

ГРАНОВСКИЙ Д. Р., ВОРОНИН В. И., ЕРОФЕЕВ В. Т.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВИНИЛЭФИРНЫХ
КОМПОЗИТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДЕФОРМАТИВНОСТИ**

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос оптимизации компонентов отверждающей системы винилэфирных композитов. Составлен комплексный симметричный трехуровневый план второго порядка. Выявлены составы композитов на основе винилэфирной смолы с достаточными показателями модуля упругости и модуля деформации.

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

GRANOVSKY D. R., VORONIN V. I., YEROFEEV V. T.

**A STUDY OF THE EFFECTS OF VINYLESTER COMPOSITES'
COMPONENTS ON DEFORMABILITY INDEXES**

Abstract. The article considers optimizing of the curing system components of vinylester composites. The authors present a complex symmetric three-tiered plan of the second order. Consequently, the study showed the composite structures based on vinylester resin that demonstrate the required modulus of elasticity and deformation.

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

Современное строительство непрерывно развивается, причем с все увеличивающимися темпами, что обуславливает необходимость разработки более совершенных композиционных материалов, применяемых для антикоррозионной защиты, а также изготовления изделий и конструкций. Примером таких поисков могут служить работы по улучшению свойств бетонов с помощью полимеров, в частности применение полимербетонов для изготовления конструкционных материалов [1, 2]. Наряду с широко применяемыми полимерными связующими используемыми для изготовления полимерных композитов в отечественной практике начато внедрение композитов, связующим в которых являются винилэфирные смолы[3]. Во многом распространение подобных материалов сдерживает то, что их свойства изучены не достаточно полно. Так, например, важно добиться того, чтобы применение нового материала не способствовало ухудшению основных эксплуатационных свойств изделия. С точки зрения рассмотрения полимерных материалов, используемых для изготовления защитных антикоррозионных покрытий или других химически стойких

изделий, они должны обладать высокими прочностными свойствами и химической стойкостью в агрессивных средах и требуемой деформативностью.

В ходе проведения экспериментов нами были проведены исследования влияния количественного соотношения компонентов на деформативные свойства композитов на основе винилэфирной смолы марки РП-14С. Отверждающая система состояла из пероксид циклогексанона, октоата кобальта и 10% раствора димитиланилина в стироле.

Наши исследования для большей достоверности были проведены с применением методов математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования использовали 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 димитиланилина в стироле (ДМА).

Содержание компонентов композитов варьировались в пределах эксперимента в соотношении ПЦОН-2 – 0,5–2,5 мас. ч., ОК-1 – 1–5 мас. ч. и ДМА – 1–3 мас. ч. на 100 мас. ч. винилэфирной смолы соответственно. Матрица планирования приведена ниже.

По данной матрице были изготовлены составы. В результате испытания образцов винилэфирных композитов получены показатели деформативности составов (см. табл. 1).

**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

Таблица 1

Деформативность винилэфирных композитов

№ состава	Модуль упругости, МПа	Модуль деформации, МПа
1	2558,01	1642,86
2	3471,67	1676,24
3	12633,56	3478,40
4	2242,87	1667,60
5	3318,81	2537,60
6	3267,53	2733,62
7	3382,72	2487,23
8	13798,98	7015,65
9	2306,36	1911,36
10	3406,02	2644,11
11	3498,77	2040,17
12	4087,20	2174,95
13	3434,20	2287,20

После статистической обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии для следующих показателей: модуля упругости (E) и модуля деформации (E'):

$$E = 3382,72 + 224,19 \cdot X_1 - 1154 \cdot X_2 + 809,99 \cdot X_3 + 2651,36 \cdot X_1^2 - 2860,34 \cdot X_1 X_2 - 2143,36 \cdot X_1 X_3 - 361,16 \cdot X_2^2 + 85,83 \cdot X_2 X_3 - 111,28 \cdot X_3^2; \quad (1)$$

$$E' = 2487,23 + 371,41 \cdot X_1 - 415,45 \cdot X_2 - 85,16 \cdot X_3 + 672,16 \cdot X_1^2 - 1325,08 \cdot X_1 X_2 - 416,84 \cdot X_1 X_3 + 390,16 \cdot X_2^2 - 95,41 \cdot X_2 X_3 - 816,95 \cdot X_3^2; \quad (2)$$

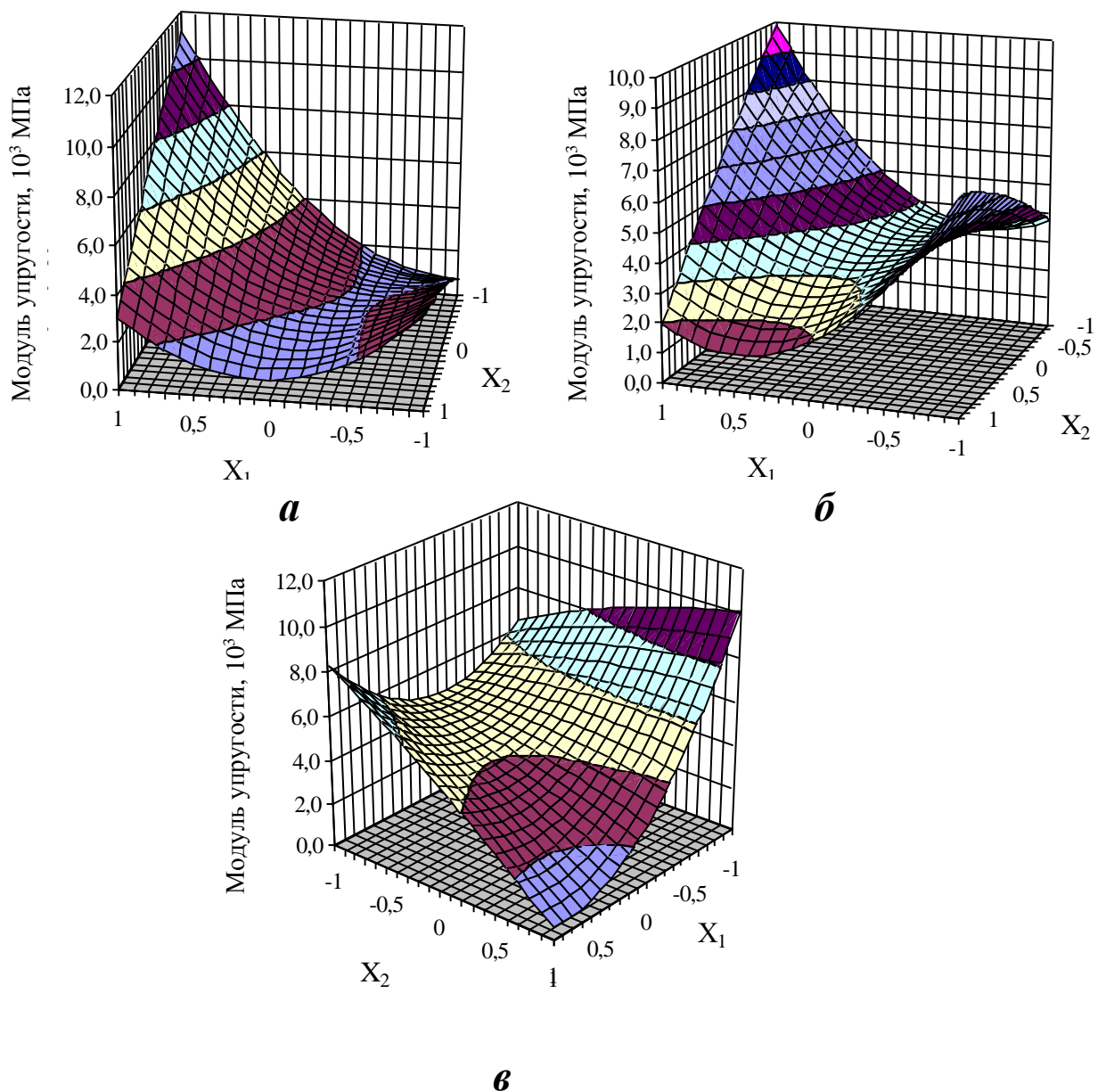


Рис. 1. Влияние содержания компонентов винилэфирных композитов на модуль упругости при содержании ДМА:

1 мас. ч. ($X_3 = -1$) (*a*), 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.)

По полученным уравнениям регрессии были установлены зависимости влияния содержания компонентов отверждающей системы на деформативные характеристики композитов на основе винилэфирного связующего.

Из анализа приведенного выше уравнения (1) следует, что начальный модуль упругости отвержденных винилэфирных матриц как следует из анализа графиков достигает своего максимального значения, равного 11 220 МПа, при содержании ДМА а, ПЦОН-2 и ОК-1 в количестве 1, 2,5 и 1 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно.

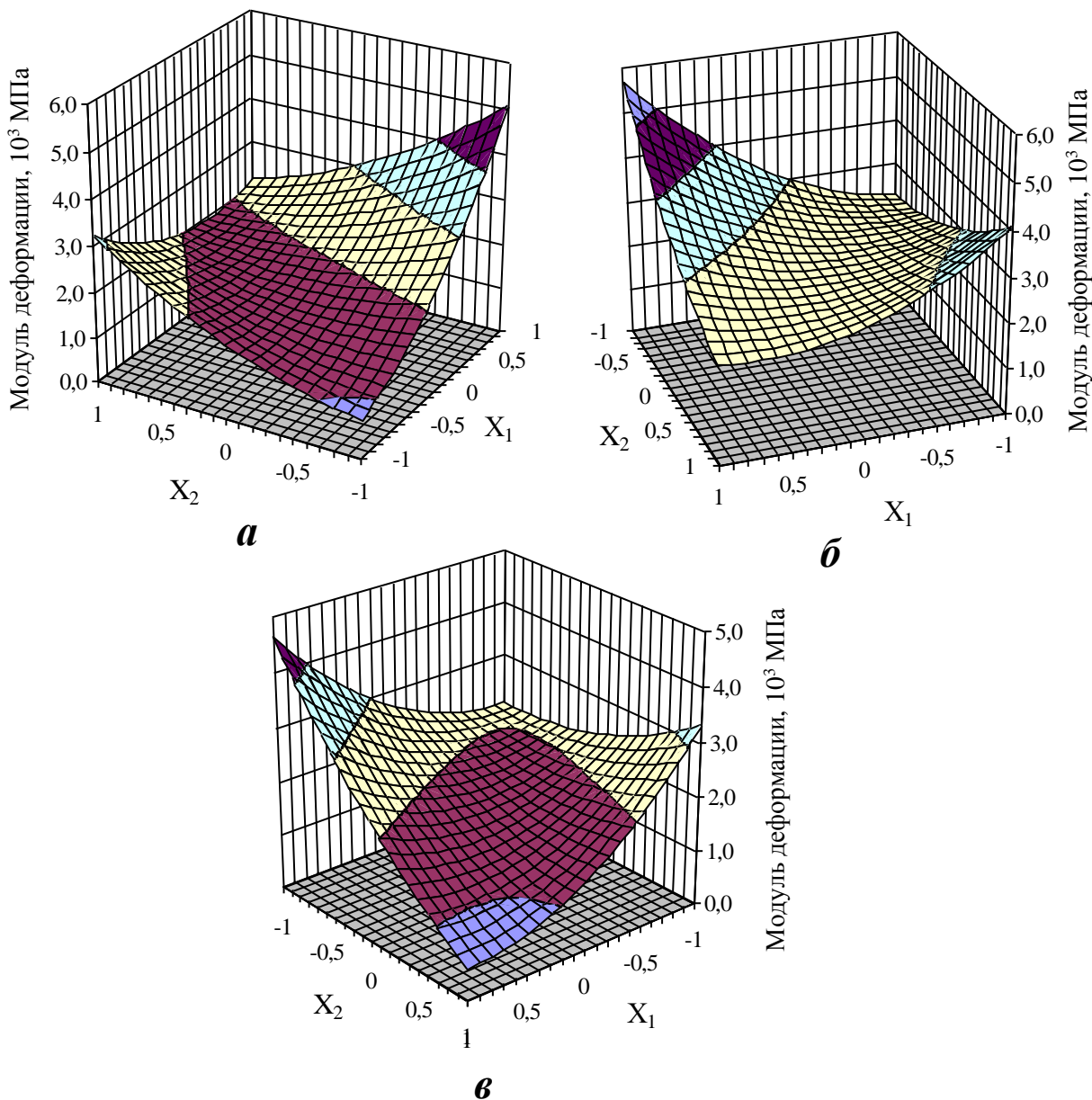


Рис. 2. Влияние содержания компонентов винилэфирных композитов на модуль деформативности при содержании ДМА:

1 мас. ч. ($X_3 = -1$) (*a*), 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.)

Установлено, что изменение данного показателя в зависимости от содержания компонентов происходит в пределах от 490 до 11 200 МПа. Следует отметить, что при начальной концентрации диметиланилина (1–1,5 мас. ч.) наибольшие значения модуля упругости соответствуют максимальному содержанию пероксида циклогексанона и минимуму октоата кобальта ($X_1 = + 1$, $X_2 = - 1$). При увеличении содержания диметиланилина помимо этого отмечается и другое их соотношение отвердителя и ускорителя при котором происходит рост исследуемого показателя – 0,5 мас. ч. ПЦОН-2 и 5 мас. ч. ОК-1 на 100 мас. ч. смолы соответственно ($X_1 = - 1$, $X_2 = +1$).

Как видно из приведенного выше уравнения (2), Значения модуля деформации, находятся в интервале от 570 до 5 660 МПа, наибольшее значение достигается при содержании диметиланилина – 2, октоата кобальта – 1, а пероксида циклогексанона – 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. винилэфирной смолы. Наибольшие значения модуля деформации соответствуют следующему содержанию компонентов: максимальной концентрации пероксида циклогексанона и минимуму октоата кобальта – 2,5 и 1 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы ($X_1 = + 1$, $X_2 = - 1$). Влияние содержание диметиланилина в отверждающей системе на исследуемый показатель не носит ярко выраженного влияния.

Таким образом, с помощью математического планирования проведена оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов системы по показателям модуля упругости и модуля деформации. Получены составы композитов требуемой деформативности для изготовления, как строительных композитов (полимербетонов), так и антикоррозионных защитных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев В. Т., Соколова Ю. А., Богатов А. Д. и др. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминокпроизводными соединениями. – М.: Изд-во ПАЛЕОТИП, 2007. – 240 с.
2. Касимкина М. М., Светлов Д. А., Казначеев С. В. и др. Исследование физико-механических свойств эпоксидных композитов с фунгицидной добавкой «Гефлекс» // Транспортное строительство. – № 2, 2009. – С. 29–30.
3. Ерофеев В. Т., Волгина Е. В., Казначеев С. В., Богатов А. Д. Исследование прочности и жесткости винилэфирных композитов, наполненных каолином // Вестник волжского регионального отделения. – Вып. 15 – Н. Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2012. – С. 127–134.