізніле повторне відкриття в наші дні таких, наприклад, прогресивних засобів, як застосування негашеного вапна у виробництві будівельних матеріалів та будівництві і використанні вапняков'язучих та розчинів, добре відомих з глибокої давнини і незаслужено забутих в наш час.

Таким чином, вивчення історії і властивостей древніх в'язучих, розчинів і бетонів, має безпосереднє відношення до важливіших для сучасного будівництва проблем довговічності бетонних і залізобетонних споруд та економії цементу. Однак сучасний стан наших знань в цьому відношенні ні в якій мірі не відповідає ні вимогам, ні можливостям, і завдає збиток сучасній науці і техніці.

Обов'язковими умовами для ефективності експериментальних досліджень в археології та історії з будь-якої галузі науки і техніки є поєднання знань історика і спеціаліста-експериментатора в своїй галузі, єдність методики, яка базується на застосуванні найбільш сучасних засобів дослідження; комплексне вивчення предмета на основі дослідження писемних і речових джерел з врахуванням історії розвитку термінології.

В зв'язку з вивченням історії хімії і технології цементу та його попередників, нами разом з кандидатами наук Я. Г. Беликом і В. Т. Іллімінською проводиться комплексне хімічне, петрографо-мінералогічне і фізико-механічне, інколи термічне дослідження розчинів і в'язучих минулого з різних районів нашої країни<sup>5</sup>.

Першим об'єктом систематичного вивчення були розчини древніх споруд Північного Причорномор'я — багатовікової (з VI ст. до н. е.) арени розвитку і зміни різноманітних будівельних традицій багатьох народів. Місцева творча переробка деяких з цих традицій в значній мірі була основою для будівельної культури Древньої Русі та інших слов'янських країн.

На місцях за участю археологів і архітекторів відібрано 120 проб і

---

<sup>5</sup> И. Л. Значко-Яворский, Я. Г. Белик, В. Т. Иллиминская, Экспериментальное исследование древних строительных растворов и вяжущих веществ, СА, 1959, № 4, стор. 140—152; И. Л. Значко-Яворский, Открытие искусственного гидравлического цемента в России и развитие производства гидравлических вяжущих веществ во второй половине XVIII — первой половине XIX вв., сб. «Материалы по истории строительной техники», вып. 1, Госстройиздат, М., 1961, стор. 42—99; I. L. Znaczkoworski, Badania doświadczalne nad starożytnymi zaprawami budowlanymi i materia mi wiążącymi. Kwartalnik Historii Nauki i Techniki PAN, Варшава, 1958, № 3, 377—407; В і н же, Z Historii odrcicia sztucznego cementu hydraulicznego, Там же, 1960, № 2, стор. 205—223; J. L. S n a t s c h k o - J a v o r s k i, Zur Geschichten der Erfindung des künstlichen hydraulischen Zementes, Silikattechnik, Берлин, 1961, № 4, стор. 176—180.

з'ясовано умови застосування грецьких розчинів, римських, скіфських, генуезьких, візантійських, вірменських, турецьких, татарських, слов'янських та інших споруд культового, громадського, оборонного і виробничого призначення періоду від VI ст. до н. е. до XIX ст. н. е. Було відібрано також понад 100 проб розчинів Північно-Східного Причорномор'я Кавказу і Західної Грузії III—XIII ст., міст середньовічної Русі — Росії XI—XVIII ст., Прибалтики XIII—XIX ст., Петербурга XVIII—XIX ст. Знайдений перший російський гідралічний цемент (сучасний англійському портландцементу Аспдіна), виготовлений з штучної сировинної суміші в 1825 р. в Москві Є. Г. Челієвим.

Основні результати дослідження цих розчинів такі. Встановлено відокремлене використання з V—IV ст. до н. е. жирного і пісного повітряного та гідралічного вапна, з гідралічною домішкою — цем'яною (з III ст. до н. е.) або без неї, з очевидним врахуванням умов застосування розчинів. Виявлено застосування в той же час карбонатних заповнювачів для приготування вапняно-карбонатних і змішаних розчинів (бетону). Досі цей прогресивний і за сучасною уявою метод відносили до XII ст., а свідоме застосування гідралічного вапна в усьому світі зв'язували з XVIII ст. н. е. В ряді випадків функціональний підхід до вибору в'язучих виявлений навіть в різних елементах однієї і тієї ж споруди залежно від навантаження, агресивності оточення та інших умов застосування розчинів. Це відноситься і до застосування гідралічної домішки — цем'янки.

Майже в усіх розчинах, за невеликою кількістю окремих винятків, відсутній гідрат окису кальцію (вільне вапно), який повністю карбонізований вуглекислим газом повітря в карбонат кальцію і пов'язаний з кремнеземистими компонентами розчину в силікати. Навпаки, майже всі розчини вміщують залишкові, ще не карбонізовані гідратні силікати і алюмінати кальцію, які є (як і карбонат кальцію) носіями міцності розчину. Це свідчить про завершення первісних фізико-хімічних процесів твердіння (включаючи карбонізацію і зв'язування вапна) і про процеси взаємодії первісних новоутворень з вуглекислим газом повітря, які продовжуються й досі.

Карбонізація гідросилікату кальцію, що відбувається у цей час в результаті витіснення з нього кремневої кислоти вугільною кислотою, призводить до розкладу цього структурно-тривкого компоненту твердіючого розчину з виникненням карбонату кальцію і виділенням гідрату кремнезему. Цей процес розцінюється, як правило, як руйнівний. Однак виявляється, є підстави вважати, що гель кремнезему, який виділяється в певних умовах під час значного переважання вапна над активною пуццоланічною домішкою, виконує (як і карбонат кальцію, що виникає) корисну для тривкості розчину функцію.

Довговічність і повітрястійкість найбільш древніх досліджених нами розчинів (V ст. до н. е. — початок н. е.) також узгоджуються з підвищеною кількістю вапна, яка перевищує у в'язучій частині розчину місткість активної домішки, що підтверджує висновок Б. С. Лисіна і Ю. Є. Корніловича з цього питання. Сучасні повітряні розчини, які виготовляються на вапняно-пуццоланових цементах з 10—30% вапна, неповітрястійкі.

Нарешті, під час тривалого твердіння розчину проходить взаємодія в'язучого з так званими інертними заповнювачами, які також сприяють тривкості розчину подібно автоклавній обробці вапняно-піщаної маси. Ця обставина є предметом дискусії учених різних країн, яка продовжується з середини минулого століття.

Поряд з відомими процесами мінералоутворення в повільно твердіючих розчинах відбуваються і поліморфні перетворення в твердому стані, що виникають у новоутвореннях. Сюди, наприклад, відноситься перекристалізація тонкозернистого кальциту у вилекі ідіоморфні кристали

та агрегатні скупчення вуглекислого кальцію, регенерація ромбодричних зерен карбонату кальцію заповнювачів на контакті карбонатних заповнювачів з таким самим в'язучим; обезводнювання й утворення кристалічної решітки у геля кремнезему, що кристалізується. Ці перетворення подібні процесам, які відбуваються в природних умовах в осадових і особливо метаморфічних гірських породах і сприяють посиленню тривкості штучного каменю-розчину. Для розчинів характерні структури деяких гірських, переважно осадових порід.

Сплинимося на деяких часткових результатах і зіставленнях. В штукатурних розчинах чотирьох наземних громадських споруд V—III ст. до н. е. і одного н. е. грецького міста Ольвії застосоване повітряне, переважно жирне вапно. У врізаній в материк цистерні для води IV ст. до н. е. глибиною 8 м основне тіло виготовлене на пісному повітряному вапні, а обмазка, яка зтикалась з водою, — на дуже гідралічному вапні. Всі розчини мають карбонатні заповнювачі; в одному випадку вони являють всю мінеральну складову, в інших узгоджуються із звичайними природними заповнювачами. В найбільш пізньому розчині початку нашої ери є також і цем'янка (уламки і мука цегли), яка становить 67—83% усіх заповнювачів.

