

количество пластификатора было определено опытным путем для каждого состава отдельно. Данные, полученные в ходе исследований (составы 1,8,9) дают возможность утверждать, что введение метакаолина, как активной добавки в цементное тесто способствует резкому сокращению сроков схватывания, при этом ускоряются и начало схватывания, так и конец схватывания (таблица 2). Многие исследователи отмечают, что метакаолин, обладая пуццолановой активностью, способен ускорять гидратацию и твердение цементных композиций. Однако, применение метакаолина в чистом виде без пластифицирующих добавок не дает такого же эффекта по ускорению сроков схватывания цементных систем, поскольку за счет возросшего количества воды, дополнительно вводимого из-за высокой удельной поверхности метакаолина, происходит «разжижение» структуры, скорость гидратации замедляется и как следствие удлиняются сроки схватывания.

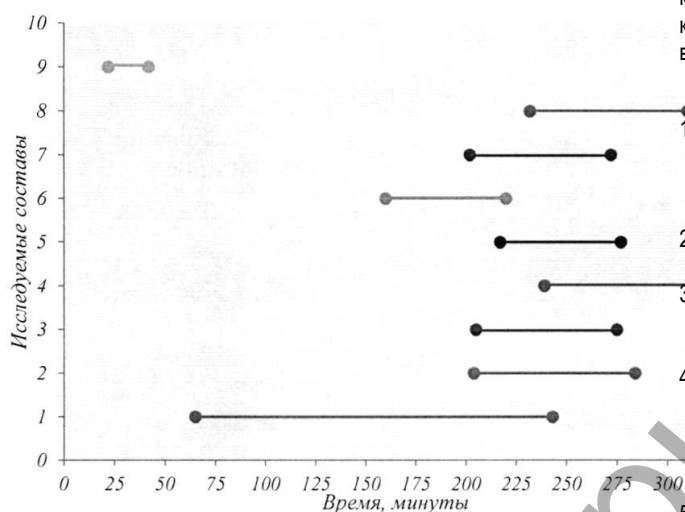


Рисунок 2 – Интервалы времени начала и конца схватывания исследуемых цементных систем

Заключение. По результатам выполненных экспериментально-теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

- применение расширяющейся добавки РД (метакаолин:гипс) приводит к значительному повышению водопотребности цементного теста, что резко замедляет схватывание и гидратацию из-за излишнего количества воды, присутствующей в гидратирующей системе. При использовании вместе с РД эффективных пластификаторов

водопотребность смеси снижается и появляется возможность использовать эффект ускорения раннего структурообразования за счет повышенного содержания алюминатов. Присутствие в цементной системе двуводного гипса приводит к замедлению начала схватывания, но само время схватывания сокращаются;

- применение чистого метакаолина совместно с суперпластификатором способствует резкому сокращению сроков, что объясняется высоким содержанием алюминатов и пуццолановой активностью метакаолина. Введение метакаолина без пластификаторов не эффективно из-за высокой водопотребности, приводящей к «разжижению» за счет возросшего количества воды, и, как следствие, к замедлению начала схватывания;
- возможность сокращения времени схватывания в расширяющихся сульфоалюминатных цементных системах при обязательном введении суперпластификатора позволяет рассматривать такие вяжущие как один из возможных эффективных вариантов применения в торкретбетоне, где ранний набор прочности и сокращение сроков схватывания являются обязательными технологическими условиями.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Титов, М.Ю. Бетоны с компенсированной усадкой на расширяющих добавках: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.23.05 / М.Ю. Титов; НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. – Москва, 2012. – 22 с.
2. Бетоны напрягающие. Технические условия: СТБ 2101-2010. – Введ. 01.01.2011 – Минск: Госстандарт, 2011. – 20 с.
3. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона. – Брест, 1998. – 244 с.
4. Беломесова, К.Ю. Исследование влияния расширяющихся сульфодерритных и сульфоалюминатных добавок на прочностные показатели и собственные деформации цементных систем / И.П. Павлова, Т.В. Каленюк, К.Ю. Беломесова // Весн. БрГТУ. – № 1: Строительство и архитектура. – 2016. – С. 123–127.
5. Брыков, А.С. Цемент и его применение. Метакаолин // Статья УДК 666.9+961.545.: СПбГТИ(ТУ), Россия, 2012. – С. 1–4.
6. Брукс, Г. Торкрет-бетон, торкрет-цемент, торкрет-штукатурка / Г. Брукс, Р. Линдер, Г. Руфферт; пер. с нем. М.В. Алешечкиной, З.А. Липкинда; под ред. Л.А. Феднера. – Москва: Стройиздат, 1985. – 205 с.
7. Методы испытания цемента. Часть 3. Определение сроков схватывания и равномерности изменения объема : СТБ ЕН 196-3-2011. – Введ. 01.06.2012 – Минск: Минстройархитектуры, 2012 – 11 с.

Материал поступил в редакцию 30.03.2017

PAVLOVA I.P., BELOMESOVA K.Yu. *Metakaolin Basis Expansive Admixtures Influence on the Cementitious Systems Setting Time*

Results of setting time experimental study for cementitious systems with influence of expansive additives, based on metakaolin, are resulted in article. The basic mechanisms of early structure formation with application of expansive additives together with effective plasticizing additives are revealed. The opportunity of modified expansive binder application is proved at shotcrete manufacturing.

УДК 624.04

Борисевич А.А.

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ФЕРМ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ

Введение. В сложившейся к настоящему времени практике расчетов строительных систем решение задач оптимизации выполняется с помощью методов математического программирования. Ограничения на прочность стержней фермы (и других конструкций) записываются в виде нелинейных функций. Численная реализация задач нелинейного математического программирования весьма трудоемка, особенно в

реальном проектировании, хотя теоретических исследований проведено достаточно много. Заранее определить какие ограничения в задаче оптимизации будут активными не всегда возможно. Поэтому, даже сформулировав задачу оптимизации в терминах математического программирования, получить ее решение затруднительно.

Борисевич Арсений Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительной механики Белорусского национального технического университета.
Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

В настоящей работе внимание исследователей обращается на достоинства расчета и оптимизации конструкций с помощью общих уравнений строительной механики [1], позволяющих получить выражения для определения переменных состояния в символьном виде с целью использования их в системах компьютерной математики. Благодаря этому задача поиска рациональной, близкой к оптимальной конструкции сводится к решению системы уравнений или к применению методов математического программирования.

Именно с помощью общих уравнений матрицу внешней жесткости системы можно записать в символьном виде. С её помощью получают выражения для определения перемещений узлов или усилий в стержнях. Сложность решения зависит от числа типоразмеров сечений элементов системы и размера матрицы жесткости (числа неизвестных узловых перемещений).

Демонстрацию возможного способа решения задачи оптимизации выполним вначале на примере известных тестовых расчетных схем ферм. Для показанной на рисунке 1 расчетной схемы принята следующая исходная информация: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $R = 200$ МПа, вектор нагрузки $F_1 = [10; -20; 0; 0]^T$.

Принимая жесткости стержней 1-2 и 3-4 равными EA_1 , а остальных – EA_2 , найдем выражение для определения перемещения узла 2 по вертикали:

$$Z_2^{BEPT} = 174.883/EA_2 - (-1.18287 \cdot 10^{17} EA_1 - 8.19862 \cdot 10^{16} EA_2) / (1.33003 \cdot 10^{15} EA_1^2 + 9.10957 \cdot 10^{14} EA_1 EA_2 + 1. EA_2^2).$$

Контурный график (график равных высот) перемещения Z_2^{BEPT} показан на рисунке 2.

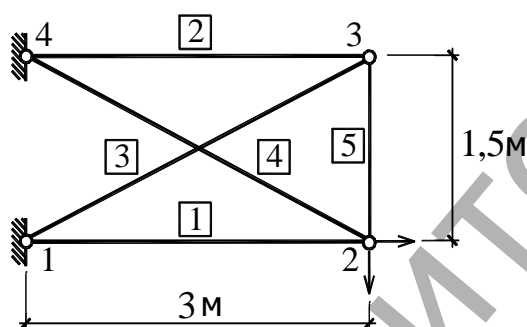


Рисунок 1

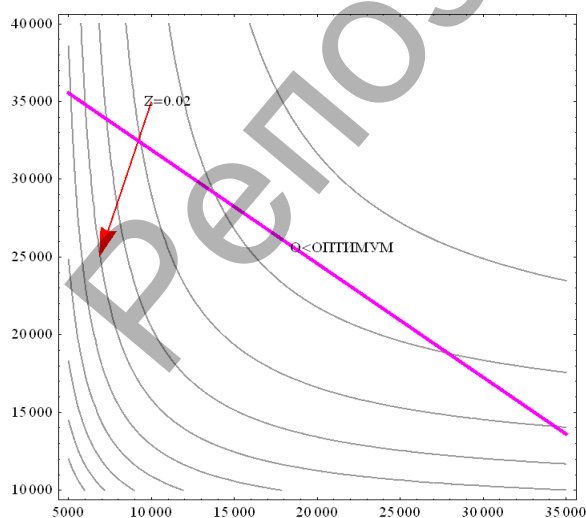


Рисунок 2

Предположим, что перемещение узла, равное $Z_2^{BEPT} = 0,02$ м, будет в этой задаче активным. Для активного ограничения Z_2^{BEPT} функциональная зависимость между жесткостями EA_1 и EA_2 описывается линией пересечения поверхности $Z_2^{BEPT} = f(EA_1, EA_2)$ и плоскости $Z_2^{BEPT} = 0.02$ м (рисунок 3).

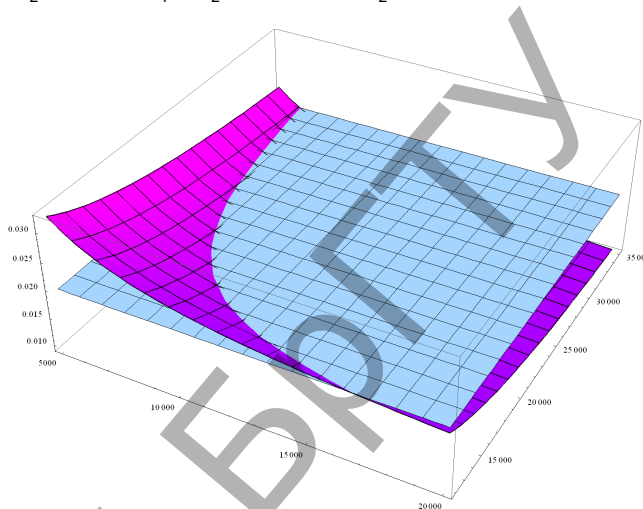


Рисунок 3

Для определения оптимальных значений жесткостей элементов (оптимальных значений площадей сечений, если материал для всех стержней один и тот же), в соответствии с физическим смыслом задачи оптимизации, можно записать систему из двух уравнений. Одним из них фиксируется максимальное перемещение Z_2^{BEPT} узла, предполагая, что это ограничение в оптимальном проекте наиболее активно. Второе уравнение – это уравнение прямой, соответствующей градиенту целевой функции $V = 6 \cdot A_1 + 8,2082 \cdot A_2$ (в этом примере $k_1 = dEA_2 / dEA_1 = -0.73098$, следовательно $k_2 = -1 / k_1 = 1.36803$). Решив систему, получим: $EA_1 = 10864$ кН, $EA_2 = 14863$ кН. Площади сечений равны: $A_1 = 5.432 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$, $A_2 = 7.4315 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$. Однако максимальное напряжение в некоторых стержнях фермы при этих площадях превышает расчетное.

Можно утверждать, что для систем с унифицированными (по площади сечений) стержнями такие особенности будут наблюдаться часто. При заданных малых значениях перемещений узлов (эти ограничения являются активными) показанный способ расчета, ориентированный на учет только ограничений по перемещениям, будет приводить к невыполнению условий прочности.

Если отслеживать ограничения по прочности, то надо иметь в виду следующее. Рассматриваемая расчетная схема фермы, при условии разделения жесткостей сечений стержней на две группы, имеет особенность: при одном и том же соотношении жесткостей усилия в системе остаются неизменными. Контурный график функции N_4 показан на рисунке 4. Усилие N_4 изменяется в интервале $23.5 < N_4 < 27.8$ (с точностью до 0.1). Подтверждением этому является график изменения напряжения в 4-м, наиболее напряженном, стержне (рисунок 5). На этом графике значения EA_1 изменяются в интервале [5000...20000], EA_2 – [12000...25000]. Горизонтальная плоскость соответствует напряжению $\sigma_{2-4} = 2 \cdot 10^5$ кН/м².

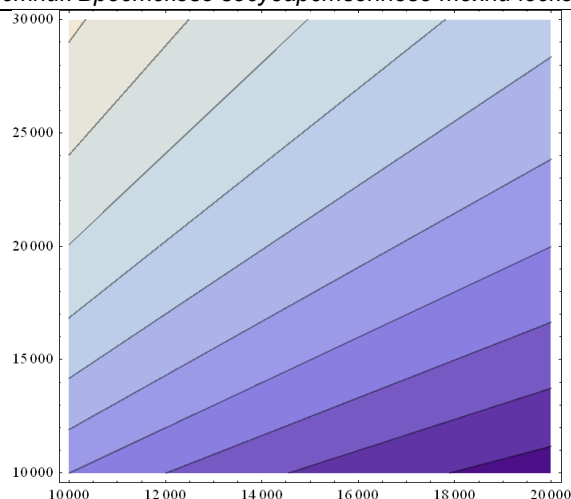


Рисунок 4

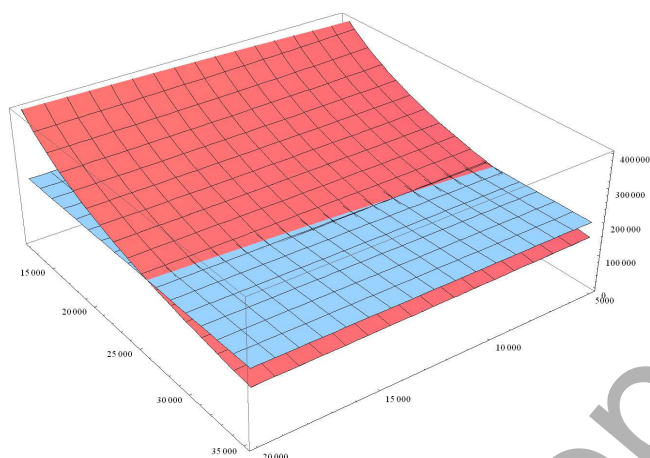


Рисунок 5

Принимая $dA_2 / dA_1 = 1,36803$ (угловой коэффициент прямой, соответствующий градиенту целевой функции) и напряжение в 4-м стержне равным расчетному сопротивлению $R = 2 \cdot 10^5$ кН/м², получим из решения системы уравнений значения жесткостей стержней: $EA_1 = 18683$ кН, $EA_2 = 25559$ кН. Соответствующие площади сечений равны: $A_1 = 9,3415 \cdot 10^{-5}$ м², $A_2 = 12,7795 \cdot 10^{-5}$ м². Объем материала $V = 16,0946 \cdot 10^{-4}$ м³. При этих значениях перемещение узла 4 по вертикали равно 0,012855 м. Напряжения в стержнях будут равны или меньше расчетных значений.

Рассмотрим особенности поиска оптимального проекта рассматриваемой системы в случае трех переменных. В первую группу включим стержни 1-2 и 3-4, во вторую – стержни 1-3 и 2-4, в третью – стержень 2-4. Направляющим вектором гиперплоскости, которой в рассматриваемом примере является плоскость, порождаемая функцией цели, является вектор $\vec{V} = [6,0; 6,7082; 1,5]^T$. Найдя выражения для определения перемещений узлов и усилий в стержнях, перейдем к определению оптимальных параметров исследуемой системы. Если ограничение на прочность по одному из стержней, например стержню 4, будет активным, то из решения системы трех уравнений (два других определяют направления градиента (или антиградиента) целевой функции) найдем площади сечений стержней и соответствующие им жесткости:

$$A1 = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, A2 = 1.3416 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, A3 = 0.3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$EA1 = 24000 \text{ кН}, EA2 = 26832 \text{ кН}, EA3 = 6000 \text{ кН}.$$

$$\text{Объем материала } V = 16.6497 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Напряжение в стержне 4 равно $\sigma_{2-4} = 200$ МПа, перемещение узла 2 по вертикали $Z_2^{BEPT} = 1.1 \cdot 10^{-2}$ м.

