

**ЗАДУМИН А. В., ДОБРЫНКИН С. В., ЕРОФЕЕВ В. Т.**

**ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ВИНИЛЭФИРНЫХ КОМПОЗИТОВ  
НА ПОКАЗАТЕЛИ СЖИМАЕМОСТИ**

**Аннотация.** Произведена оптимизация компонентов отверждающей системы винилэфирных композитов. Составлен комплексный симметричный трехуровневый план второго порядка. Выявлены составы композитов на основе винилэфирной смолы с достаточными показателями относительной сжимаемости и предельной относительной сжимаемости.

**Ключевые слова:** винилэфирные композиты; отверждающая система; сжимаемость; уравнение регрессии; план эксперимента; оптимизация.

**ZADUMIN A. V., DOBRYNKIN S. V., YEROFEEV V. T.**

**THE EFFECTS OF VINYLESTER COMPOSITES' COMPONENTS  
ON COMPRESSIBILITY INDEXES**

**Abstract.** The article considers the results of optimizing of the curing system components in vinylester composites. In this connection, the authors present a complex symmetric three-tiered plan of the second order. Consequently, the study shows the composite structures based on vinylester resin that demonstrate the required indexes of relative compressibility and ultimate relative compressibility.

**Key words:** vinylester composites; curing system; compressibility; regression equation; experiment plan; optimization.

Современное строительное материаловедение сопровождается непрерывными поисками более совершенных композиционных материалов. Примером таких поисков могут служить работы по улучшению свойств бетонов с помощью полимеров. В частности, получающие все большее распространение полимербетоны относятся к конструкционным материалам подобного типа. К числу наиболее часто и широко применяемых полимерных связующих, применяемых для изготовления данных композитов относятся эпоксидные, полиэфирные и другие смолы [1, 2]. В последнее время отечественная промышленность стала выпускать винилэфирные смолы [3]. Однако, не смотря на это свойства полимерных композитов на их основе мало изучено, что сдерживает их широкое применение.

Нами были проведены исследования влияния количественного соотношения компонентов композитов на основе винилэфирной смолы марки РП-14С на их свойства. Отверждающая система состояла из пероксид циклогексанона, октоата кобальта и 10%

раствора диметиланилина в стироле, которые варьировались в пределах эксперимента в соотношении 0,5–2,5, 1–5 и 1–3 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно.

Наши исследования для большей достоверности были проведены с применением методов математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования нами был использован комплексный симметричный трехуровневый план второго порядка с количеством опытов, равным 13. Варьируемыми факторами служили:  $X_1$  – содержание пероксида циклогексанона (ПЦОН-2);  $X_2$  – содержание октоата кобальта (ОК-1);  $X_3$  – содержание раствора диметиланилина в стироле (ДМА).

Используемая в эксперименте матрица планирования приведена ниже.

**Комплексный симметричный трехуровневый план второго порядка  
на кубе с количеством опытов, равным 13**

$X_1$	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0
$X_2$	+1	0	0	-1	+1	+1	0	-1	-1	+1	0	0	-1
$X_3$	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1

Нами были изготовлены по указанной матрице составы. В результате испытания образцов получены показатели относительной сжимаемости и предельной относительной сжимаемости (в %) составов винилэфирных композитов.

Таблица 2

**Сжимаемость составов**

№ состава	Относительная сжимаемость, %	Предельная относительная сжимаемость, %
1	2,22	4,81
2	0,81	4,47
3	1,44	3,59
4	1,21	4,93
5	2,48	4,13
6	2,26	3,73
7	1,46	3,47
8	0,85	2,83
9	3,15	4,38
10	1,90	3,19
11	1,48	4,69
12	0,99	3,49
13	2,06	4,45

