

2. Мордич А.И., Белевич В.Н., Симбиркин В.Н., Навой Д.И. Опыт практического применения и основные результаты натурных испытаний сборно-монолитного каркаса БелНИИС// Бюллетень строительной техники №8, 2004, с.8-12.
3. ГОСТ 30247.1-94 Испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.

УДК 624.075:539.376

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

*Мустафа Ахмед, аспирант  
Запорожская государственная инженерная академия*

Эффективность современного строительства может быть повышена за счет оптимального сочетания таких традиционных материалов, как железобетон, сталь со сравнительно новыми материалами – полимерными композитами. На основе экспериментально-статистического моделирования установлено [2], что оптимальная «полимероемкость» конструкций в гражданском строительстве должна составлять 10...15%. Для промышленного строительства этот показатель в среднем должен быть выше. Наиболее эффективно применение полимерных композитов в конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных средах – объектах химической промышленности, в цветной и черной металлургии, в сельском хозяйстве.

В настоящее время в строительстве производственных зданий и сооружений цветной металлургии ведущая роль принадлежит металлическим конструкциям, эксплуатируются сотни тысяч тонн металлоконструкций. Годовые затраты на противокоррозионную защиту в бывшем СССР составляли 20 млн руб., а общие прямые убытки – около 60 млн руб/год [3]. При этом наблюдается тенденция к ежегодному росту потерь от коррозии и затрат на противокоррозионную защиту в отрасли.

Одно из направлений снижения затрат на противокоррозионную защиту – внедрение конструкций из полимерных композитов. При этом представляется перспективным как сочетание композитов с традиционными материалами, так и частичная замена стальных конструкций на конструкции из полимерных композитов.

Среди полимерных материалов, обладающих довольно высокой прочностью и способных конкурировать со сталью, являются стеклопластики. По стоимости стеклопластики дороже стали. Однако, если учесть приведенные затраты на противокоррозионную защиту конструкции, эксплуатируемой, например, в сильноагрессивной среде, где защитные покрытия выходят из строя, как правило, через 1...3 года [3], то, очевидно, эффективность применения стеклопластиков увеличится.

Главный недостаток пластмасс – низкий модуль упругости и обусловленная этим высокая деформативность материала. Поэтому наиболее

эффективны пластмассы для изготовления пространственных несущих систем, обладающих жесткостью за счет их конфигурации: оболочек, складок, куполов. На наш взгляд, представляют практический интерес конструкции в виде настилов, т.е. плит из полимерных листов, подкрепленных в двух направлениях ребрами. Такие настилы можно применять в качестве элементов покрытия в неотапливаемых зданиях при агрессивности производственной среды от средне – до сильноагрессивной (например, общезаводская среда комбинатов цветной металлургии), где в соответствии с Нормами нельзя применять стальные оцинкованные профилированные листы. При опирании настилов на прогоны создаются условия для работы настила по неразрезной схеме, что увеличит его жесткость и выровняет напряжения.

Характерной особенностью полимерных композитов является нестабильность свойств во времени. Это качество проявляется в двух явлениях: старении и ползучести; расчеты конструкций из полимерных композитов в качестве одного из основных параметров должны содержать параметр времени, т.е. конструкция должна рассчитываться на определенный срок службы, а расчетный аппарат должен быть нацелен на прогнозирование напряженно-деформированного состояния конструкции.

Для учета ползучести при длительном действии нагрузки использовалась теория наследственной упругости. В основу теории положен принцип Вольтерра и расчетный аппарат с применением интегральных операторов, предложенный Ю.Н.Работновым.