В термах I—III ст. римського гарнізону фортеці Харакс біля мису Ай-Тодор розчини також застосовані з врахуванням умов експлуатації елементів споруди. Водостійке гідралічне вапно з великою кількістю природної пуццоланічної домішки — кератофіра, уламків карбонатних порід і цем'янки застосоване в бетоні підлоги. Менш водостійке пісне повітряне вапно з звичайним гравелістим заповнювачем і окремими уламками кератофіра використане в розчині і штукатурці стінок терм. Керуючись візуальною оцінкою, археологи помилково вважали кератофір (червоного кольору) в розчинах і бетонах Харакса за цем'янку.

В грецьких містах Пантікапеї, Мірмекії, Тірітаці і позаміській садибі в районі Керчі жирне і пісне повітряне вапно виявляється в кладці і штукатурці житлових приміщень VI—II ст. до н. е.<sup>6</sup> А в спорудах виробничого призначення, які називали хімічної корозії (давильні площадки і цистерни виноробних майстерень, рибозасолочні цистерни) III ст. н. е., в обмазках захисних перекриттів гідралічне вапно переважає над пісним і особливо жирним повітряним вапном. Всі ці розчини належать до типу вапняно-карбонатно-цем'яночних (цем'янка активізує твердіння і надає хімічну стійкість і повітряному вапну), інколи тільки до вапняно-карбонатних (карбонати активізують твердіння). В підлеглий кількості це — звичайні заповнювачі. Розчини двошарових покриттів вміщують або гідралічне вапно в обох шарах, або повітряне в нижньому внутрішньому шарі і гідралічне у верхньому шарі, що контактує з рідиною.

В білій, безцем'яночній, за візуальною оцінкою археологів, обмазці однієї з боспорських виноробних майстерень III ст. до н. е. виявлено безсумнівно наявність найдрібнішої цем'янки, яка за уявою археологів, застосовувалась тут тільки з половини II ст. до н. е. Це свідчить про помилковість оцінки даної обмазки археологами і про ненадійність кольору обмазки як візуального показника для визначення дати об'єкта, що досліджується.

Цей висновок про ненадійність кольору розчину, як критерію для

<sup>6</sup> Це цікаве питання щодо приміщень VI ст. до н. е. вимагає доробки. Однак вже тепер потрібно рішуче відкинути основані на візуальній оцінці уяви археологів про те, що матеріал, який заповнює шви архаїчного будинку VI ст. до н. е. (розкопки 1956 р.), є світлим глиняним розчином. Це тонкозернистий карбонат кальцію з структурою кальциту (тобто продукту карбонізації повітряного вапняного в'язучого, а не осипка вапнякового камня кладки, що руйнувався) з невеликою кількістю черепашиних заповнювачів.

візуальної оцінки складу розчину і датування нових пам'яток, які відносяться в даному випадку до елліністичних виноробних майстерень Боспору, підтверджується на згаданих раніше розчинах архаїчного будинку Пантікапея і римської фортеці Харакс і має методичне значення для археологів та істориків архітектури.

В Херсонесі, поряд з широким застосуванням повітряного вапна в оборонних і культових спорудах античного і середньовічного періодів, в розчинах і обмазках великих рибозасолочних цистернах обсягом до 41 м<sup>3</sup> початку н. е. використано дуже гідралічне вапно. В розчинах часто застосовується і цем'янка.

Обмазка для щільності зтиків гончарних труб херсонеського водопроводу X ст. н. е. за складом і властивостями надзвичайно подібна до таких же обмазок фінікійського Кіпра, елліністичної Прієни (Мала Азія) III—II ст. до н. е., Пантікапея II—III ст. н. е. і середньовічного Судака. Всі п'ять обмазок виготовлені із маломagneзіального повітряного вапна (в трьох випадках жирного і двох — пісного) без заповнювачів. Вапно в цих обмазках цілком карбонізоване, вони дуже міцні, щільні і водонепроникні.

Розчини скіфських, генуезьких, візантійських, вірменських, турецьких, татарських і слов'янських споруд Неаполя скіфського початку н. е., Гурзуфа, Феодосії (Кафи) і Старого Криму (Ескі—Кермена) XIV ст., Керчі VIII ст., Єнікале і Бахчисарая XVI ст. в певній мірі являють собою місцеві, іноді дуже цікаві різновидності описаних раніше. У їх виборі інколи також враховані умови експлуатації.

В розчинах культових та оборонних споруд Північно-Східного Причорномор'я Кавказу і Західної Грузії виявлене дуже гідралічне вапно в Західній Грузії III—XVIII ст.<sup>7</sup>, гідралічне і повітряне вапно в Анакопії (Нікопсії, Новому Афоні) IV—IX ст. і повітряне пісне вапно на місі Піцунда (Пітіус) VI ст. Частим було застосування — цем'янки, інколи карбонатних заповнювачів.

Розчинам соборів і Золотих воріт древнього Києва XI ст. і соборів XI, XII і XVII ст. Смоленська, Володимира, Івангорода (переважно за даними аналізів Б. С. Лисіна, Ю. Є. Корніловича і В. Н. Юнга) властиве гідралічне вапно з цем'янкою, рідше — з карбонатними заповнювачами.

В розчинах храмів XIII—XVII ст. Старої Риги дуже гідралічне вапно переважає над пісним повітряним вапном і гіпсом (єдиний зустрінутий нами випадок)<sup>8</sup>. Використані карбонатні (дуже часто) і звичайні заповнювачі, відсутня цем'янка<sup>9</sup>. Розчини XIII ст. двох найстаріших храмів Юриса і Петра однакові; розчини ж різного часу, навіть в одній і тій же споруді, значно різняться.

Останнє особливо чітко виражене на розчинах оборонних і культових споруд древнього Ревеля (Талліна). Гідралічне вапно розчинів XIII ст. змінюється тут пісним повітряним вапном в розчинах XIV, XV, XVIII і XIX ст. Застосовуються також вапняно-гіпсові розчини.

Для розчинів монументальних церковних і громадських споруд Петербурга XVIII і початку XIX ст. характерне застосування гідралічного (переважно дуже гідралічного) вапна з різним ступенем магнезіальності. Для розчинів петровського і післяпетровського Петербурга специфічні серед заповнювачів цем'янка і карбонатні заповнювачі. Склад цих розчинів і висока якість роботи визначають найвищу (серед всіх розчинів, що вивчалися) їх міцність, яку ми встановили на Петропавлівському

<sup>7</sup> Апсар (Гонія), Родополіс (Вардзіхе), Тзібілій (Щебельда), Сарапана (Шоропані), Археополіс (Нокалакеві).

<sup>8</sup> Раніше ми неодноразово зустрічали вапняно-гіпсові розчини.

<sup>9</sup> Вона є тільки в гіпсовому розчині.

соборі 1712—1735 рр. Більш пізні розчини Великого Гостинного двору (1761—1775 рр.) і Ісакійєвського собору (1796—1820 рр.) при тому ж вапні і цем'янці не мають карбонатних заповнювачів, гіршої якості і слабші.

Висока в цілому якість київських, ризьких і петербурзьких розчинів XIII—XIX ст. на місцевому гідралічному вапні показує недоцільність ігнорування в нашій будівельній практиці цього вапняного в'язучого і заміну його часто привізним портландцементом.

З'ясована подібність практичних нормативів вихідного речового складу розчинів і бетонів (співвідношення вапна і заповнювачів) і зернового складу їх заповнювачів у спорудах античної і наступних епох на території нашої та інших країн. Зіставлення складу, міцності і збереженості досліджених розчинів із споруд VI ст. до н. е.—XIX ст. н. е. дає виразну уяву про вплив виду і кількості вихідного вапна та активних заповнювачів (домішок) на важливіші властивості розчинів. Сюди відносяться їх повітростійкість, довговічність, міцність.

Результуюча властивість досліджених розчинів — міцність на стиснення — залежно від цих впливаючих факторів — змінюється в широких межах — від 15 до 200  $\text{кг/см}^2$  (середнє для двох-трьох зразків). Наприклад, міцність розчину Ольвії становить 16—33  $\text{кг/см}^2$ , Боспора 17—42, Древнього Києва 75—132 (за Б. С. Лисіним і Ю. Є. Корніловичем), Древньої Русі 8—25 (за В. Н. Юнгом), Риги 14—50, Петропавлівського собору 85—200, Гостинного двору 15—115 і Ісакійєвського собору 46—90  $\text{кг/см}^2$ .

Для оцінки даних показників нагадаємо сучасні практичні норми (за Б. Г. Скрамтаєвим) для кладкових розчинів складу 1 : 2—1 : 5 в 28-добовому віці стандартних зразків. При повітряному вапні вони становлять 4  $\text{кг/см}^2$ , при дуже гідралічному вапні і романцементі—15  $\text{кг/см}^2$  і при портландцементі — 30—80, інколи 100  $\text{кг/см}^2$ .

Як природні заповнювачі, здебільшого застосовуються різноманітні місцеві ліщано-гравелісті матеріали, підготовлені природою або свідомо роздрібнені. За складом розчини — від дуже жирних (1 : 0,4—1 : 2) до пісних (1 : 5—1 : 7), а за обсяжною вагою — від важких (1,8—2,2  $\text{г/см}^3$ ) до легких (менше 1,5  $\text{г/см}^3$ ). Пористість їх — від 10 до 45%, а водозасвоєння — від 10 до 32%.

Дослідження першого російського гідралічного цементу з штучної сировинної суміші московського будівельника Є. Г. Челієва (1825 р.) дає можливість характеризувати його як маломagneзіальний цемент, за складом близький сучасному романцементу. Продукт відзначається відсутністю вільного вапна і високим вмістом гіпсу. Зіставлення його з гідралічними в'язучими речовинами попередників, сучасників Челієва і нашого часу відрізняє продукт Челієва як суттєву ланку в ланцюжку поліпшення гідралічного в'язучого, що привело в дальшому до справжнього портландцементу. Відкриття Челієва оригінальне і більш досконале, ніж одночасне вирішення того ж завдання Джозефом Аспдіном, муляром з Лідса, яке дістало всесвітнє визнання як винахід портландцементу, точніше штучного гідралічного цементу, попередника сучасного портландцементу.

Експериментальні дослідження будівельних розчинів і в'язучих речовин споруд минулого мають неоцінене значення як для історії, сучасної теорії, практики виробництва і застосування цементу, історії архітектури і будівництва, так і для археології та історичної науки. Вони повинні проводитись планово і регулярно при постійному співробітництві технологів, архітекторів і археологів з повним врахуванням умов служби розчинів в спорудах.

Результати експериментального вивчення старих розчинів є передумовою для постановки спеціальних теоретичних досліджень з метою



досягнення довговічності сучасних штукатурок, розчинів і бетонів. Зокрема, необхідне поглиблене вивчення процесів взаємодії вуглекислого газу і гідросилікатів (гідроалюмінатів) кальцію та подальше експериментальне уточнення теорії твердіння і корозії в'язучих речовин. Такі дослідження направлені на вирішення важливих для сучасного будівництва проблем довготривалості бетонних і залізобетонних споруд та економії цементу.

Широке впровадження експериментальних методів у історичних дослідженнях повинно відіграти важливу роль у будівельній практиці сучасного.

#### РЕЗЮМЕ

Статья посвящена вопросам исторической технологии. В ней рассматриваются результаты комплексного химического, петрографо-минералогического и физико-механического изучения растворов и вяжущих веществ из разных районов нашей страны с VI в. до н. э. по XIX в. Эти данные имеют большое значение не только для археологии и истории науки, но и для теории и практики современного производства и применения цемента.

---