После статистической обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии для следующих показателей полимербетонов: относительной сжимаемости ( $\epsilon$ ) и предельной относительной сжимаемости ( $\epsilon'$ ):

$$\varepsilon = 1,46 - 0,277 \cdot X_1 + 0,199 \cdot X_2 - 0,094 \cdot X_3 + 0,029 \cdot X_1^2 + 0,63 \cdot X_1 X_2 - 0,28 \cdot X_1 X_3 + 0,696 \cdot X_2^2 + 0,293 \cdot X_2 X_3 - 0,309 \cdot X_3^2; \quad (1)$$

$$\varepsilon' = 3,47 + 0,116 \cdot X_1 - 0,091 \cdot X_2 + 0,247 \cdot X_3 + 0,006 \cdot X_1^2 + 0,487 \cdot X_1 X_2 - 0,08 \cdot X_1 X_3 + 0,291 \cdot X_2^2 + 0,285 \cdot X_2 X_3 + 0,584 \cdot X_3^2. \quad (2)$$

По приведенным уравнениям регрессии нами были установлены зависимости влияния количественного содержания компонентов на показатели сжимаемости композитов на основе винилэфирного связующего.

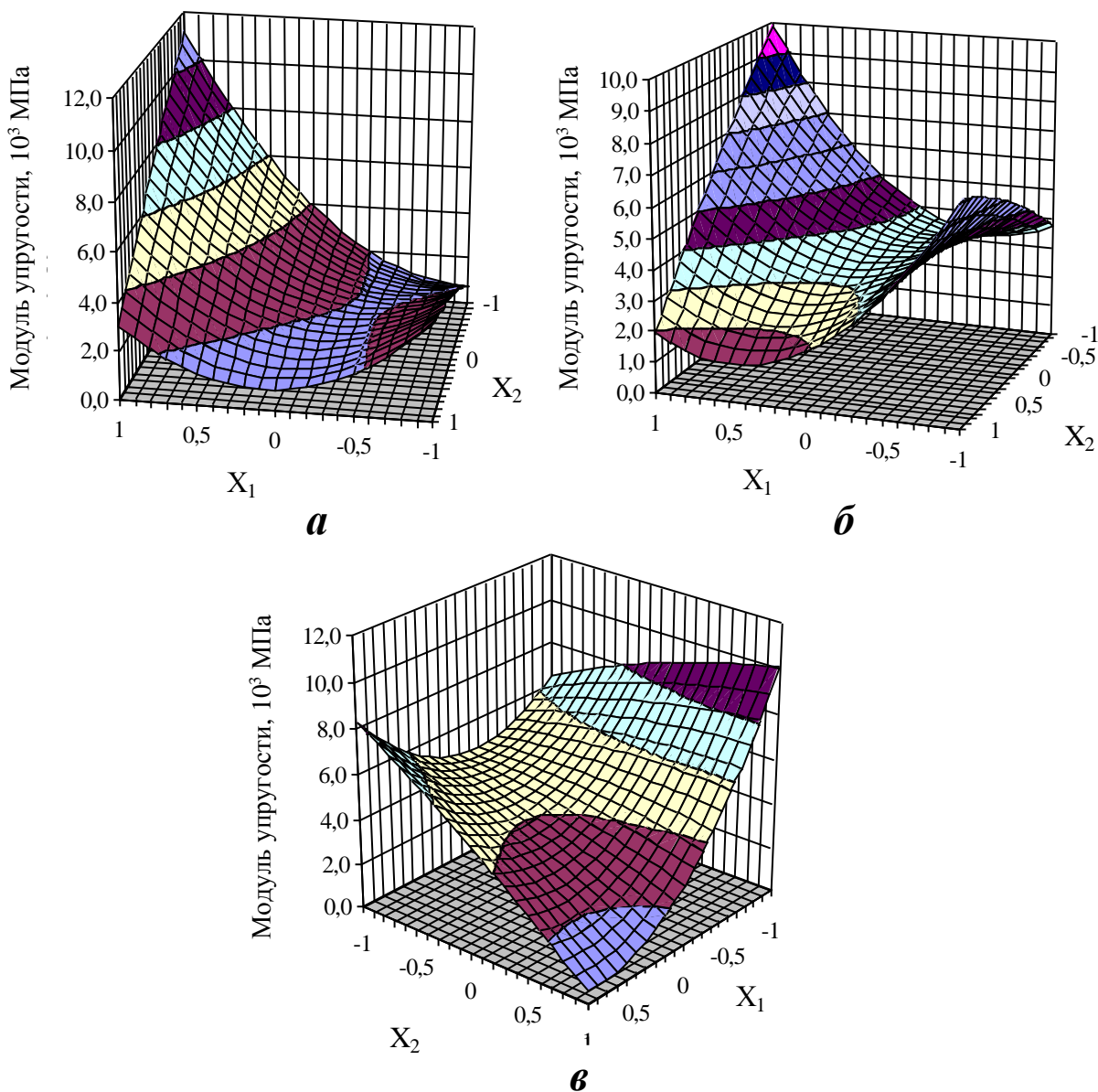


Рис. 1. Влияние содержания компонентов отверждающей системы на относительную сжимаемость при содержании ДМА:

1 мас. ч. ( $X_3 = -1$ ) (*а*), 2 мас. ч. ( $X_3 = 0$ ) (*б*), 3 мас. ч. ( $X_3 = +1$ ) (*в*) на 100 мас. ч. смолы  $X_1$  – содержание ПЦОН-2 (0,5–2,5 мас. ч.);  $X_2$  – содержание ОК-1 (1–5 мас. ч.)

Из анализа приведенного выше уравнения (1) следует, что значения относительной сжимаемости исследованных составов на основе винилэфирной смолы лежит в интервале значений от 0,06 до 2,89 %, т.е. минимальные и максимальные показатели отличаются почти в 50 раза. Нами было установлено, что практически при всех концентрациях диметиланилина наибольшие значения данного показателя зафиксированы при следующем содержании остальных компонентов: пероксида циклогексанона – 1 мас. ч., а октоата кобальта– 0,5 мас. ч. ( $X_1 = -1$ ,  $X_2 = -1$ ), а так же 5 и 2,5 мас. ч. ( $X_1 = +1$ ,  $X_2 = +1$ ) на 100 мас. ч. винилэфирной смолы соответственно.

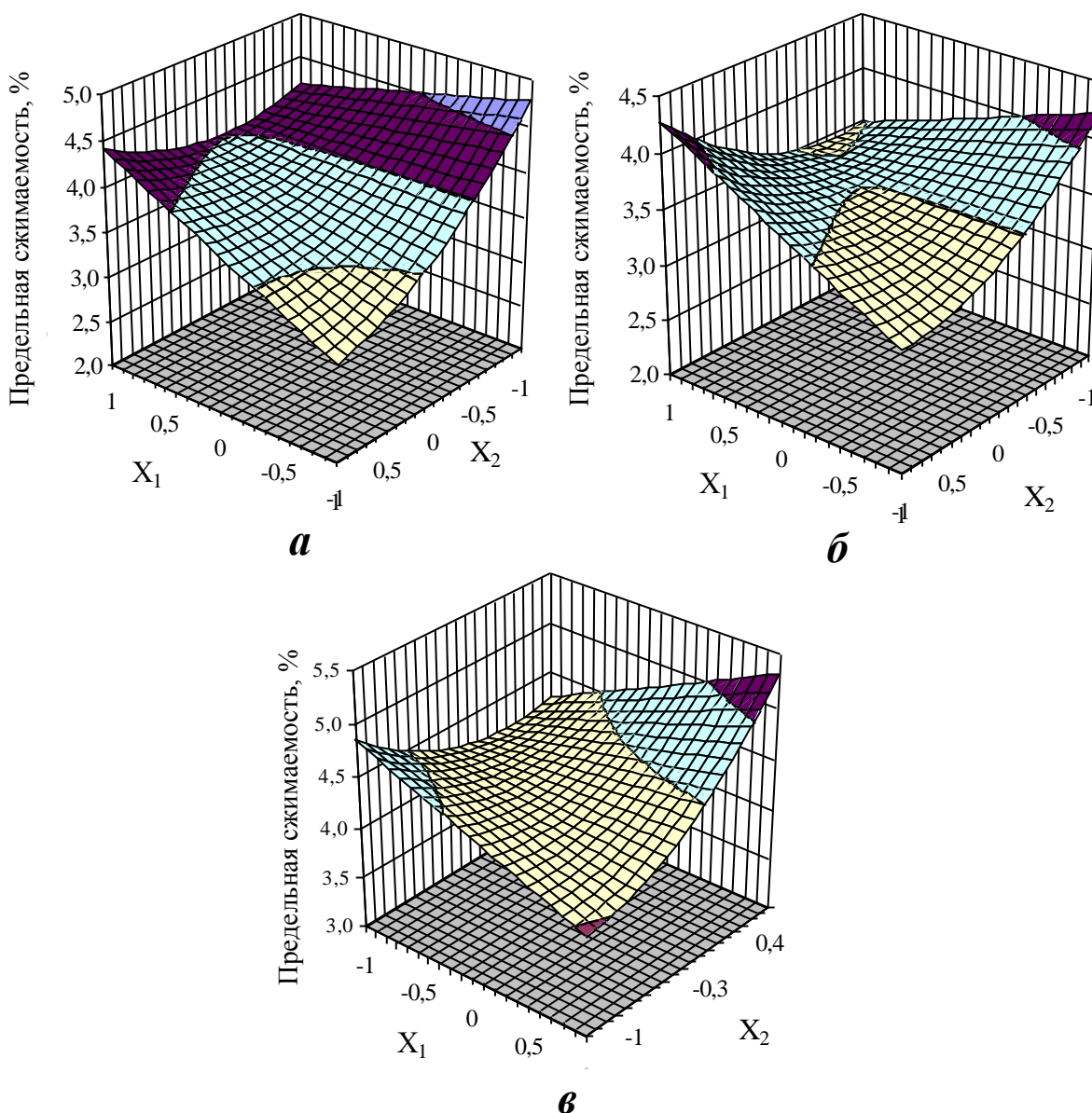


Рис. 2. Влияние содержания компонентов отверждающей системы на предельную относительную сжимаемость при содержании ДМА:

1 мас. ч. ( $X_3 = -1$ ) (*а*), 2 мас. ч. ( $X_3 = 0$ ) (*б*), 3 мас. ч. ( $X_3 = +1$ ) (*в*) на 100. мас. ч. смолы  $X_1$  – содержание ПЦОН-2 (0,5–2,5 мас. ч.);  $X_2$  – содержание ОК-1 (1–5 мас. ч.)

Кроме этого, минимальные параметры исследуемого параметра отмечены при концентрации ДМА, ПЦОН-2 и ОК-1 в количестве 2,5–3, 2,2–2,5 и 1–3 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. В целом из полученных нами результатов видно, что для композитов, изготовленных на основе исследуемых компонентов, увеличение их относительной сжимаемости обусловлено увеличением содержанием ОК-1, или же сочетанием минимальных концентраций отвердителя и ускорителя. Снижение исследованного показателя обусловлено наоборот минимальной концентраций октоата кобальта и повышенным содержанием остальных компонентов.

Как видно из приведенного выше уравнения (2), предельная относительная сжимаемость композиционных материалов на основе исследуемой смолы, составляет от 3,04 до 5,31 %, т.е. минимальные и максимальные показатели отличаются менее чем в 2 раза. Так минимальные значения данного показателя отмечены при концентрации ДМА, ПЦОН-2 и ОК-1 в количестве 2–3, 2 и 5 мас. ч. на 100 мас. ч. винилэфирной смолы соответственно. Наибольшая предельная относительная сжимаемость исследованных образцов зафиксирована при содержании диметиланилина – 3, октоата кобальта – 5, а пероксида циклогексанона – 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы винилэфирной смолы.

Таким образом, с помощью применения методов математического планирования эксперимента проведена оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов по следующим показателям деформативности: их относительной сжимаемости и предельной относительной сжимаемости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев В. Т., Соколова Ю. А., Богатов А. Д. и др. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминоксидными соединениями. – М.: Изд-во ПАЛЕОТИП, 2007. – 240 с.
2. Касимкина М. М., Светлов Д. А., Казначеев С. В. и др. Эпоксидные лакокрасочные материалы с биоцидной добавкой «Гефлекс» // Лакокрасочные материалы и их применение. – №1-2, 2008. – С.77–79.
3. Волгина Е. В., Казначеев С. В., Ерофеев В. Т., Кретьева В. М. Деформативность винилэфирных композитов // Известия Юго-Западного государственного университета, 2012. – № 6 (45). – Т.1. – С. 82–90.