

где  $\dot{L}$  – мощность внешней нагрузки с учётом скоростей виртуальных перемещений;  $\dot{D}$  – мощность внутренних сил с учётом скоростей виртуальных деформаций, кинематически связанных со скоростями перемещений внешней нагрузки.

Мощность внешней нагрузки  $P_j$  с учётом скоростей перемещений  $U_j^*$  определяется по формуле

$$\dot{L} = \int_A P_j U_j^* dA, \quad (2)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения балки.

Внутренние усилия  $Q_i$  определяют предельное состояние в виде

$$\dot{D} = Q_i \dot{q}_i^*. \quad (3)$$

Зависимости (1), (2) можно преобразовать и представить в виде

$$\dot{L} = \int_0^{l_0} q(x) \dot{w} dx, \quad (4)$$

где  $l_0$  – пролёт балки;  $q(x) = q$  – равномерно распределённая внешняя нагрузка;  $w$  – виртуальные перемещения точки  $C$  (половина полёта балки);  $\dot{w}$  – скорость виртуальных перемещений.

Мощность внутренних сил с учётом виртуальных деформаций  $\dot{\varphi}$ , связанных со скоростями перемещений  $\dot{w}$ ,

$$\dot{D} = M_{gr}^A \dot{\varphi}_A + M_{gr}^B \dot{\varphi}_B + M_{gr}^C \dot{\varphi}_C. \quad (5)$$

Зависимость (5) можно представить в виде

$$\dot{D} = 2M_{gr}^A \dot{\varphi}_A + M_{gr}^C \dot{\varphi}_C, \quad (6)$$

где  $\dot{\varphi}_A = \frac{2\dot{w}_0}{l_0}$ ,  $\dot{\varphi}_C = 2\dot{\varphi}_A$ .

После вычисления получим следующие значения и условие

$$\dot{L} = 17,60\dot{w}_0 < \dot{D} = 19,56\dot{w}_0,$$

свидетельствующие об удовлетворении предельного состояния несущей способности. Проведены также натурные испытания пробной нагрузкой. Результаты пробной нагрузки подтвердили положительную оценку несущей способности перекрытия. В польских нормативных документах PN-B-03264:2002 не предусматривается применение пробной нагрузки в железобетонных строительных конструкциях. В 1997 году в ИТВ (Институт строительной техники) в Варшаве разработана методика проведения пробных нагрузок и критерии оценки их результатов. Представленная в настоящей работе процедура является эффективной и может быть использована при оценке несущей способности других выполненных железобетонных конструкций и элементов.

УДК 666.973:678.02

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ТЕПЛОГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОПОЛИМЕРБЕТОНА

А. Г. ТАШКИНОВ

*Белорусский государственный университет транспорта*

Исследование свойств и оптимизация состава пенополимербетона, получаемого совмещением каркаса из крупнопористого керамзитбетона со вспенивающейся эпоксидной композицией, производились методом математического планирования эксперимента. Критериями оптимизации пенополимербетона, как материала, предназначенного для внутренней облицовки пропарочных камер

для ускоренного твердения железобетонных изделий, были выбраны: прочность при сжатии и изгибе ( $Y_1$  и  $Y_2$ , МПа), расход вспенивающейся эпоксидной композиции для заполнения межзерновых пустот ( $Y_3$ , кг/м<sup>3</sup>) и водопоглощение ( $Y_4$ , % объема). Если расход эпоксидной пеномассы, являющейся самым дорогим компонентом пенополимербетона, определяет его стоимость, то величина водопоглощения позволяет оценить долговечность и стабильность теплофизических характеристик материала в условиях эксплуатации. Для приготовления образцов использовался керамзитовый гравий фракции 5 – 10 мм с насыпной плотностью 500 кг/м<sup>3</sup>. Склеивание зерен гравия в крупнопористый каркас осуществлялось эпоксидно-фурановым связующим.

К основным факторам, определяющим изменчивость оптимизируемых параметров, отнесены расход эпоксидно-фуранового связующего в крупнопористом каркасе пенополимербетона ( $X_1$ ), расход газообразователя в связующем ( $X_2$ ) и средняя плотность эпоксидной пеномассы в межзерновых пустотах каркаса ( $X_3$ ). Условия планирования эксперимента приведены в таблице 1.

Для постановки экспериментов использовали центральный композиционный план Бокса, поскольку поверхности второго порядка легко поддаются систематизации и исследованию на экстремум.

После обработки результатов опытов и статистического анализа получены уравнения регрессии:

$$Y_1 = 9,3 + 1,01X_1 - 1,03X_2 + 2,77X_3 - 0,72X_1^2 - 1,62X_2^2 + 0,28X_3^2 - 0,78X_2X_3;$$

$$Y_2 = 4,2 + 0,27X_1 - 0,45X_2 + X_3 - 0,04X_1^2 - 0,74X_2^2 + 0,01X_3^2 - 0,2X_1X_3 - 0,63X_2X_3;$$

$$Y_3 = 100,1 - 5,8X_1 - 5,5X_2 + 42,2X_3 - 2,3X_1X_3 - 2X_2X_3;$$

$$Y_4 = 9,2 - 14,2X_3 + 8,9X_3^2.$$

Таблица 1

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
расход связующего, кг/м <sup>3</sup>	$X_1$	50	75	100	25
расход газообразователя ГЖ-94, % от массы смолы ЭД-20 в связующем	$X_2$	0	30	60	30
средняя плотность пеномассы, кг/м <sup>3</sup>	$X_3$	180	280	380	100

