

УДК 666.942:678.7

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ПРОЦЕСИ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ПРОСОЧЕНОГО БЕТОНУ

ЛУЧКО Й.Й., д.т.н., професор^{1*}ГАЙДА О.М., к.т.н., ст.викладач²ПЕНЦАК А.Я., к.т.н., ст.викладач³

^{1*}–Кафедра рухомого складу і колії Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту; вул. Блажкевич, 12а, м.Львів, Україна, тел.. 0990251885, apentsak1963@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3675-0503

²–Кафедра будівельного виробництва, Національний університет «Львівська політехніка», вул..Карпінського,6, м.Львів, Україна, тел.. 0676714077, gajda@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6206-614X;

³–Кафедра будівельного виробництва, Національний університет «Львівська політехніка», вул..Карпінського,6, м.Львів, Україна, тел.. 0676714070, apentsak1963@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7491-6730;

Анотація: В статті розглядаються питання впливу режиму висушування, вакуумування та полімеризації мономерів на міцність просочених бетонних конструкцій. Можна використовувати різні способи висушування бетону: конвективне, радіаційне (зокрема інфрачервоне), контактне (переважно електричне) і мікрохвильове (високочастотне). Просочення мономерами різного призначення використовується для виконання завдань з захисту та посилення конструкцій, збільшення терміну їх служби. Показано, що кінетика зростання міцності та напружено деформований стан бетону має складний характер і залежить від багатьох факторів, серед яких основні: склад і вид цементу, водоцементне відношення, швидкість підвищення температури, ступінь вологості тощо. Описуються режими та способи просочення бетону мономерами та полімерами з врахуванням розмірів молекул ін'єкційних матеріалів, режимів просочування, пористості та класу бетону. Великий інтерес становить часткове, або поверхнєве просочування бетонних і залізобетонних конструкцій, яке виконують з метою покращення фільтраційних і корозійних характеристик матеріалу. Розглядається вплив температури на полімеризацію та міцність конструкцій, а також вплив радіаційної полімеризації мономерів в тілі бетону на міцність конструкцій. Зроблена спроба побудувати математичну модель процесу полімеризації мономера в порах бетону. Прийнято, що процес полімеризації в капілярно-пористому середовищі є процесом блокової полімеризації. Показано, що деякі проблеми впливу технологічних факторів вивчено недостатньо.

Ключові слова: полімеризація, вакуумування, контактне, мікрохвильове висушування, просочення бетону мономерами та полімерами, пори, капілярно-пористе середовище, технологічні фактори, радіаційна полімеризація мономерів

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОПИТАННОГО БЕТОНА

ЛУЧКО И.И., д.т.н., профессор^{1*}ГАЙДА О.М., к.т.н., ст.преподаватель²ПЕНЦАК А.Я., к.т.н., ст.преподаватель³

^{1*}–Кафедра подвижного состава и пути Львовского филиала Днепровского национального университета железнодорожного транспорта; ул. Блажкевич, 12а, г.Львов, Украина, тел.. 0990251885, apentsak1963@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3675-0503;

²–Кафедра строительного производства, Национальный университет «Львовская политехника», ул..Карпинского,6, г.Львов, Украина, тел.. 0676714077, gajda@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6206-614X;

³–Кафедра строительного производства, Национальный университет «Львовская политехника», ул..Карпинского,6, г.Львов, Украина, тел.. 0676714070, apentsak1963@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7491-6730;

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы влияния режима сушки, вакуумирования и полимеризации мономеров на прочность пропитанных бетонных конструкций. Можно использовать различные способы сушки бетона: конвективный, радиационный (в частности инфракрасное), контактный (преимущественно электрическое) и микроволновое (высокочастотное). Пропитки мономерами различного назначения используется для выполнения задач по защите и усилению конструкций, увеличение срока их службы. Показано, что кинетика роста прочности и напряженно-деформированное состояние бетона имеет сложный характер и зависит от многих факторов, среди которых основные: состав и вид цемента, водоцементное отношение, скорость повышения температуры, степень влажности и тому подобное. Описываются режимы и способы пропитки бетона мономерами и полимерами с учетом размеров молекул инъекционных материалов, режимов пропитки, пористости и класса бетона. Большой интерес представляет частичное или поверхностное утечки бетонных и железобетонных конструкций, которое выполняют с целью улучшения фильтрационных и коррозионных характеристик материала. Рассматривается влияние температуры на полимеризацию и прочность конструкций, а также

