

Нулевая итерация – есть решение задачи в линейной постановке. Для решения поставленной задачи во втором и последующих приближениях необходимо в центре каждой ячейки вычислить напряжения.

В общем виде выражение интенсивности деформаций:

$$\varepsilon_j^{(m-1)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x^{(m-1)} - \varepsilon_y^{(m-1)})^2 + \varepsilon_y^{(m-1)^2} - \varepsilon_x^{(m-1)^2} + \frac{3}{2} \gamma_{xy}^{(m-1)^2}}. \quad (4)$$

Таким образом, нелинейный расчет закладной детали узла сопряжения предполагает итерационный процесс, который заканчивается, как только разница между последующим и предыдущим приближением исследуемой функции будет соответствовать требуемой точности решения.

В рассматриваемой работе автором предложено вариационно-разностным методом реализовывать решение задачи о расчете закладной пластины узла сопряжения. Построен алгоритм расчета и апробирован в проприетарной системе компьютерной алгебры МАТНЕМАТИСА. Приведены дифференциальные соотношения полной потенциальной энергии несущего элемента узла сопряжения (закладной пластинки).

Список литературы

1 **Козунова, О. В.** Нелинейный расчет фундаментных плит на слоистых основаниях, ослабленных биогенными включениями / О. В. Козунова // Вестник гражданского инженеров. – 2009. – № 2 (19). – С. 100–104.

2 **Козунова, О. В.** Вариационно-разностное исследование НДС пластины как закладной детали опорного узла в нелинейной постановке / О. В. Козунова, А. А. Васильев, К. А. Сирош // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2017. – Вып. 10. – С. 171–176.

3 **Рындин, Н. И.** Краткий курс теории упругости и пластичности / Н. И. Рындин. – Л. : Изд-во Ленинград. университета, 1974. – 174 с.

4 **Александров, А. В.** Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 398 с.

5 **Фихтенгольц, Г. М.** Основы математического анализа : учеб. в 2 т. Т. 1 / Г. М. Фихтенгольц. – СПб. : Лань, 2001. – 448 с.

6 **Дураев, А. Е.** Расчет методом конечных разностей прямоугольных плит, лежащих на грунтовом основании, модуль деформации которого изменяется с глубиной / А. Е. Дураев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1971. – № 4. – С. 32–34.

7 **Босаков, С. В.** Метод Ритца в контактных задачах теории упругости : [монография] / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ, 2006. – 107 с.

УДК 699.86

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЛИВОЧНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

А. Г. ТАШКИНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Широкое применение в современном строительстве находят пенопласты, обладающие низкими значениями плотности, тепло- и звукопроводности. Высокой прочностью и химической стойкостью, теплостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами и адгезией ко многим материалам, низкой водо- и паропроницаемостью характеризуются эпоксидные пенопласты (пеноэпоксиды). Высокой технологичностью обладают заливочные композиции, которые могут приготавливаться непосредственно на строительной площадке путем смешения эпоксидных диановых смол ЭД-20 и ЭД-16 с полиэтилгидросилоксаном (газообразователем) и алифатическим полиамином (отвердителем). От содержания газообразователя и отвердителя зависит объем выделяющегося газа и скорость отверждения пеномассы, а следовательно, и свойства получаемых пеноэпоксидов. Высокие физико-механические показатели пенопластов с мелкопористой равномерной структурой получаются при большой скорости гелеобразования. Быстрая фиксация ячеистой структуры приводит к тому, что относительно толстые и прочные полимерные перегородки в процессе вспенивания препятствуют раскрытию ячеек. Изменяя расход газообразователя в пределах от 5 до 25 % и отвердителя от 15 до 20 % от массы эпоксидной смолы (ЭД-20), удалось получить пенопласты равномерной структуры со средней плотностью 100–250 кг/м³ и прочностью при сжатии 0,4–5,3 МПа [1].

Для оценки тепловых свойств эпоксидных пенопластов исследовались: формостабильность, теплостойкость и термостойкость при температурах до 100 °С [2].

Формостабильность оценивалась по остаточным тепловым деформациям пенопластов (тепловой усадке). При нагреве характер деформирования пеноэпоксидов обуславливается несколькими процессами, протекающими в материале:

- увеличением давления газа в ячейках и его диффузией в окружающую среду;
- размягчением полимера-основы;
- доотверждением, повышением прочности и газонепроницаемостью материала;
- усадочными процессами в полимере.

В результате исследований были установлены численные зависимости тепловой усадки от рецептурных факторов и скорости нагрева. Для образцов со средней плотностью 170–250 кг/м³ изменение линейных размеров составило допустимые 0,1–0,9 %.

Для определения теплостойкости образцов использовались испытательная машина МРС-500 с термокриокамерой, с помощью которой определялась прочность пеноэпоксидов при сжатии в температурном диапазоне от 20 до 100 °С. У пенопластов, твердевших при комнатной температуре, из-за недостаточной степени отверждения эпоксидного полимера (65–70 %) сжатие при нагреве вызывает не хрупкое разрушение ячеек, а их смятие. В результате прочность пеноэпоксидов при 100 °С составляет всего 18–25 % от значений, полученных для контрольных образцов при комнатной температуре. Предварительно термообработанные эпоксидные пенопласты сохраняют 60–70 % прочности при температуре испытания 80 °С и 50–60 % при температуре 100 °С.

Термостойкость (стойкость к термическому старению) эпоксидных пенопластов оценивалась по изменению физико-механических характеристик после длительного воздействия повышенных температур (100 °С). К числу главных факторов, влияющих на термостойкость пенопластов, можно отнести: термостабильность полимера-основы и параметры ячеистой структуры (плотность, пористость, степень замкнутости ячеек). В качестве контролируемых параметров использовались: прочность при сжатии (достаточно чувствительна к изменению структуры пенопласта) и изменение массы.

Снижение прочности образцов после прогрева в ходе испытаний составило всего 5–7 %, а потеря массы 0,3–0,5 %, что свидетельствует о достаточной прочности ячеистой структуры пенопластов к перепадам давления при повышенных температурах и о низкой скорости термоокислительной деструкции полимера-основы.

На стадии вспенивания эпоксидных пенопластов и отверждения (6 часов при температуре 80 °С) производили контроль выделения летучих компонентов (таблица 1). Отбор проб воздуха проводился в интервалах: 30 мин, 1, 2, 3, 4, 5 ч, а также за первые и вторые сутки и спустя месяц после его изготовления.

Таблица 1 – Выделения химических веществ на стадиях изготовления эпоксидных пенопластов (масса вспенивающейся композиции – 195 г)

Стадия технологического процесса	Выделяющиеся вещества					
	эпихлоргидрин		этилендиамин		толуол	
	мг	мг/г	мг	мг/г	мг	мг/г
На стадии вспенивания в течение 15 мин	<u>0,22–0,36</u> 0,29	1657,14	<u>032-035</u> 033	18857	<u>0,025–0027</u> 0026	148,57
В течение 30 мин от начала нагрева образца (t = 80 °С)	<u>0,11–0,22</u> 0,17	971,43	–	–	<u>0,015–0041</u> 0028	160,0
В интервале нагрева 30 мин – 1 ч 30 мин	<u>0,23–0,46</u> 0,35	2000	–	–	<u>0,020–0,034</u> 0,027	154,29
В интервале нагрева 1 час 30 мин – 2 ч 30 мин	<u>0,21–0,35</u> 0,28	1600	–	–	<u>0,018–0,026</u> 0,023	131,43
В интервале нагрева 2 ч 30 мин – 3 ч 30 мин	<u>0,13–0,17</u> 0,15	857,14	–	–	<u>0,016–0,019</u> 0,018	102,86
В интервале нагрева 3 часа 30 мин – 4 ч 30 мин	<u>0,094–0,144</u> 0,118	674,29	–	–	<u>0,010–0,017</u> 0,014	80,0
В интервале нагрева 4 ч 30 мин – 5 ч 30 мин	<u>0,48–0,055</u> 0,052	297,14	–	–	<u>0,010–0,012</u> 0,011	62,86
Количество выделяемых веществ за 5 ч 30 мин	<u>1,385–1,537</u> 1,461	8348,57	–	–	<u>0,125</u> 0,168	960,0
На стадии распалубки в течение 1 ч (t = 80...40 °С)	<u>0,022–0,027</u> 0,024	137,14	–	–	<u>0,005–0,007</u> 0,006	34,29
Спустя сутки после изготовления, выделения в течение суток	<u>0,021–0,037</u> 0,029	165,71	–	–	<u>0,004–0,007</u> 0,006	34,29
Спустя 2 суток после изготовления, выделения в течение суток	<u>0,013–0,024</u> 0,018	102,86	–	–	<u>0,002–0,005</u> 0,003	17,14
Через месяц от начала изготовления	<u>0,012–0,018</u> 0,015	85,71	–	–	<u>0,002–0,003</u> 0,002	11,43

Как видно из приведенных данных, на стадии приготовления пенопластов в воздушную среду выделяются эпихлоргидрин, этилендиамин и толуол. На стадии термообработки – эпихлоргидрин и толуол.

Спустя месяц с момента изготовления образца он продолжает выделять в воздушную среду за сутки эпихлоргидрина от 0,012 до 0,018 мг, толуола от 0,002 до 0,003 мг.

В целом выделение упомянутых вредных веществ незначительно и не может быть причиной загрязнения воздушной среды выше предельно допустимых уровней и вызывать заболеваемость, обусловленную производственными факторами.

Список литературы

1 А. с. № SU1289843 СССР, МПК С04В14/02. Способ получения теплоизоляционных изделий / В. И. Соломатов, Ю. Д. Золотухин, А. Г. Ташкинов. – № 3839891 ; заявл. 15.01.1985 ; опубл. 15.02.1987. Бюл. № 6. – 1987.

2 **Ташкинов, А. Г.** Оценка стойкости эпоксидных пенопластов, эксплуатируемых в условиях высоких температур и влажности / А. Г. Ташкинов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 111–112.

УДК 69.059.7:72.02

АНАЛИЗ ОПЫТА АДАПТАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПОД ГИДРОПОННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ФЕРМЫ

Т. С. ТИТКОВА, А. В. ТАЧИЛКИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Вертикальное фермерство – относительно новое направление городского сельского хозяйства, которое начало активно развиваться в последние десятилетия. Концепция предполагает культивирование растений в многоуровневых закрытых зданиях с контролируемой средой на территориях городских районов в условиях дефицита доступной земли.

Начиная с Японии и Сингапура, характеризующихся значительным уровнем развития технологического сектора и высокой плотностью населения, современные вертикальные тепличные комплексы стали актуальным направлением в сельском хозяйстве. Этот инновационный способ выращивания растений, основанный на применении передовых инженерных, климатических и информационно-технологических решений, привлек внимание профессионалов и интересующихся этой областью по всему миру [4].

Однако, задолго до возникновения современных вертикальных ферм, архитектурная практика уже разработала ряд методов и принципов, которые воплощали идею взаимосвязи между архитектурой и природой [2]. Еще древние цивилизации использовали гидропонические методы выращивания растений: чинампы ацтеков, древнекитайские плавучие острова, висячие сады Семирамиды.

Гидропоника, какой мы ее знаем, появилась из открытий, сделанных во время экспериментов, проводимых для определения состава растений, еще в начале XVII века. Позже над идеями гидропоники работали такие ученые как Дж. Пристли, Жан Инджен-Уш, Ю. фон Закс, Г. Эллис Бэйли, Уильям Ф. Герике, Говард Реш, Д. Деспоммьер и др. [3].

Благодаря исследованиям и работам ученых по совершенствованию методов беспочвенного выращивания растений, сегодня гидропоника получила широкое признание и активно практикуется во многих странах, включая Россию, Нидерланды, Голландию, Италию, Испанию, Объединенные Арабские Эмираты, Израиль, Китай, Корею и Австралию. Активно разрабатываются новые революционные решения в сельском хозяйстве – вертикальные гидропонные фермы. Растущий интерес к ним обусловлен существенными изменениями, связанными с будущим экологическим кризисом и недостатком сельскохозяйственных земель из-за роста числа населения. Прогнозируется, что к 2050 году население планеты увеличится в 1,2 раза, дойдя до отметки в 9,7 миллиардов человек, что значительно повысит объемы продовольствия для обеспечения потребностей населения. Вертикальные гидропонные фермы предлагают оптимальное решение этой проблемы путем получения высоких урожаев различных культур при минимально занимаемых ими территориях [2].

Фермы представляют собой высокоавтоматизированные многоэтажные теплицы. Используя технологию беспочвенного выращивания, растениям обеспечиваются оптимальные условия: пита-