Если активным будет ограничение на перемещение узла 2 ($Z_2^{BEPT} = 0.02$ м), то из решения системы трех уравнений получим

$$A1 = 0.66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, A2 = 0.7379 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$A3 = 0.165 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$EA1 = 13200 \text{ кН}, EA2 = 14758 \text{ кН}, EA3 = 3300 \text{ кН}.$$

Однако напряжения в стержнях окажутся значительно больше расчетных значений.

Рассмотрим решение задачи о поиске оптимального решения для расчетной схемы фермы (известный тестовый пример [2]), показанной на рисунке 6. Переменные проектирования (площади сечений стержней) объединим в две группы: в первую группу включим стержни 1, 2, 3, 4; во вторую – все остальные. Примем модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, расчетное сопротивление на растяжение/сжатие $R = 200$ МПа. Вектор нагрузки $F = [0; -20; 0; -20; 0; 0; 0; 0; 0; 0]^T$ кН.

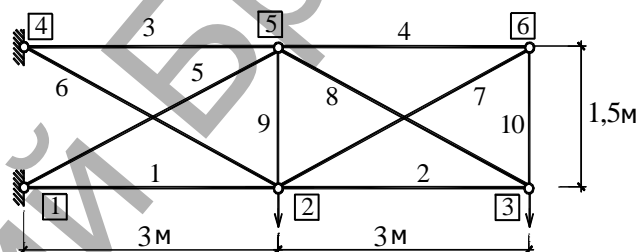


Рисунок 6

Функция цели (объем материала на изготовление фермы) имеет вид: $V = 12 \cdot A_1 + 16.4164 \cdot A_2$. Ограничение на перемещение узла 3 по вертикали примем равным (по модулю) $Z_3^{eepm} = 0.01$ м. Далее будет показано, что именно это ограничение в данной задаче будет активным.

Выражение для определения перемещения Z_3^{eepm} в случае двух переменных имеет вид:

$$Z_3^{eepm} = -(510.01/EA2) + (8.507 \cdot 10^{17} EA13 + 1.143 \cdot 10^{18} EA12 EA2 + 3.833 \cdot 10^{17} EA1 EA22 + 501.121 EA23) / (-5.452 \cdot 10^{14} EA14 - 7.328 \cdot 10^{14} EA13 EA2 - 2.457 \cdot 10^{14} EA12 EA22 + 1. EA24).$$

Контурный график функции Z_3^{eepm} показан на рисунке 7.

Граница области допустимых решений (ОДР) показана в виде линии пересечения поверхности Z_3^{eepm} и плоскости $Z_3^{eepm} = 0.01$ м (рисунок 8).

Эта же линия в виде зависимости $EA_2 = f(EA_1)$ показана на рисунке 9. С помощью аппроксимирующей функции $EA_2 = f(EA_1)$ получено оптимальное решение.

В точке оптимума производная неявно заданной функции $Z_3^{eepm}(EA1, EA2)$ равна $dEA2 / dEA1 = -0.0924616$.

Оптимальному решению соответствует точка с координатами $A_1 = 17.7276 \cdot 10^{-4}$ м², $A_2 = 4.55435 \cdot 10^{-4}$ м². Объем материала $V = 28.7497 \cdot 10^{-3}$ м³.

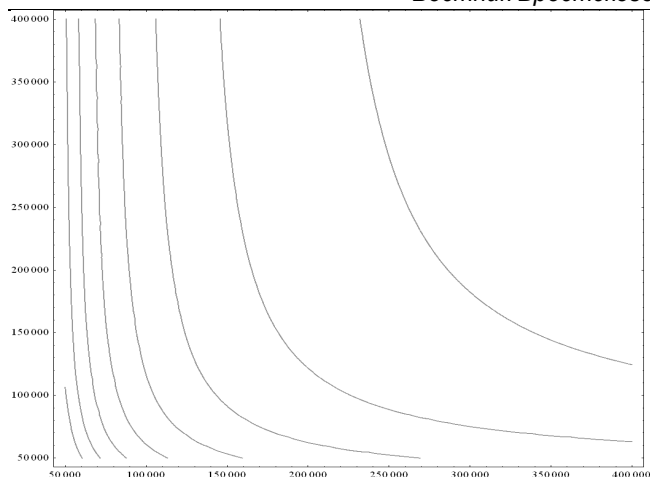


Рисунок 7

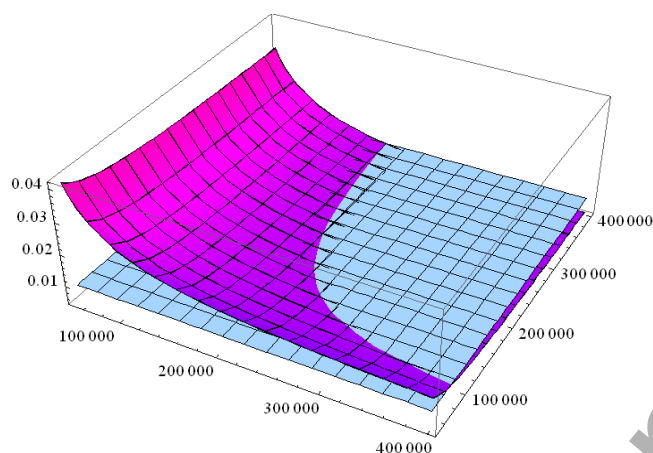


Рисунок 8

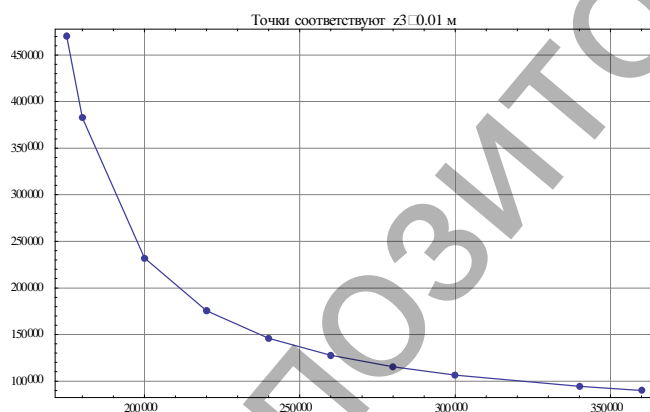


Рисунок 9

Нормальное напряжение в наиболее нагруженном стержне первой группы равно $\sigma_{1-2} = -45.51$ МПа, в наиболее нагруженном стержне второй группы – $\sigma_{2-4} = 99.86$ МПа. Здесь и далее записаны значения напряжений, вычисленные без учета коэффициента продольного изгиба, коэффициента условий работы и др. (коэффициенты не влияют принципиально на методику исследования).

Рассмотрим решение задачи о поиске оптимального решения для той же расчетной схемы фермы (рисунок 6) в случае объединения переменных проектирования (площади сечений стержней) в три группы: в первую группу включим стержни 1 и 2; во вторую – стержни 5 и 6; в третью – все остальные. Примем модуль упругости

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа, расчетное сопротивление $R = 200$ МПа. Вектор нагрузки $F = [0; -20; 0; -20; 0; 0; 0; 0]^T$ кН.

Функция цели (объем материала на изготовление фермы) имеет вид: $V = 6 \cdot A_1 + 6.7082 \cdot A_2 + 15.7082 \cdot A_3$. Ограничение на перемещение узла 3 по вертикали примем равным (по модулю) $Z_3^{perm} = 0.01$ м. Далее будет показано, что именно это ограничение в данной задаче будет активным.

В случае трех переменных перемещение определяется по выражению:

$$Z_3^{perm} = (EA_{32} (1.148 \cdot 10^{17} EA_{22} - 66.080 EA_2 EA_{32} - 185.754 EA_{32}) + EA_1 EA_3 (3.050 \cdot 10^{16} EA_{22} + 1.872 \cdot 10^{17} EA_2 EA_3 + 106.833 EA_{32}) + EA_{12} (1.434 \cdot 10^{15} EA_{22} + 3.448 \cdot 10^{16} EA_2 EA_3 + 3.737 \cdot 10^{16} EA_{32})) / (EA_3 (EA_1 EA_3 (-7.972 \cdot 10^{13} EA_{22} - 1.244 EA_2 EA_3 - 7.884 EA_{32}) + EA_{12} (-4.859 \cdot 10^{12} EA_{22} - 1.114 \cdot 10^{14} EA_2 EA_3 - 0.579 EA_{32}) + EA_{32} (1.501 EA_{22} + 2.744 EA_2 EA_3 + 1. EA_{32}))).$$

Рассмотрим движение поисковой точки вдоль вектора градиента целевой функции до пересечения с границей ОДР. С этой целью запишем и решим систему из трех уравнений, в которой одно уравнение будет соответствовать равенству $Z_3^{perm} = 0.01$ м, а два других будут определять соотношения компонент переменных проектирования по направлению вектора градиента функции цели. Решив систему уравнений (нелинейных) получим $A_1 = 9.2631 \cdot 10^{-4}$ м², $A_2 = 10.3564 \cdot 10^{-4}$ м², $A_3 = 24.2511 \cdot 10^{-4}$ м².

Движение точки вдоль границы ОДР с целью уменьшения значения целевой функции можно осуществить различными способами.

В настоящей работе изменение координат точки производится в соответствии с "весами" компонент целевой функции при поддержании условия $Z_3^{perm} \leq 0.01$ м. Процесс является итерационным. На конечной стадии вычислений надо получить такие значения ПП, при которых бы незначительные изменения переменных, влекущие уменьшение значения функции цели, не приводили бы к нарушению условия $Z_3^{perm} \leq 0.01$ м. В данной задаче оптимально соответствуют следующие значения переменных:

$$A_1 = 11.25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, A_2 = 11.3385 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, A_3 = 6.9955 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Объем материала $V = 25.3448 \cdot 10^{-3}$ м³. Напряжение в наиболее нагруженном стержне первой группы равно $\sigma_{1-2} = -71.8$ МПа, в наиболее нагруженном стержне второй группы – $\sigma_{2-4} = 40.2$ МПа, в наиболее нагруженном стержне третьей группы – $\sigma_{3-5} = 33.5$ МПа.

Изложенный в статье подход к поиску оптимальных параметров ферм может быть распространен и на конструкции других типов. Современные компьютерные технологии позволяют преодолеть возникающие вычислительные трудности.

Заключение. Использование в расчетах конструкций общих уравнений строительной механики в сочетании с системами компьютерной математики позволяет получить в символьном виде выражения для отдельных переменных состояния, что существенно облегчает поиск оптимального проекта конструкции.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие для вузов / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Минск: БНТУ, 2009. – 756 с.
2. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции: Пер. с англ. – Москва: Мир, 1983. – 478 с.

Материал поступил в редакцию 29.03.2017

УДК 692.4

Черноуван В.Н., Черноуван Н.В., Черноуван А.В.

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВМЕЩЕННЫХ УТЕПЛЕННЫХ РУЛОННЫХ КРОВЕЛЬ

Совмещенные утепленные рулонные кровли с прямым размещением слоев составляют основной объем кровель жилых эксплуатируемых и возводимых зданий. Применение плитных утеплителей и наплавляемых рулонных кровельных материалов с защитной заводской посыпкой позволили существенно снизить затраты на устройство совмещенных утепленных рулонных кровель. На сегодня стоимость их возведения почти на 15% ниже, чем скатных кровель.

Однако, как показывает практика, уже по истечению 3...5 лет эксплуатации, совмещенные утепленные рулонные кровли нуждаются в текущем ремонте – ликвидации протечек. Этот ремонт, как правило, сводится к наклейке дополнительных слоев рулонного водоизоляционного материала на участках возникших протечек кровли [1]. Анализ результатов выполненных натурных обследований эксплуатируемых утепленных совмещенных рулонных кровель по оценке их технического состояния [2], позволил сделать вывод, что основными причинами, приводящими к появлению в них протечек, являются:

- деструкция (разрушение) битумного вяжущего в водоизоляционном рулонном материале водоизоляционного ковра от ультрафиолетового излучения (солнечной радиации) на участках кровли, где отсутствует защитный слой;
- появление и разрыв воздушных мешков кровельного рулонного ковра в результате увеличения влажности материала теплоизоляционного слоя в процессе эксплуатации кровли.

На сегодня проблема снижения разрушительного воздействия ультрафиолетового излучения на битумное вяжущее рулонного водоизоляционного материала (деструкцию) на практике эффективно решается за счет применения защитных посыпок. Массовое применение в качестве заводской защитной посыпки получило дешевое покрытие из асбазгеля. Однако, как показали натурные исследования, в течение 5...6 лет эксплуатации совмещенных кровель слой защитной заводской посыпки практически полностью разрушается на участках кровли с большими уклонами – у водопримемных воронок. В связи с этим, рекомендуется на участках кровель с большими уклонами применять для наплавляемых кровельных рулонных материалов заводскую защитную посыпку из минеральных пород: кровельный спанек, базальтовые гранулы и др [3].

Учитывая, что технологии восстановления разрушенной защитной посыпки (слоя) на эксплуатируемых кровлях достаточно просты и накопленный опыт их массового применения позволяет говорить об их эффективности, техническую часть проблемы обеспечения эксплуатационных характеристик рулонного водоизоляционного материала на битумном вяжущем от деструкции можно считать решенной [1]. Очевидно, что своевременность ее решения полностью зависит от четкого исполнения нормативных документов, регламентирующих требования по эксплуатации совмещенных рулонных кровель.

Если основные требования по части кровельных водоизоляционных материалов определены нормативными документами [4, 5, 6] то, что касается утеплителей, требования по их выбору для устройства кровель в качестве теплоизоляционного слоя совмещенных кровель, в действующих нормативных документах не регламентируются.

На сегодняшний день нет понимания того, что утеплители, рас-

положенные в кровельных слоях, находятся в чрезвычайно сложных режимах эксплуатации. Прежде всего, это увлажнение теплоизоляционного материала парами воздуха, который поступает через конструкцию совмещенного покрытия здания, какой бы эффективной не была пароизоляция. Кроме того, увлажнение утеплителя происходит в процессе производства кровельных работ. В результате увлажнения теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов существенно снижаются.

Теплоизоляционный слой совмещенных кровель, в процессе эксплуатации подвергается циклическим нагрузкам (снег), которые создают в материале утеплителя напряжения сжатия. Сосредоточенные нагрузки (вес кровельщика с инструментом) действующие на материал теплоизоляционного слоя, как в процессе устройства кровли, так при ее ремонте, так же приводят к повреждениям пористой структуры утеплителей. В результате полученных деформаций плотность материала утеплителей возрастает, что так же отрицательно сказывается на их эксплуатационной эффективности.

За весь период массового возведения совмещенных утепленных кровель (а это более 50 лет) в качестве теплоизоляционного слоя были применены различные утеплители. Наибольший объем кровель был возведен с использованием следующих утеплителей:

- засыпные (гравий керамзитовый, аглопорит, перлит);
- плитные (газосиликатные блоки, минераловатные плиты на битумном связующем, арболит, плиты фибролитовые и др.).

Результаты проведенных натурных исследований показали. После эксплуатации в течение 20...25 лет в качестве утеплителя совмещенных кровель влажность гравия керамзитового достигла почти 20%, а теплотехнические характеристики материала снизились почти на 40% по сравнению с расчетами [7].

Пробы отобранные из газосиликатных блоков, из вскрытых совмещенных кровель, эксплуатируемых в течение 15...20 лет, показали:

- плотность материала составляет 600...650 кг/м³;
- весовая влажность материала утеплителя достигает почти 35%. Техническое состояние газосиликатных блоков можно оценить как «неудовлетворительное» – силикат перешел в вязкую массу [7].

Выполненные детальные обследования совмещенных кровель с утеплителем из минераловатных плит на битумном связующем, эксплуатируемых в течение 15...20 лет [7], показали:

- фактическая (зафиксированная) плотность материала утеплителя составляет от 350 кг/м³ до 450 кг/м³. Следует отметить, что первоначальная максимальная плотность плит не превышала 200 кг/м³;
- коэффициент теплопроводности увеличился почти на 40% по сравнению со значениями, определенными нормативными документами [8];
- толщина слоя утеплителя уменьшилась на 40...45% по сравнению с первоначальной.

С учетом выше изложенного, можно сделать вывод, что срок эффективной эксплуатации массово применяемых в 1965...1990 гг. утеплителей составляет 15...20 лет.

В последние 10...15 лет в качестве теплоизоляции при устройстве совмещенных утепленных рулонных кровель массово применяются плитные утеплители: полимерный плитный утеплитель (пе-

Черноуван Вячеслав Николаевич, к.т.н., профессор, профессор кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета

Черноуван Николай Вячеславович, к.т.н., доцент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.