

DOI: 10.12737/article\_59cd0c5c405e22.47458003

*Домнина К.Л., ассистент,  
Репко В.Н., канд. техн. наук, проф.  
Воткинский филиал Ижевского государственного технического  
университета им. М.Т. Калашникова*

## О ПРИМЕНЕНИИ РАСЧЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ТЕОРИИ ФИБРОПЕНОБЕТОНОВ

kseniya\_domnina@bk.ru

*Для получения качественного строительного материала, в частности бетона, необходимо одновременно выполнение условий целого ряда факторов, что является основой для проведения огромного числа экспериментов. При проведении испытаний для всех видов ячеистых бетонов рационально использовать предварительный расчетный эксперимент, который сокращает количество реальных и целенаправленных экспериментов, а также позволяет оценить ожидаемые результаты изменения состояния материала. В статье приводится применение расчетного эксперимента для фибропенобетонов неавтоклавного твердения. Даются рекомендации по последовательности выполнения расчетного эксперимента и поиску компромисса. Особое внимание уделяется поиску «опасного» фактора. Предложен алгоритм применения расчетного эксперимента в области получения фибропенобетонов.*

**Ключевые слова:** фибропенобетон, расчетный эксперимент, факторы, компромисс, многофакторный подход.

Математические модели физико-механических взаимозависимостей, эксплуатационных и технико-экономических показателей в условиях изменения значений исходных условий и большого количества и разнообразия факторов позволяют теоретически охватить весь процесс производства бетона – от проектирования состава до применения готового изделия. Это дает возможность провести огромное число расчетных экспериментов и оценить ожидаемые результаты изменения состояния материала, а также проверить правильность поставки задач управления процессом получения бетона. Конечно, последнее получаем техническим экспериментом, но это уже будет целенаправленный эксперимент. Для примера приводим применение расчетного эксперимента для фибропенобетонов неавтоклавного твердения.

Пусть  $x_1 \dots x_k$  – переменные,  $\gamma_1 \dots \gamma_n$  – показатели фибропенобетонной смеси, известны.

В качестве варьируемых переменных  $x_1 \dots x_k$  принимаем параметры, оказывающие влияние на основные свойства бетонной смеси [1]. Для фибропенобетонов это:  $x_1$  – водоцементное отношение;  $x_2$  – доля песка в смеси, %;  $x_3$  – содержание армирующего волокна в смеси, %.

Показатели  $\gamma_1 \dots \gamma_n$  берутся важные для заказчика. Обычно это:  $\gamma_1$  – прочность на сжатие, МПа;  $\gamma_2$  – прочность на растяжение при изгибе, МПа;  $\gamma_3$  – теплопроводность, Вт/м·°С;  $\gamma_4$  – издержки производства (себестоимость), руб.

По статистическим данным находим аналитические зависимости:

$$\gamma_i = f_{ij}(x_j); i \in [1; n]; j \in [1; k]; \quad (1)$$

$$\gamma_i = F_{\gamma_i}(\gamma_\nu); i \in [1; n]; \nu \in [1; R]; \nu \neq i. \quad (2)$$

Показатели для заказчика имеют ранг важности:

$$\gamma_i > \gamma_\lambda > \gamma_{\lambda-1} > \gamma_{\lambda-2}; \lambda \in [1; n]; \lambda \neq i. \quad (3)$$

Ввиду того, что нумерация рангов важности будет индивидуальна для каждого заказчика (а пенобетон – это одновременно и конструкционный, и теплоизоляционный материал), удобно нумерацию  $i$  выбирать по рангу важности (3), т.е.:

$$\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3 > \dots > \gamma_n. \quad (4)$$

Тогда и зависимости будут иметь номера из (4).

Если все показатели  $\gamma_i$  заданы заказчиком, то они определяют и все значения  $x_1 \dots x_k$  для себя. Очевидно, что совпадения значений  $x_j$  ( $j \in [1; k]$ ) для всех  $\gamma_i$  ( $i \in [1; n]$ ) маловероятно. Иными словами – в общем случае выполнить точно все заданные значения  $\gamma_i$  невозможно. Необходимо находить компромисс: за счет уменьшения важности каких-либо (или одного) показателя  $\gamma_i$  повысить значения остальных до допустимых. Наличие зоны допустимых значений позволяет управлять показателями  $\gamma_i$  и адаптировать их под конкретные условия заказчика. Зона допустимых значений для каждого  $\gamma_i$  определяется заказчиком в виде:

$$\theta_i = [\text{от } \gamma_{i \min} \text{ до } \gamma_{i \max}]. \quad (5)$$

Компромисс в решении поставленной задачи возможен при нахождении наиболее зависимого показателя  $\gamma_i$ . Выбирается самый деформируемый промежуток  $\theta$ : для каждого в отдельности  $x_j$  задают значения  $x_j = \Delta x_j$  и по (1) находят все значения  $\gamma_{ij}$ . Затем определяют скорости изменения каждого  $\gamma_{ij}$  (вправо и влево от  $x_j$ ):

$$V_{\Pi}(\gamma_{ij}) = \frac{\gamma_{ij} - \gamma_{ij}(x_j + \Delta x_j)}{\gamma_{ij}(x_j)}; \quad (6)$$

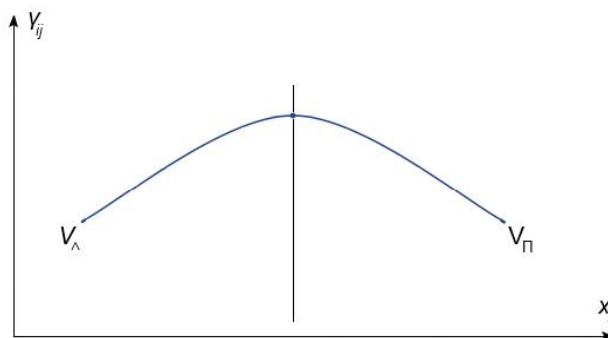


Рис. 1. Зависимость значений показателя  $\gamma_{ij}$  при отрицательных значениях скорости  $V$

Если  $V_{\Lambda} < 0$ ,  $V_{\Pi} > 0$  – возрастание. Если наоборот – то убывание.

Теперь ясно, что самый деформируемый  $\theta_i$  тот, где или значение  $V_{\Pi}$ , или значение  $V_{\Lambda}$  максимальное из всех, но самое главное, чтобы  $\Delta\gamma_{ij} = |\gamma_{ij}(x_{ij} + \Delta x_j) - \gamma_{ij}(x_j - \Delta x_j)|$  было тоже максимальное. Такой показатель  $\gamma_{ij}$  самый опасный – он в первую очередь требует проверки: хватит ли компромиссной уступки. Понятно, что может возникнуть ситуация, когда уступки не хватает и задача не имеет решения. В этом случае необходимо найти новые условия для исправления  $\gamma_{ij}$ , т.е. построить новые зависимости (1) показателей  $\gamma_i$  от ранее не учтенных параметров  $x_j$ .

Чаще всего в задачах управления свойствами бетонов учитываются лишь «популярные» факторы – водоцементное отношение, активность цемента, наличие и концентрация ПАВ, качество и количество заполнителей и др., а остальные игнорируют. Но в случае с поиском компромисса может возникнуть необходимость в факторе, важностью которого ранее пренебрегали, т.е. еще какой-то новый  $x$  надо вводить в ряд  $x_i \in [x_1, \dots, x_k, x_{\text{новый}}]$ . Соответственно, с появлением фактора  $x_{\text{новый}}$  все соотношения (1)-(7) полностью изменяются, и формализуется новая задача. Процесс постоянный, и именно он ведет к открытию новых материалов и технологий.

В случае установления компромисса и определения всех  $x_j$  для заказчика определяется область применения каждого из факторов. Т.е. скорость изменения  $V_{\Pi}$  и  $V_{\Lambda}$  позволяет исчерпать

$$V_{\Lambda}(\gamma_{ij}) = \frac{\gamma_{ij} - \gamma_{ij}(x_j - \Delta x_j)}{\gamma_{ij}(x_j)}. \quad (7)$$

Если значение скорости  $V$  отрицательное, то показатель  $\gamma_{ij}$  убывает или уменьшается в относительной величине. Причем, если оба значения  $V$  из (6) и (7) отрицательные, то мы имеем точку «перегиба» (рис. 1). И ясно, что нам задано максимальное значение  $\gamma_{ij}$ .

компромисс (5) без ущерба остальных  $\gamma_i$  да еще с «запасом». Здесь уже появляется возможность совершенствования некоторых из  $\gamma_i$ . Решается задача нахождения его максимума или минимума в зоне изменения каждого  $x_j$ . В завершении данного этапа целесообразно провести проверку реальным экспериментом – уточняются все соотношения (1)-(2), и совершенствуется математическая модель, что очень важно для производства.

Кстати, максимум или минимум  $\gamma_i$  находится по самой «опасной» переменной  $x_l (l \neq j, l \in [1; k])$ . Для этой  $x_l (l \neq j, l \in [1; k])$  все остальные параметры задают из области допустимых значений. Опять же, используя (6) и (7), мы знаем скорости и пределы изменения каждого  $x_j$  и можем задать наилучшие значения для остальных  $x_j$  по максимуму или минимуму. Тогда решается обычная однокритериальная задача – полученная производная приравняется к нулю и позволяет определить  $x_{l \text{ opt}}$ . В зависимости от условий эксплуатации материала многие показатели можно улучшить. В итоге опять необходимо провести целенаправленный эксперимент по всем известным условиям. Подтверждение ставит на поиске точку. Неподтверждение уточняет математическую модель. И то, и другое полезно – ведь по сути задача решена, мы просто ищем улучшения технологии получения нового материала.

Теперь необходимо то же самое провести с (2): для каждого  $\gamma_i$  назначить последовательно

точки  $\gamma_i(\gamma_V - \Delta\gamma_V)$ ;  $\gamma_{i0}(\gamma_V)$ ;  $\gamma_{iП}(\gamma_V + \Delta\gamma_V)$ . Применяем такой же подход, как и выше – только вместо  $x_j$  фигурирует  $\gamma_i = \gamma_{i0}$ . Точно так же определяются максимально влияющие на большее число показателей  $\gamma_V$  и самое главное, находится самый опасный показатель  $\gamma_V$ , быстрее

всех «съедающий» свою область допустимых значений. Опять появляется задача min-max, которую мы сводим за счет компромисса к однокритериальной. Это лексикографический метод или «уточненный» метод целенаправленного перебора.

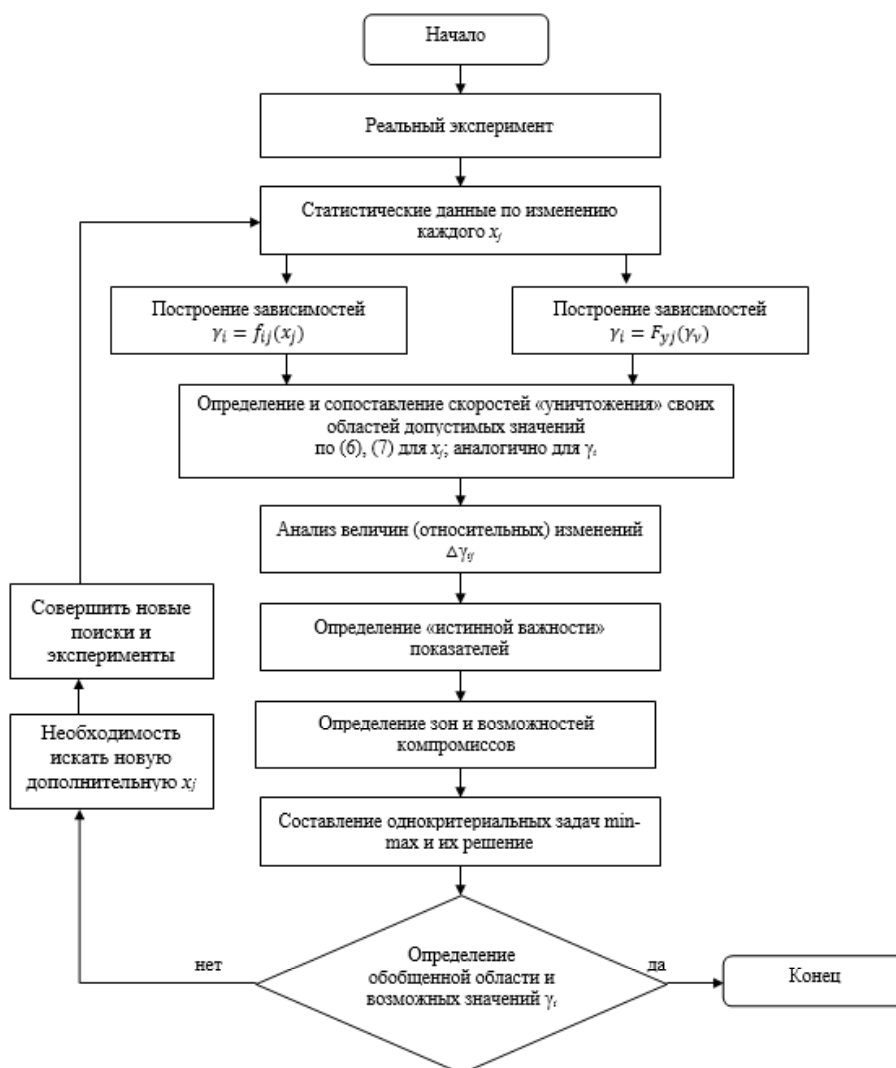


Рис. 2. Цикл решения многофакторной задачи

Как итог, авторами предлагается к реализации графическая блок-схема (рис. 2), которая содержит краткую рекомендательную информацию по применению расчетного эксперимента. Представленный цикл позволяет определять направления новых научных и экспериментальных поисков в области получения фибропенобе-

тонов и пригоден для решения не только конкретной задачи, а также серии однотипных задач при различных начальных условиях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чулкова И.Л., Санькова Т.А. Автоматизированное проектирование составов бетонных смесей. Омск: СибАДИ, 2009. 120 С.

### Информация об авторах

**Домнина Ксения Леонидовна**, ассистент кафедры «Техническая механика»

E-mail: kseniya\_domnina@bk.ru

Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова  
Россия, 427430, г. Воткинск, ул. Шувалова, д.1

**Репко Валентин Николаевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Техническая механика» Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова  
Россия, 427430, г. Воткинский, ул. Шувалова, д.1

---

*Поступила в августе 2017 г.*

© Домнина К.Л., Репко В.Н., 2017

---

**Domnina K.L., Repko V.N.**

**ON THE APPLICATION OF THE CALCULATED EXPERIMENT IN THE THEORY OF FIBER FOAM CONCRETE**

*To obtain high-quality building material, particularly concrete, it is necessary to comply with the conditions of a number of factors. So it is the basis for a huge number of experiments. The calculated experiment is rationally to use for all types of cellular concrete. It reduces the amount of real and targeted experiments, and also allows to evaluate the expected results of the change of state of the material. The article describes the usage of the calculated experiment for non-autoclave fiber foam concrete. Recommendations of the sequence of calculated experiment and compromise are given. Special attention is paid to finding the "threat" factor. The algorithm of the application of calculated experiment in the fiber foam concrete theory is proposed.*

**Keywords:** *fiber foam concrete, calculated experiment, factors, compromise, multi-factor approach.*

---

*Information about the authors*

**Domnina Kseniya Leonidovna**, assistant.

E-mail: kseniya\_domnina@bk.ru.

Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University.

Russia, 427430, Votkinsk, st. Shuvalova, 1.

**Repko Valentin Nikolaevich**, PhD, professor.

Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University.

Russia, 427430, Votkinsk, st. Shuvalova, 1.

---

*Received in August 2017*

© Domnina K.L., Repko V.N., 2017