Согласно принципу Вольтерра для решения задач упругого последствия (ползучести) необходимо константы теории упругости – мгновенные модули – заменить соответствующими интегральными операторами, вычисленными для фиксированного момента времени  $t$ . Операторы модуля упругости и коэффициента Пуассона, следуя [5], можно записать в виде

$$\bar{E} = E_0(1 - \kappa \mathcal{E}_\alpha^*(-\beta)), \quad (1)$$

$$\bar{\nu} = \nu_0(1 + \omega \mathcal{E}_\alpha^*(-\beta)) \quad (2)$$

где  $E_0$  и  $\nu_0$  – мгновенные значения модуля упругости и коэффициента Пуассона,

$\omega$  – параметр, определяемый по формуле

$$\omega = (1 - 2\nu_0)\kappa / 2\nu_0.$$

Операторный модуль сдвига можно определить обычной формулой

$$\bar{G} = E/2(1 + \nu). \quad (3)$$

На основе  $\mathcal{E}_\alpha^*$  – операторов Ю. Н. Работнов создал удобный для практического использования расчетный аппарат, применимый для решения задач ползучести многих материалов, в том числе полимерных композитов. Значения дробно-экспоненциальной функции и интегралов от нее табулированы [4]. Значение интегрального оператора можно также

определить по приближенной формуле, полученной М. И. Розовским

$$\mathcal{E}_\alpha^*(-\beta) = \frac{1}{\beta} (1 - \exp(-\gamma\beta t^{1+\alpha})), \quad (4)$$

где  $\gamma = (1 - \alpha)^{1+\alpha}$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$  – параметры, определяемые по кривым ползучести.

При проектировании строительных конструкций из полимеров ползучесть материала рекомендуется [6] учитывать введением в расчет временного деформационного коэффициента  $n_{ep}$ , значения которого для некоторых типов стеклопластиков можно найти, например, в [1]. Если рассматривать временный деформационный коэффициент как отношение  $E(t)/E_0$  ( $E(t)$  – значение модуля упругости в момент времени  $t$ ), то на основе наследственной теории упругости значение этого коэффициента легко определить из соотношения (1)

$$n_{ep} = (1 - K\mathcal{E}_\alpha^*(-\beta)). \quad (5)$$

В данной работе для определения коэффициента  $n_{ep}$  данные о ползучести стеклопластиков при растяжении заимствованы из [5]. Рассматривались материалы:

- ортогонально армированный равнопрочный стеклопластик АГ - 4С:

$$E_1 = E_2 = 25000 \text{ МПа}; \alpha = -0,8, \beta = 1,32, \kappa_1 = \kappa_2 = 0,085;$$

- стеклотекстолит ТС 8/3 – 250 на эпоксиднофенольном связующем:

$$E_1 = 22000 \text{ МПа}, E_2 = 30100 \text{ МПа}, \alpha = -0,8, \beta = 0,32, \kappa_1 = 0,085, \kappa_2 = 0,0485.$$

Размерность постоянных  $\kappa$  и  $\beta$  определяется тем, что за единицу измерения времени принят час. Значения констант с индексом 1 относятся к утку, с индексом 2 – К основе. Усредненные значения модуля упругости и коэффициента  $\kappa$  определялись по формулам

$$E_0 = 2E_1E_2/(E_1 + E_2); \quad K = (\kappa_1E_2 + \kappa_2E_1)/(E_1 + E_2).$$

В табл. 1 приведены значения коэффициента  $n_{ep}$  для названных стеклопластиков, вычисленные по формуле (5) с применением таблиц [4].

*Таблица 1*  
Значение временного деформационного коэффициента  $n_{ep}$  при растяжении

Тип стекло- пластика	Продолжительность действия нагрузки						
	5 час	5 сут	45 сут	0,5 год	1 год	5 лет	10 лет
АГ-4С	0,956	0,949	0,945	0,943	0,942	0,940	0,939
ТС 8/3-250	0,928	0,894	0,870	0,856	0,849	0,835	0,825

Рассматривался также фенолоформальдегидный стеклопластик на основе нитепрошивного армирующего материала ВПР – 10 с соотношением жгутов основы и утка 70:30, кратковременное и длительное деформирование котрого при растяжении и сжатии изучалось в [7]. Модули упругости при растяжении  $E_1 = 15000$  МПа,  $E_2 = 24000$  МПа, при сжатии  $E_1 = 16000$  МПа,  $E_2 = 26000$  МПа. Значения констант  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $k$  определялись по кривым ползучести. Для этого можно применить способ, описанный в [5], с использованием преобразований Лапласа и квадратичного метода поиска оптимальных параметров с реализацией на ЭВМ.

Задача по нахождению параметров ползучести значительно упростится, если, используя данные обработки кривых ползучести аналогичных материалов, заранее задать значениями двух констант, а значение третьей вычислить по кривой ползучести. Такой подход несколько снижает точность результатов, но, учитывая значительный разброс экспериментальных данных по ползучести материалов, этот прием можно считать оправданным.

Согласно имеющимся данным [5], значения параметра  $\alpha$  для разных типов стеклопластиков не имеют большого разброса и изменяются в пределах от -0,77 до -0,98. Для большинства стеклопластиков  $\alpha = -0,8$ . Для однонаправленного стеклопластика, следуя [5], можно принять  $\beta = 0,32$ . По кривым ползучести фенолоформальдегидного стеклопластика [7] соответственно для растяжения и сжатия найдем  $k = 0,101$  и  $k = 0,027$ .

В табл. 2 приведены значения коэффициента  $n_{ep}$  для фенолоформальдегидного стеклопластика при растяжении и сжатии, вычисленные по формуле (5); в знаменателе представлены значения коэффициента, вычисленные при раскрытии интегрального оператора  $\mathcal{E}_\alpha^*(-\beta)$  с применением таблиц [4], в числителе – с использованием формулы М. И. Розовского.

*Таблица 2*  
Значения временного деформационного коэффициента  $n_{ep}$  для фенолоформальдегидного стеклопластика

Деформация	Продолжительность действия нагрузки						
	5 час	5 сут	45 сут	0,5 год	1 год	5 лет	10 лет
Растяжение	<u>0,896</u>	<u>0,847</u>	<u>0,812</u>	<u>0,792</u>	<u>0,782</u>	<u>0,761</u>	<u>0,753</u>
	0,876	0,808	0,758	0,731	0,719	0,699	0,694
Сжатие	<u>0,972</u>	<u>0,958</u>	<u>0,950</u>	<u>0,944</u>	<u>0,942</u>	<u>0,936</u>	<u>0,934</u>
	0,967	0,949	0,935	0,928	0,925	0,919	0,918

Так как реологические свойства стеклопластиков зависят от большого числа технологических факторов, то приведенные в табл. 1 и 2 коэффициенты, являются ориентировочной характеристикой длительного

деформирования материала, которую можно использовать для предварительной оценки деформативности конструкции.

Совершенствование методов расчета конструкций из полимерных композитов – одно из важнейших условий успешного внедрения их в практику современного строительства.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А.М., Алгазинов К.Я., Мартинец Д.В. Строительные конструкции из полимерных материалов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 239 с.
2. Кондратюк В.Т., Караев В.Т. Оптимальная полимеремкость конструкций и сооружений в гражданском строительстве./ Моделирование и вычислительный эксперимент в материаловедении. – Материалы к XXXV международному семинару по проблемам моделирования и оптимизации композитов. – Одесса, 1996. С.112.
3. Коряков А.С., Грушина И.Б., Янбулатов Ф.И. Экономическая эффективность мероприятий по повышению долговечности металлических конструкций на предприятиях цветной металлургии / Обзорная информация. Вып.4. – М.: ЦНИИ Цветмет экономики и информации. 1978. 38с.
4. Работнов Ю.Н., Паперник Л.Х., Звонов Е.Н. Таблицы дробно-экспоненциальной функции отрицательных параметров и интеграла от нее. – М.: Наука, 1969. - 132 с.
5. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. – М.: Наука, 1977. – 383 с.
6. Рекомендации по проектированию и расчету конструкций с применением пластмасс. / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. – М., 1969. – 231.
7. Строительные конструкции из полимерных материалов. / В.И.Сытник, Т.М.Ордынская, И.С.Черняк и др. – К.: Урожай, 1988 – 200 с.

УДК 666.972.16

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

*А.Н.Пишнько, д.т.н. проф., А.П.Никифоров, д.т.н. проф., Н.А.Матенчук,  
соиск., ДГТУЖТ (Днепропетровск, Украина)*

Восстановление сырьевых ресурсов из отходов во многих странах является вопросом государственной важности. Производственный опыт Украины показывает, что использование многих видов вторичных материальных ресурсов технически осуществимо и экономически выгодно. В равной мере это относится к использованию металлургических шлаков и отходов горнорудной промышленности в строительстве.