влияние радиационной полимеризации мономеров в теле бетона на прочность конструкций. Сделана попытка построить математическую модель процесса полимеризации мономера в порах бетона. Принято, что процесс полимеризации в капиллярно-пористой среде является процессом блоковой полимеризации. Показано, что некоторые проблемы влияния технологических факторов изучено недостаточно.

Ключевые слова: полимеризация, вакуумирования, контактное, микроволновое высушивания, пропитки бетона мономерами и полимерами, времени, капиллярно-пористую среду, технологические факторы, радиационная полимеризация мономеров

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE POLYMERIZATION PROCESSES IN IMPREGNATED CONCRETE

JOSEF LUCHKO, Doctor of Technical Sciences, Professor^{1*}
OLEKSII HAIDA, PhD, Associate Professor²,
ANDRIY PENTSAK, PhD, Associate Professor³

^{1*}-Dept. of Rolling stock and track, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lviv branch, I.Blazhkevych Str., 79052, Lviv, Ukraine, tel. +38 (099)0251885097, apentsak1963@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3675-0503

²-Dept. of Construction technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, Karpinsky str.,6, tel..+38(067)6714077, gajda@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6206-614X;

³- Dept. of Construction technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, Karpinsky str.,6, tel..+38(067)6714070, apentsak1963@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7491-6730;

Abstract: This article examines the influence of drying, vacuumizing and monomers polymerization on concrete strength in saturated concrete structures. There are different methods of drying concrete, such as: convective, radiation (including infrared), contact (preferably electric) and microwave (high-frequency). Impregnating monomers used for various purposes tasks to protect and enhance designs, longer service life. It was shown that the kinetics of strength growth and the stress deformation state of the concrete is complex and depends on many factors, including basic: the composition and type of cement, water-cement ratio, the rate of temperature increase, humidity and more. The modes and methods of concrete impregnating by monomers and polymers in view of the size of molecules injecting material and type of concrete are described. Of great interest is the partial or surface impregnation of concrete and reinforced concrete structures that serve to improve the filtration characteristics and corrosive resistance of material. The influence of temperature on polymerization and strength of structures and the impact of radiation polymerization of monomers in the body the strength of concrete structures. The attempt to build a mathematical model of the polymerization of monomer in the pores of the concrete. It is the process of polymerization in capillary-porous media is a process blokovoyiyi polymerization. It is shown that some of the problems of technological factors insufficiently studied.

Keywords: polymerization, vacuumizing, microwave drying, impregnating concrete monomers and polymers, pore capillary-porous structure, technology factors, radiation polymerization of monomers

Бетонні та залізобетонні конструкції завдяки численним перевагам застосовують у більшості будівель і споруд. Актуальною є проблема збереження та посилення залізобетонних конструкцій промислових виробництв, оскільки доволі частою є експлуатація їх у різних агресивних середовищах. Просочення мономерами різного призначення використовується для виконання завдань з захисту та посилення конструкцій, збільшення терміну їх служби. Однак не проведений критично не проаналізовано вплив технологічних факторів на просочення та полімеризацію бетонних виробів. Зокрема не висвітлено вплив сушіння, вакуумування, термо- та радіаційного способів полімеризації та їх кількісного оцінювання у вигляді аналітичних залежностей.

Вплив сушіння на полімеризацію та міцність залізобетонних конструкцій. Багато рекомендацій відомого з техніки сушіння матеріалів менш термолабільних (кераміка, деревина, текстиль, шкіра

тощо.) у праці [3]. Для цементних матеріалів, на жаль, ці рекомендації не застосовують. Найефективніше жорстке високотемпературне сушіння, оскільки волого-проникність і коефіцієнт дифузійного опору значно збільшується з підвищенням температури, і швидкість видалення вологи різко збільшується. Такий ефект був досягнутий за зміни температури сушіння бетону від 105 °C до 125 °C і 150 °C [14]. У деяких випадках вдається під час технологічних досліджень використовувати температуру сушіння від 105 до 150 °C. Тривалість сушіння є різною. Залежно від температури середовища, щільності бетону, розмірів виробів і типу сушильного обладнання коливається від 3 до 100 год. Великий вплив на тривалість процесу має температура середовища. Ефект висушування за температури 105 °C протягом 100 год. дорівнює ефекту висушування за температури 150 °C протягом 8 год. [14]. Недопустима сушка свіжовідформованого бетону. За температури 40°C у

першу добу твердіння ущільнена вібруванням бетонна суміш втрачає 50 – 60 % води затворення. Така втрата вологи перешкоджає перебігу процесів гідратації, формуванню щільної структури і негативно впливає на зростання міцності. Сушіння бетону в форвакуумі за кімнатної температури неефективне – за остаточного тиску близько 80 мм рт. ст. бетон за 96 год. втратив лише 0,7 % ваги [14].

Кінетика зростання міцності та напружено деформований стан бетону має складний характер і залежить від багатьох факторів, серед яких основні: склад і вид цементу, водоцементне відношення, швидкість підвищення температури, ступінь вологості тощо. З наведених досліджень [6] випливає, що наявні випадки спаду міцності в початковий період прогрівання. Перед вакуумуванням і просочуванням можна використовувати різні способи сушіння бетону: конвективне, радіаційне (зокрема інфрачервоне), контактне (переважно електричне) і мікрохвильове (високочастотне). Під час прогрівання температура на поверхні бетону є вища, ніж всередині, в результаті чого відбувається термодифузійний потік вологи, спрямований всередину виробу [3].

Під час радіаційного сушіння волога випаровується за рахунок випромінювання тепла від нагрітих поверхонь або джерела інфрачервоного випромінювання. Кількість тепла, яке поглинає тіло, в загальному вигляді визначають за формулою [3]:

$$g = C_n \times f_n \left[\left(\frac{T_u}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right]; \quad (1)$$

де C_n – наведений коефіцієнт випромінювання, який залежить від ступеня чорноти тіла і випромінювання, Дж/м² год град К; f_n – кутовий коефіцієнт випромінювання, який залежить від взаємного розташування тіла і випромінювача; T_u , T_m – відповідно температура випромінювача і тіла, град К.

Вплив вакуумування на полімеризацію та міцність конструкцій. Важливий технологічний процес – відкачування повітря з висушеного бетону за допомогою вакуумних насосів.

Швидкість відкачування газу S за тиску P є об'ємом газу, який видаляється з вакуумної системи за одиницю часу, виміряний за цього тиску. Враховуючи рівняння стану ідеального газу, можемо записати [13]:

$$S = \frac{Q}{P}, \quad (2)$$

де S – швидкість відкачування газу; P – тиск біля вхідного патрубку насоса; Q – потік газу, який створює насос.

У відповідності з рівняння стану однорідного газу, який перебуває в рівновазі, потік газу Q визначають за таким виразом:

$$Q = \Delta V / t, \quad (3)$$

де K – стала Больцмана; N – кількість молекул, які проходять через переріз за одиницю часу; T – абсолютна температура.

Вакуумний насос нової конструкції має граничний тиск у системі, коли швидкість відкачування знижується до нуля. Цей граничний тиск залежить від багатьох причин: якості масла, яке застосовують, витік тощо.

Для визначення тривалості відкачування, якщо припустити, що швидкість процесу постійна, пропускна здатність трубопроводу нескінченно велика, то одержимо залежність

$$\tau = 2,3 \frac{V}{S} \lg \frac{P_i}{P}, \quad (4)$$

де τ – тривалість відкачування; V – об'єм відкачуваної системи; S – швидкість відкачування; P_i – тиск на початку відкачування (найчастіше дорівнює атмосферному); P – тиск у вакуумній системі.

Для отримання розрядки, яка відповідає остаточному тиску у контейнері порядку 0,05 – 10 мм рт. ст., можна з успіхом застосовувати як об'ємні, так і струменеві вакуумні насоси.

Просочування мономерами. Просочування рідких мономерів у бетон за підвищеного і нормального атмосферного тиску в загальному вигляді описують рівняннями Дарсі, які ґрунтуються на принципі нерозривності потоку

$$V / t = P \beta g a d^3, \quad (5)$$

де V – об'єм просочувального матеріалу, P – тиск, β – постійна характеристика в'язкості просочувального матеріалу (флюїда) і проникливості виробу. Враховуючи витрати рідини Q , яка підлягає закону Пуазейля, можемо визначити витрати флюїда за формулою

$$Q = \kappa \frac{P}{\mu}, \quad (6)$$

Зокрема, для випадку сталого процесу просочення під час ламінованого режиму отримано диференціальне рівняння [7]

$$\frac{dr}{8\eta x} = \pi r a x, \quad (7)$$

де r – радіус пор, см; η – в'язкість просочувального матеріалу, Н/см² сек; P_k – капілярний тиск, г/см сек².

При цьому

$$P_k = \frac{\sigma}{r} \cos \theta, \quad (8)$$

де σ – поверхневе натягнення рідини, Н/см; θ – крайовий кут змочування.

Широко застосовують різноманітні сополімери на основі мономерів [14]. Наведені у цій праці речовини характеризуються різною в'язкістю: від 0,5 – 1,0 Па с для стиrolу і метилметакрилату, до 800 – 1000 Па с для полієфірстиrolу.

В результаті інтегрування рівняння для глибини просочування l за час t [7] можна отримати розрахункову формулу

$$l = \frac{2\eta}{\dots} t \quad (9)$$

Висоту капілярного піднімання мономера за атмосферного тиску в бетоні h можна визначити за такою формулою:

$$h = \left[\frac{r \cos \nu}{\eta} \left(\frac{\sigma \cos \nu}{r} \right) t \right] \quad (10)$$

де k – проникність бетону.

Дослідження кінетики насичення бетону метилметакрилатом [14] показали, що цей процес має експоненціальний характер. Водночас спочатку просочування відбувається найінтенсивніше, значно випереджуючи водонасичення.

Характер заповнення пор під час просочування бетону метилметакрилатом ілюструє діаграма [14]. Просочування зразків метилметакрилатом задовільно описується експонентою

$$W_t = W_{\max} \left[1 - (1 + t) \right] \quad (11)$$

Наближені результати під час просочування метилметакрилатом повністю занурених зразки з В/Ц – 0,3; 0,4; 0,5 отримали інші автори [13,14].

Кінетику проникання мономера в бетон можна дослідити, вивчаючи візуально або під мікроскопом зрізи або вищерблення зразків, просочених мономером, пофарбованим органічним барвником. Використання такої методики дало змогу отримати задовільні результати [14]. Введення у мономер поверхнево-активних речовин для прискорення просочення і збільшення його глибини не дало обнадійливих результатів [15]. Як бачимо, ці результати не можна вважати завершеними.

Просочування бетону значно більш в'язкими (до 1000 Па·с) органічними рідинами, наприклад, поліефірами, пов'язане зі значними труднощами. Водночас з більшою в'язкістю просочувального складу спостерігається вибіркочна адсорбція поліефірів у поверхневих шарах бетону, взаємодія кислотних груп мономерів з цементним каменем з утворенням гелеутворюючих структур, які колюматують пори. У зв'язку з цим швидкість просочування значно сповільнюється [6]. У такому разі добрі результати часто одержують, ввівши у в'язкий мономер деяку кількість малов'язкого мономера. Досліди проводили з композиціями поліефірстиролу. До того ж позитивний ефект збільшується з підвищенням температури. Аналогічні результати отримані під час використання поліефірстирольних і епоксидно-стирольних композицій [14].

Великий інтерес становить часткове, або поверхневе просочування бетонних і залізобетонних конструкцій, яке виконують з метою покращення фільтраційних і корозійних характеристик матеріалу

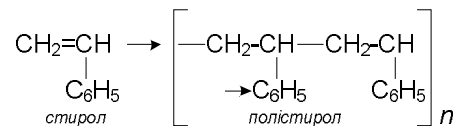
[6,14,15,16]. У випадку повного просочування найефективніші малов'язкі мономери типу стиролу або метилметакрилату. Але вони леткі і швидко випаровуються з бетону до полімеризації, якщо не вживати спеціальних заходів для їх зупинення [14,15]. У деяких випадках на поверхню виробів наносять шар форполімеру [14].

Вплив температури на полімеризацію та міцність конструкцій. Мономери, що розглядаються, вінілового і акрилового рядів належать до категорії тих органічних високомолекулярних з'єднань, які під дією тепла, світла та ініціаторів швидко перетворюються в полімери, які залежно від повноти перебігу процесу і властивостей мономера мають консистенцію від дуже в'язкої рідини до твердого і крихкого тіла.

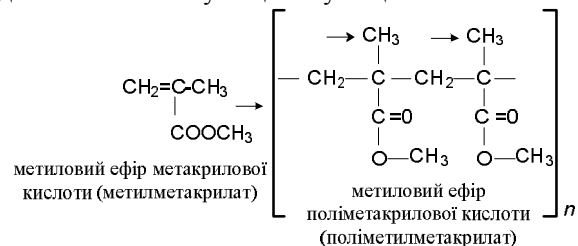
Для виготовлення бетонополімерних матеріалів надаються тільки з'єднання, що тверднуть за принципом полімеризації. Реакції поліконденсації пов'язані з неминучим утворенням побічних продуктів, таких як спирти, хлористий натрій, хлористий водень та інші речовини, які є несумісні з цементним бетоном. Зазвичай, полімеризація мономерів в об'ємі бетону відбувається за радикальним механізмом [2, 11].

Для просочування найчастіше використовують стирол і метилметакрилат. Раціонально розглянути питання полімеризації на їх прикладі.

Стирол, який інакше називається вінілбензолом і фенілетиленом, є найпростішим представником ароматичних вуглеводів з найпростішим ланцюгом. Він легко полімеризується в склоподібний полімер – полістирол:



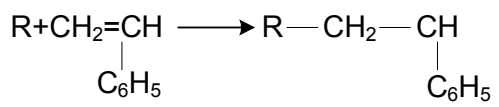
Метилметакрилат – метиловий ефір метакрилової кислоти також полімеризується в місцях розриву подвійних зв'язків вуглецю з вуглецем:



Процеси полімеризації, зазвичай відбуваються в місцях розриву подвійних зв'язків у молекулах мономерів. Здатність поєднання вуглецю до полімеризації визначається тим, що енергія ненасиченого зв'язку вуглецю з вуглецем менша, ніж енергія насиченого зв'язку. Тому заміна подвійного зв'язку одинарного супроводжується виділенням енергії, і створюються термодинамічно вигідні умови для утворення полімерних ланцюгів [9].

Радикальна полімеризація ініціюється вільними радикалами, причому походження їх може бути різним: можуть утворюватись під час розпаду молекул, які спеціально додаються в мономер ініціаторів, або з молекул самого мономера, який підлягає випромінюванню. У першому випадку має місце термokatалітичний спосіб полімеризації, в другому – фотохімічний або радіаційний.

Термокatalітичний спосіб, який має майже вікову історію, широко застосовують під час виробництва бетонополімерних матеріалів. Як ініціатори використовують з'єднання, що під час нагрівання розпадаються, утворюючи вільні радикали. Останні, маючи велику реакційну здатність, атакують молекули мономера за подвійним зв'язком. Розглянемо це на прикладі стиролу. Радикалом R може бути метил CH_3 , C та інші. Він має такий вигляд:



В результаті утворюється вільний радикал більшого розміру. Він знову атакує молекулу. Утворений радикал ще більшого розміру атакує наступну молекулу мономера, розриваючи подвійний зв'язок, і т.д. У результаті утворюються макромолекули $1 - 100$ с. [2]. Теоретично ланцюговий процес може відбуватися аж до вичерпання мономера і ініціатора до 100 %-го перетворення (конверсії) мономера. Однак так буває не завжди. Припинення зростання ланцюга зумовлене взаємодією макрорадикалів з утворенням „мертвих” макромолекул, реакціями з домішками, що також спричиняє знищення радикалів. У міру підвищення (на декілька порядків) в'язкість системи рухомих радикалів падає, і швидкість реакції зменшується.

Під час полімеризації виділяється велика кількість тепла, що призводить до нормальної полімеризації полі метилметакрилату без відведення тепла температура може піднятися до 400°C [4].

Активатори впливають на полімеризаційний процес лише в присутності перекис-ініціаторів. За взаємодії обох компонентів, які становлять окислювально-відновлювальну систему, за кімнатної температури утворюються вільні радикали. Наприклад, при 20°C період напівруйнування 1 %-го розчину перекису бензолу в мономері становить приблизно 60000 г. Додавання промотору (диметиланіліну) в такій самій концентрації скорочує період напівруйнування бензолу до 10 хв [14].

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що полімери підвищують фізико-механічні властивості цементного каменю, здійснюють ущільнювальне та зміцнювальний вплив під час формування кристалізаційної структури цементного каменю, що сприяє утворенню нових нерозчинних фаз. Введення полімеру в цемент з питомою поверхнею понад

$6000\text{cm}^2/\text{г}$ дає змогу значно підвищити міцність цементного каменю [1].

Радіаційна полімеризація. Прогрес радіаційної хімії і технології, сучасні технології діагностики ремонту і відновлення [8,9,10,12] зумовив успіх застосування радіаційного способу полімеризації під час виробництва бетонів, просочених полімерами. Властивості мономерів залежать від незначних змін в їхній хімічній будові та надмолекулярній організації. Енергія активації радикальної полімеризації мономерів вінілового та акрилового рядів невелика ($2-10$ ккал/моль) [2]. Наведені дані про дії γ -радіації на процес полімеризацію мономерів, які використовуються найчастіше в праці [14].

Швидкість полімеризації мономерів у разі радіаційного впливу можна значно збільшити, підвищивши температуру в реакторі або увівши ініціатори. Інгібітор, не видалений з мономера, дещо сповільнює процес полімеризації, що показано в праці [14]. Дослідження бетонополімерних зразків під час радіаційного оброблення виконане фотограмметричним способом, показало, що деформації їх малі та при виготовленні не можуть спричинити значних дефектів конструкцій [9].

Швидкість та повнота процесів полімеризації мономерів під час виготовлення полімербетонів значною мірою залежить від маси, модуля поверхні бетону та характеру структури пор. Зроблена спроба побудувати математичну модель процесу полімеризації мономера в порах бетону [9,15]. Прийнято, що процес полімеризації в капілярно-пористому середовищі є процесом блокової полімеризації.

Висновки: Отже, аналіз літературних джерел публікованих в Україні та за кордоном, показав:

1) Не достатньо досліджено процес локального просочення бетону ін'єкційними матеріалами. Не достатньо досліджено роботу залізобетонних балкових конструкцій попередньо оброблених ін'єкційними методами. Зокрема вплив такого просочення на міцність, деформативність та тріщиностійкість конструкцій.

2) Можна констатувати, що недостатньо вивчено поширення вологості всередині масиву виробу (відсутні відповідні залежності та номограми). Зокрема, у висновках багатьох авторів спостерігається деяка неоднозначність у питаннях експериментів з заповнення пор конструкції ін'єкційними матеріалами. Потрібно також відзначити, що недостатньо вивчено швидкість просочення елементів будівель та споруд у часі, з метою підвищення їх антикорозійних властивостей.

3). Аналіз наведених вище теоретичних досліджень показує, що не для всіх конструктивних елементів розроблено математичний апарат для визначення тривалості просочення ін'єкційними розчинами (зокрема для круглого суцільного бруса). Не досліджено вплив просочення на несучу здатність конструктивних елементів. Також необхідно зазначити, що в багатьох дослідженнях у

передумовах постановки задачі не враховано фізико-механічних характеристик (коефіцієнт дифузії, пористість тощо) деградованої та недеградованої структури бетону. Крім того, в багатьох дослідженнях задачі розв'язані в загальному вигляді і не доведені до можливості їх застосування в інженерній практиці до розрахунку конкретних конструкцій.

4). Виконаний аналіз режимів просушування, просочення та полімеризації ін'єкційних матеріалів у бетонних виробках показує, що деякі проблеми висвітлено недостатньо. Зокрема під час сушіння не чіткі межі температур просушування та вважається, що чим вища температура, тим краще відбувається просочення. Хоча сучасні дослідження показують можливість зменшення або повного уникнення процесів просушування за досягнення ефективного просочення полімерами. Те саме стосується і технології вакуумування.

5). Щодо просочення, як показують сучасні дослідження, істотний недолік більшості полімеризаційних матеріалів є їхня порівняно низька термостійкість. Крім того, під час впровадження каталізатора в мономер перед просочуванням відразу починається полімеризація. Тому на заводі бетонних

і залізобетонних виробів це спричиняє технологічні труднощі, а в умовах будівельного майданчика під час поверхневого просочування бетону перспективно застосування каталізаторів.

6). На основі проведеного аналізу роботи бетонів, просочених полімерами, показано, що, на наш погляд, їхні конструкційні властивості недостатньо вивчені та потребують подальших досліджень. Зокрема їхні властивості повинні визначатись з врахуванням всіх технологічних факторів, переважно сушіння та полімеризації, які зумовлюють появу значних внутрішніх деформацій та напружень у бетоні.

7). Для розв'язання цих задач необхідно визначити методику випробувань, конструкцію і кількість дослідних зразків та вплив ін'єкційного матеріалу на характеристики міцності, тріщиностійкості та деформативності балкових залізобетонних зразків.

З огляду літературних даних також впливає, що недостатньо розроблено та досліджено аналітичні методи розрахунку процесу полімеризації та напружено-деформованого стану просоченого бетону та залізобетону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ахвердов И. Н. Моделирование напряженного состояния бетона и железобетона / И. Н. Ахвердов, А. Е. Смольский, В. В. Скочелас.— Минск: Наука и техника, 1973. – 231 с.
2. Баженов Ю.М. Полимеры в бетоне / Ю.М. Баженов // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1976.
3. Ликов А.В. Теория сушки./ А.В.Ликов;— М.: Энергия, 1968. – 472 с.
4. Марек О. Акриловые полимеры / О. Марек, М. Томка. – М.;Л.: Химия, 1966. – 318 с.
5. Марчюкайтис Г.В. Напряженно-деформированное состояние преднапряженных железобетонных конструкций при теплообработке./ Г.В.Марчюкайтис, Е.Ю. Дулинскас. – Вильнюс, 1975. – 123 с.
6. Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума.— М.: Стройиздат, 1976.
7. Попченко С.Н. Закономерности капиллярной пропитки пористых камней органическими материалами / С.Н. Попченко, Л.И. Кудояров // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1972, Т. 100. – С. 166–179.
8. Радиационная химия полимеров. Под ред. В.А.Каргина. – М.: Наука, 1973.
9. Ратинов В.Б. Химия в строительстве / В.Б. Ратинов, Ф.М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1977. – 220 с.
10. Савицький Н.В., Худалий Е.Ю., Бородин А.А., Титюк А.А., Баташева К.В., Зінкевич А.Н., Юрченко Е.П., Імашечків С.А. Оцінка стану і розробка технічних рішень по відновленню працездатного стану силосів. // Збірн. наук. пр. “Сучасні технології діагностики ремонту і відновлення об'єктів будівництва і транспорту”. – Дніпропетровськ, 2003. – С. 284.
11. Тагер А.А. Физико-химия полимеров./ А.А. Тагер. – М.: Химия, 1968. – 545 с.
12. Ширяева Г. В. Применение ионизирующего излучения для получения наполненных систем. / Г.В. Ширяева, Ф.З. Райчук, О.Ф. Татаренко; ЖВХО им. Д.И. Менделеева, 1973 – Т.28. – № 3.
13. Шумский К.П. Вакуумные аппараты и приборы химического машиностроения / К.П. Шумский. – М.: Машиностроение, 1974. – 577 с.
14. Concrete-Polymer Materials. Brookhaven National Lab. Topical Reports I-V, N.Y., 1968–1973
15. Heins C.F. Ambient pressure impregnation of concrete by low viscosity monomers./ C.F. Heins. - Amer.Chem.Soc.Polym.Prepr, 1973. – V.14. – N2.
16. Yong Ding. Copolymerization of Elemental Sulfur with Cyclic (Arylene Disulfide) Oligomers / Ding Yong, Hay S Allan // Department of Chemistry / McGill University, Canada, 1997.

REFERECES

1. Akhverdov I.N., Smol'skiy A.E., Skochelyas V.V. Modelirovanie napryazhennogo sostoyaniya betona i zhelezobetona [*Modeling of the stress state of concrete and reinforced concrete*] – Minsk: Nauka i tekhnika, 1973. – 231 p. (in Russian).
2. Bazhenov Yu.M. Polimery v betone [Polymers in concrete] *Perspektivy primeneniya betonopolimerov i polimerbetonov v stroitel'stve*. – M.: Stroyizdat, 1976. (in Russian).
3. Likov A.V. Teoriya sushki [Drying theory] – M.: Energiya, 1968. – 472 p. (in Russian).
4. Marek O., Tomka M. Akrilovy polimery [Acrylic polymers] – M.;L.: Khimiya, 1966. – 318 p. (in Russian).
5. Marchukaytis G.V., Dulinskas E.Yu. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie prednapryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktсий pri teploobrabotke [Stress-deformation state of prestressed reinforced concrete structures during heat treatment] – Vil'nyus, 1975. – 123 p. (in Russian).
6. Perspektivy primeneniya betonopolimerov i polimerbetonov v stroitel'stve. [The use of concrete polymers and polymer concrete in construction] *Tezisy dokladov Vsesoyuznogo simpoziuma* – M.: Stroyizdat, 1976. (in Russian).
7. Popchenko S.N., Kudoyarov L.I. Zakonomernosti kapillyarnoy propitki poristykh kamney organicheskimi materialami [Capillary impregnation of porous stones with organic materials] *Izv. VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. – 1972, T. 100. – pp. 166–179. (in Russian).
8. Radiatsionnaya khimiya polimerov [Radiation chemistry of polymers] *Pod red. Kargina V.A.* – M.: Nauka, 1973. (in Russian).
9. Ratinov V.B. Ivanov F.M. Khimiya v stroitel'stve [Chemistry in Construction]. – M.: Stroyizdat, 1977. – 220 p.
10. Savvitskiy N.V., Khudalyi E.Yu., Borodin A.A., Tytiuk A.A., Batasheva K.V., Zinkevych A.N., Yurchenko E.P., Imashechkiv S.A. Otsinka stanu i rozrobka tekhnichnykh rishen po vidnovlenniu pratsezdatochno stanu sylosiv [Assessment of the condition and development of technical solutions to restore the working condition of silos] *Zbirn. nauk. pr. "Suchasni tekhnolohii diahnostyky remontu i vidnovlennia ob'ektiv budivnytstva i transportu"*. – Dnipropetrovsk, 2003. – 284 p. (in Ukrainian).
11. Tager A.A. Fiziko-khimiya polimerov [Physicochemistry of polymers]. – M.: Khimiya, 1968. – 545 p. (in Russian).
12. Shiryaeva G.V., Raychuk F.Z., Tatarenko O.F. Primenenie ioniziruyushchego izlucheniya dlya polucheniya napolnennykh system [The use of ionizing radiation to produce filled systems] – *ZhVKhO im. D.I. Mendeleeva*, 1973 – T.28. – № 3. (in Russian).
13. Shumskiy K.P. Vakuumnnye apparaty i pribory khimicheskogo mashinostroeniya [Vacuum apparatus and devices of chemical engineering]. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 577 p. (in Russian).
14. Concrete-Polymer Materials. Brookhaven National Lab. Topical Reports I-V, N.Y., 1968–1973
15. Heins C.F. Ambient pressure impregnation of concrete by low viscosity monomers. / C.F. Heins. - Amer.Chem.Soc.Polym.Prepr, 1973. – V.14. – N2.
16. Yong Ding. Copolymerization of Elemental Sulfur with Cyclic (Arylene Disulfide) Oligomers / Ding Yong, Hay S Allan // Department of Chemistry / McGill University, Canada, 1997.

Стаття надійшла до редколегії: 21.04.2017.