Чтобы обеспечить пенополимербетону высокие теплотехнические свойства, позволяющие отнести его к классу материалов средней теплопроводности, расход пеномассы ограничивается пределами 110-160 кг/м<sup>3</sup>. При этом средняя плотность материала с каркасом из Витебского керамзита и содержащим связующее в количестве 50 кг/м<sup>3</sup> не превышает 600-610 кг/м<sup>3</sup>, а коэффициент теплопроводности – 0,115 Вт/м·°С. Поглощение пенополимербетоном воды в количестве до 10 % практически не влияет на его теплотехнические и прочностные характеристики и оценивается как «отличное». Вдвое большее водопоглощение, снижающее прочность пенополимербетона на 15 – 20 %, принято предельным для обеспечения удовлетворительных гидроизоляционных свойств материала. Требования по прочности к пенополимербетону приняты на уровне лёгких бетонов конструкционно-теплоизоляционного назначения.

Для каждого из параметров качества определялись оптимальные условия. При этом использовался диссоциативно-шаговый метод с выделением квазиоднофакторных моделей.

Графическая интерпретация полученных моделей в виде трёхмерных диаграмм позволила сделать следующие выводы:

а) с увеличением расхода эпоксидно-фуранового связующего в каркасе ( $X_1$ ) возрастают прочностные характеристики пенополимербетона ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ) и уменьшается расход вспенивающейся эпоксидной композиции ( $Y_3$ );

б) экстремальный характер имеет зависимость прочности материала от содержания газообразователя в связующем ( $X_2$ ). С ростом  $X_2$  сокращается расход пеномассы за счёт уменьшения пустотности каркаса пенополимербетона;

в) возрастание средней плотности эпоксидной пеномассы ( $X_3$ ) вызывает увеличение её расхода, рост прочности и снижение водопоглощения пенополимербетона;

г) величина водопоглощения материала определяется только средней плотностью пеномассы, используемой для пропитки крупнозернистого каркаса.

Для поиска компромиссного решения использовался графоаналитический метод.

Найденные оптимальные условия изготовления пенополимербетона позволили получить материал с прочностью при сжатии 7,5 – 8,0 МПа, при изгибе 3,7 – 3,9 МПа, с расходом эпоксидной пеномассы 104-110 кг/м<sup>3</sup> и с водопоглощением 8 – 10 % объема. По сравнению с исходным (основным) составом оптимальная рецептура пенополимербетона имеет следующие преимущества:

- а) на 4 % уменьшился расход эпоксидной смолы для приготовления материала;
- б) водопоглощение снизилось на 12 %;
- в) расход связующего в крупнозернистом каркасе пенополимербетона сократился на 30 %.

Благодаря внутреннему каркасу из склеенных между собой гранул пористого заполнителя, прочность пенополимербетона при сжатии оказалась в 1,5 – 2 раза выше, чем у композиционных пенопластов, получаемых по традиционной технологии. При равной прочности с композиционными пенопластами расход пеномассы для пенополимербетона в 1,4 – 2,0 раза меньше (на 45 – 70 кг/м<sup>3</sup>).

Разработанный пенополимербетон обладает также рядом преимуществ перед ненаполненными эпоксидными пенопластами, равноплотными пеномассе его межзернового заполнения, поскольку имеет:

- расход эпоксидной пеномассы в среднем в 2 – 2,2 раза меньше;
- более высокую прочность;
- меньшие значения удельной теплоемкости, тепловой усадки, КЛТР.

УДК 681.518

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДОМ

В. Б. ЧМЫХОВ

*Управление архитектуры и градостроительства Гомельского горисполкома*

В современных условиях для управления городом необходимо иметь комплексную интегрированную систематизированную информацию, которую можно было бы быстро анализировать и наглядно представлять. Несмотря на сложную социально-экономическую ситуацию в стране, г. Гомель ориентирован на развитие и освоение новых прогрессивных наукоемких и информационных технологий во всех сферах жизнедеятельности.

В рамках стратегии развития города, понимая определяющую роль информационных технологий и инноваций в социально-экономических преобразованиях, Гомельский горисполком ведет комплекс работ по созданию муниципальной геоинформационной системы (ГИС).

Основой геоинформационной системы является электронная карта города, построенная в единой системе координат. В г. Гомеле, как и в любом крупном городе, много разнородной, не всегда точной и достаточной информации о территории. В управлении архитектуры и градостроительства горисполкома имеется архив старых традиционных планшетов масштаба 1:500 разного качества. Эти материалы были взяты за основу для формирования единого цифрового геофонда с обязательной их полевой проверкой и обследованием. ГИС г. Гомеля состоит из базы геоданных, включающей в себя растровую подложку масштаба 1:500, цифровую модель местности, графическую и семантическую информацию; отдельных ГИС-проектов. База геоданных и ГИС-проекты расположены на сервере. Различные пользователи имеют разные права доступа к ГИС-проектам и базе геоданных через локальную сеть.

ГИС г. Гомеля предназначена для формирования на базе оцифрованной и сертифицированной картографической информации векторной многослойной картографической подложки с возможностью подключения необходимых программ обработок любых территориально-распределенных статистических и динамических величин из баз данных пользователя и с отображением на полученной картографической подложке этих величин и результатов их обработок.

Программные средства обеспечивают: