

ОПИСАНИЕ И МОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ САМОНЕСУЩИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КРУПНОПОРИСТОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКЕ ИЗ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

В настоящей работе предложен один из возможных системных подходов к математическому и технологическому моделированию в изучении и оптимизации решений ряда задач технологии возведения ограждающих конструкций в несъемной опалубке (НО) с заполнением крупнопористым керамзитобетоном (КПКБ).

Ключевые слова: математическое моделирование, сроки строительства, стоимость конструкции, трудоемкость, самонесущие ограждающие конструкции из крупнопористого керамзитобетона.

G.N. RIAZANOVA, V.G. KAMBURG
Penza State University of Architecture and Construction

DESCRIPTION AND MODEL APPROACH IN TECHNOLOGIES OF MOUNTING FILLER STRUCTURES IN PERMANENT FORMS WITH MACROPOROUS EXPANDED-CLAY CONCRETE FILLING

In the present work we do suggest one of the possible system approaches to mathematical and technological modelling in studying and improvement of problem solving concerning different aspects of mounting filler structures in permanent forms with macroporous expanded-clay concrete filling. Considered technologies that help reduce material consumption, cost and complexity of work, quality and comfort of buildings, innovative development of the construction industry. The main issues that arise in choosing construction technology using walling of concrete at macro porous cement-shaving permanent formwork. Justified the use of mathematical modeling in decision-competitive solutions at lower cost and reduce construction time, taking into account technological features of production, the mixture composition and its physical properties, methods of preparation and the requirements for safe operation.

Keywords: mathematical modeling, construction time, construction cost, complexity, self-supporting building envelope of macroporous keramsit.

Основной раздел

В настоящее время в России наиболее развивающимся сегментом строительного рынка, в котором могут быть востребованы самые передовые технологические решения, является малоэтажное и индивидуальное строительство. Во многом это объясняется тем, что в этой части строительного рынка работают относительно небольшие строительные компании, жестко конкурирующие между собой, а потребителем выступает индивидуальный заказчик, особо заинтересованный в качестве строительства, снижении его стоимости, сокращении сроков строительства. Внедрение современных материалов и технологий — единственный путь решения проблем строительства в области снижения материалоемкости, стоимости и трудоемкости работ, повышения качества и комфортности жилья, инновационного развития отрасли. Не смотря на консерватизм строительной отрасли, за последнее десятилетие крупным изменением стало использование технологии несъемной опалубки в монолитном строительстве, в том числе при устройстве ограждающих конструкций.

Применение несъемной опалубки уменьшает финансовые вложения и сокращает сроки строительства, в том числе за счет исключения цикла распалубливания конструкций и затраты на эксплуатацию домов (отопление и кондиционирование воздуха). Переход на несъемную опалубку на 35–60 % снижает затраты труда на отделочные работы, исключает использование металлоемких опалубочных систем (до 60 т на дом), что при современных ценах на металл приобретает исключительное значение.

Важным моментом в выборе эффективной ограждающей конструкции играет региональный фактор, учитывающий социально-экономические, климатические особенности и технические возможности строительного производства данного региона.

Конструкция ограждения из крупнопористого керамзитобетона в несъемной опалубке из ЦСП обладает достаточным сопротивлением теплопередаче

$$R_0 = 3,318 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт} > R_{\text{рег}} = 3,175318 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт},$$

а также долговечностью, пожаростойкостью и экологичностью [1–3].

Наиболее значимым преимуществом является небольшая стоимость конструкции и низкая трудоемкость возведения.

Основные вопросы, возникающие при возведении ограждающих конструкций из крупнопористого керамзитобетона в несъемной цементно-стружечной опалубке, обусловлены сложностью технологических задач, возникающих в построечных условиях, среди них подбор рационального состава крупнопористой керамзитобетонной смеси, особенности её перемешивания и укладки, обоснование параметров её воздействия на щиты опалубки.

Весьма эффективным в процессе приготовления считается виброперемешивание, обеспечивающее однородность смеси, повышение прочности сцепления цементного камня с заполнителем, ускорение

твердения, особенно в раннем возрасте, и увеличение прочности бетона на 10–15 %.

При уплотнении легкобетонной смеси происходит ее деформация, связанная с лучшим компактным расположением зерен заполнителя и отжатием из цементного теста свободной воды затворения, а также вызванная упругостью отдельных зерен пористых заполнителей и давлением пузырьков воздуха, сжатого при уплотнении смеси, следовательно, процесс укладки в опалубку также требует дополнительного механического воздействия.

Очевидно, что, решив проблемы приготовления и укладки крупнопористого керамзитобетона в несъемную опалубку из цементно-стружечных плит в построечных условиях, можно получить эффективное малозатратное и конкурентоспособное ограждение. Для этой цели необходимо разработать и обосновать математическую модель процессов перемешивания и укладки крупнопористого керамзитобетона в несъемную опалубку.

Математическая модель укладки рассматривается при следующих допущениях: пористые элементы заполнителя — зерна в форме шара радиуса R со среднестатистическим отклонением от стандартного размера по радиусу sR , с равнодоступной внешней поверхностью; удельная эффективная пористость зерна $E_k = E_k(t)$, характеризующая долю пор, открытых для диффузии цементного клея внутрь зерна и меняющаяся, в общем случае, в процессе затворения и укладки; цементный клей с постоянным по времени t составом, в виде водоцементного массового отношения

$$M_v/M_c = B/C$$

во время всего процесса. Теоретически и численно оцениваются удельные объемы заполнителя и цементного клея, а вместе с ними — и их массы. Для этого определяются удельная пористость «скелета» заполнителя, как

$$E_{СК} = 1 - \frac{V_{ПЭ}}{V_{ОБЦ}},$$

где $V_{ПЭ}$ — объем заполнителя, а $V_{ОБЦ}$ — общий объем пространства, занимаемого бетонной массой.

В ходе моделирования предварительно оценены наиболее и наименее вероятные положения взаимносоприкасающихся зёрен, в результате комплексного воздействия на бетонную смесь процессов перемешивания, вибрации и укладки крупнопористого керамзитобетона в несъемную опалубку. Точное описание положения отдельных зёрен или их сгустков — кластеров — невозможно в силу их большого количества и вероятного перемещения по объему опалубки. Однако из общефизических соображений следует ожидать, что в замкнутом пространстве опалубке пористые элементы, обработанные и насыщенные цементным клеем, под действием сил тяжести и внешних вибрационных сил, будут стремиться занять наиболее плотную устойчивую, тетраэдральную упаковку с $E_{СК}^I = 1 - \frac{\pi}{3\sqrt{2}}$ (Рис. 1, I). Другой предельный случай — наименее плотная неустойчивая кубическая структура $E_{СК}^{II} = 1 - \frac{\pi}{2}$ (Рис 1, II). На это же указывают и экспериментальные образцы.

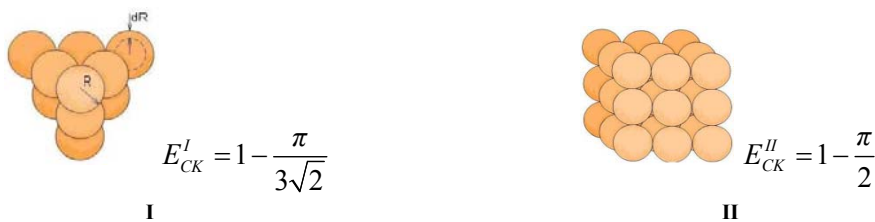


Рис. 1. Фрагменты структур «скелета» заполнителя КПКБ

Для пористостей других промежуточных структур

$$E_{СК}^I \leq E_{СК} \leq E_{СК}^{II},$$

если несущественно нарушено технологическое условие соприкосновения зёрен, возникает возможность предварительно оценивать расход цементного клея для объема опалубке $V_{ОП}$, как для полного заполнения клеем пор между зёрнами:

$$V_{ЦК} = V_{ОП} - V_{ПЭ} + dV_{ПЭ} = V_{ОП} \cdot \left(1 - \frac{V_{ПЭ}}{V_{ОП}} + \frac{dV_{ПЭ}}{V_{ОП}}\right) = V_{ОП} \cdot (E_{СК} - E_k dE_{СК}) \tag{1}$$

так и в случае обволакивания скелета ПЭ на глубину dR :

$$V_{ЦК}^{СК} = V_{ОП} \cdot E_k dE_{СК}, \tag{2}$$

где $E_k dE_{СК}^I = E_k \frac{\pi \cdot dR}{R\sqrt{2}}$ $E_k dE_{СК}^{II} = E_k \frac{\pi \cdot dR}{2R}$

Учитывая, то что для больших n , т.е. когда размеры опалубки значительно больше размеров

пористых элементов (для реальных значений

$$R=0,02-0,04 \text{ м,}$$

$$V_{\text{пэ}} = 3,4 \cdot 10^{-5} - 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ и}$$

$$V_{\text{оп}} = 0,8 \times 0,8 \times 0,37 = 0,237 \text{ м}^3),$$

в соответствии с нормативными требованиями, получены соотношения для указанных структур:

$$\text{I: } \frac{dR}{R} = \frac{150 \cdot R_{\sigma} \cdot \sqrt{2}}{\sigma_3 \cdot E_K \cdot \pi \cdot \rho_{\text{цк}}} \cdot \left(1 + \frac{B}{\text{Ц}}\right) \text{ и}$$

$$\text{II: } \frac{dR}{R} = \frac{300 \cdot R_{\sigma}}{\sigma_3 \cdot E_K \cdot \pi \cdot \rho_{\text{цк}}} \cdot \left(1 + \frac{B}{\text{Ц}}\right) \quad (3)$$

$$\rho_{\text{цк}} = 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

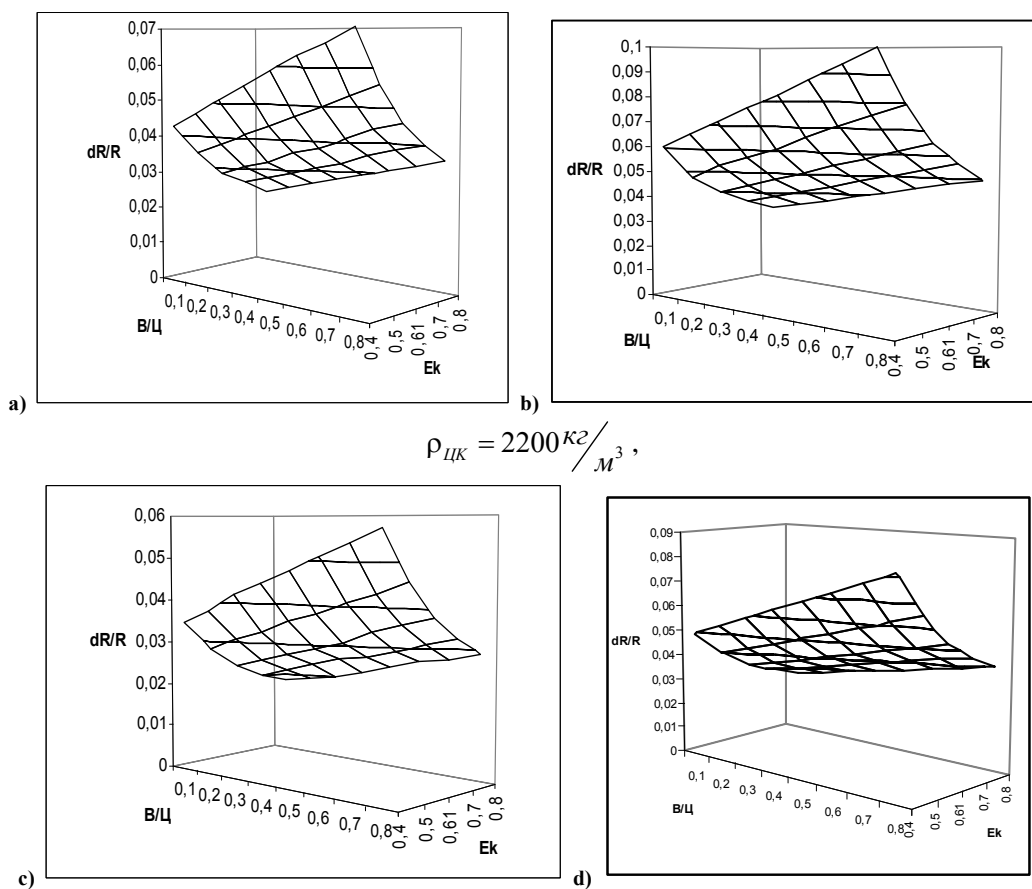


Рис. 2. Зависимость относительной глубины насыщения $\frac{dR}{R}$ от $B/\text{Ц}$ и E_K : а, с — для I; б, d — для II структур.

Сравнением расчётных графиков $\frac{dR}{R}$, характерные результаты которых для различных плотностей клея, $B/\text{Ц}$ и E_K приведены на рис. 2 с экспериментальными данными по W -водопоглощению в неподвижном слое клея показана прогнозирующая способность предложенной модели по времени насыщения.

Эти данные позволяют также утверждать, что даже в режиме намочания в неподвижном слое цементного клея время насыщения пористых элементов для выполнения нормативных требований по прочности составляет от 6–15 минут.

Далее рассматриваются модельные представления процессов насыщения пористых элементов цементным клеем и их технологическая реализация, в том числе возможность применимости математической модели процесса вынужденной диффузии в пористых средах для описания и изучения процесса насыщения пористых элементов цементным клеем [4–5]. Развитие процесса насыщения во времени до гидратации цемента, то есть кинетика процесса на крупнопористом керамзитобетоне, в литературе рассмотрена недостаточно, хотя именно механизм образования определяет свойства крупнопористого керамзитобетона в несъёмной опалубке, где заполнителем выступает пористый керамзит с высокоразвитой поверхностью контакта с раствором. Моделирование же позволяет описать и исследовать

процессы, происходящие с начала погружения пористого элемента в цементный клей. Выводятся математические модели для описания различных технологических ситуаций, в том числе, в режиме намочения в неподвижном слое цементного клея, в режиме перемешивания, а также при наложении на процесс перемешивания вибрационного поля.

Перемешивание в бетоносмесителе с внешним возмущением — исходное уравнение:

$$E_k \frac{\partial W}{\partial t} = \frac{D_k}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial W}{\partial r} \right) + \frac{k}{\eta} \frac{\partial W}{\partial r} \frac{\partial P}{\partial r} - cW \quad (4)$$

С граничными условиями:

внутри зерна: либо

$$r = R - dR : W = 0 \quad (5)$$

(клей проникает не глубже dR от поверхности пористого элемента), либо

$$D_k \frac{\partial W}{\partial r} = 0 \quad (6)$$

(клей не меняет состава, начиная с уровня dR);

на поверхности зерна: $r = R$:

$$D_k \frac{\partial W}{\partial r} = \beta_k (W - W_0) \quad (7)$$

и начальными условиями:

$$W|_{t=0} = W_0(r), \quad (8)$$

где $W = W(r, t)$ — объемная доля жидкой фазы (степень насыщения пор пористого элемента) в точке пористого элемента на расстоянии r от центра шара до его поверхности ($0 \leq r \leq R$) в двухфазной гетерогенной системе “жидкость — воздух” в момент времени t ;

D_k — коэффициент диффузии в зерне пористого элемента;

W_0 — начальная концентрация клея зерне;

k — проницаемость керамзита;

η — вязкость цементного клея;

β_k — коэффициент массообмена между клеем и наружной поверхностью зерна;

$$P = P_{\text{парц}} + P_{\text{тяж}} + P_{\text{врац}} + P_{\text{возм}}, \quad (9)$$

где $P_{\text{парц}}$ — парциальное давление воздуха (или среды, заполняющей поры пористого элемента), включающее избыточное давление, создаваемое при заполнении пор цементным клеем и силами поверхностного натяжения в порах;

$P_{\text{тяж}}$ — составляющая давления от силы тяготения;

$P_{\text{врац}}$ — давление, создаваемое вынужденной конвекцией раствора от вращения ротора бетономешалки за счет центробежной силы;

$P_{\text{возм}}$ — давление, искусственно создаваемое внешними источниками возмущения бетонной смеси (например, вибраторами), для ускорения процесса насыщения (в виде “закачки”) тела пористого элемента цементным клеем, а также для создания более равномерной зоны пропитки dR на шаре и уплотнения смеси;

c — эффективная характеристика суммарной скорости химических реакций, протекающих в процессе смешивания цемента с водой и влияющих на насыщение пор клеем. Система является нестационарной моделью, содержащей основные параметры процесса насыщения пористых элементов [6].

Выводы

Исследование влияния на решение соответствующих членов выражения в правой части описывает и указывает пути организации соответствующих технологий затворения. Очевидно, что для крупнопористого керамзита главное влияние на решение этой задачи будут вносить члены $P_{\text{возм}}$ и cW , и именно им необходимо уделить особое внимание.

Результаты моделирования, наряду с соответствующими экспериментальными данными, помогают оценивать реальную толщину диффузионного слоя dR пористого элемента, заполненного цементным клеем за время t и получать приближенные решения основных поставленных задач, в том числе при решении задач выбора эффективной стратегии организации и проведения строительных работ с минимизацией затрат и учётом особенностей региона.

Література

1. Бужевич Г. А. Лёгкие бетоны на пористых заполнителях / Г. А. Бужевич. — М. : Стройиздат, 1970. — 272 с.
2. Иванов И. А. Технология лёгких бетонов на искусственных пористых заполнителях: учеб. пособ. для вузов / И. А. Иванов. — М. : Стройиздат, 1974. — 287 с.
3. Наназашвили И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции [Текст] / И. Х. Наназашвили. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — Л. : Стройиздат, 1990. — 415 с.: ил.

4. Лыков А. В. Тепломассообмен (Справочник) / А. В. Лыков. — М. : Энергия, 1971. — 558 с.
5. Матрос Ю. Ш. Общие принципы построения модели нестационарных процессов в неподвижном слое катализатора / Ю. Ш. Матрос, В. А. Кириллов, М. Г. Слинко // Моделирование химических процессов и реакторов. — Новосибирск : Изд-во Ин-та катализа Сиб. отд. АН СССР, 1972. — С. 62–75.
6. Камбур, В. Г. О новом подходе в моделировании процессов, протекающих в динамических термодиффузионных камерах различных типов [Текст] / В. Г. Камбур, Н. В. Шепталин // Интегральные преобразования и их использование в краевых задачах : сб. научн. тр. / Ин-т математики НАН Украины. — К. : Ин-т математики НАН Украины, 1996. — С. 68–76.

References

1. Buzhevich GA lightweight concrete with porous aggregates / GA Buzhevich . - M. Stroyizdat , 1970 . - 272 .
2. 2 . Ivanov IA Technology lightweight concrete artificial porous aggregates: Textbook. benefits. for schools / IA Ivanov . - M. Stroyizdat , 1974. - 287 .
3. 3 . Nanazashvili IH Construction materials from wood- cement composition / IH Nanazashvili . - [2nd ed . , Rev . and add .] . - L. Stroyizdat , 1990 . - 415 p. : Il.
4. 4 . AV Lykov Heat and Mass Transfer (Handbook)/ AV Lykov . - Moscow: Energiya , 1971 . - 558 p.
5. 5 . Sailor Yu S. General principles of model -dependent processes in a fixed catalyst bed / Yu Sh Matros , VA Kirillov , MG Slin'ko // simulation of chemical processes and reactors. - Novosibirsk : Publishing House of the Institute of Catalysis, Siberian . Dep. USSR Academy of Sciences , 1972 . - P. 62-75 .
6. Cambuur , VG On a new approach to modeling the processes occurring in dynamic thermal diffusion chambers of different types / VG Kambur , NV Sheptalin // Integral transforms and their use in boundary value problems : Sat Nauchn . tr. / Institute of Mathematics NAS of Ukraine. - K. : Institute of Mathematics , 1996 . - P. 68-76 .

Рецензія/Peer review : 12.3.2014 р.

Надрукована/Printed : 20.5.2014 р.