

# ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ОТВЕРДИТЕЛЕЙ Л-19, ИЗОФОРОНДИАМИН И ДЖЕФФАМИН D-230

**В.В. Самойленко, В.В. Фирсов, А.Н. Блазнов, З.Г. Сакошев**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск*

В работе исследованы эпоксидные связующие на основе смолы ЭД-20 и отвердителей Л-19, Изофорондиамин и Джеффамин D-230. Цель работы – исследование реологических и физико-механических свойств образцов связующего. Каждое связующее было приготовлено в соответствии с рекомендуемым соотношением. Изменение вязкости связующего определяли на ротационном вискозиметре. Отверждение всех образцов проводили в одинаковых режимах (2 ч при температуре 23°C, затем 4 ч при температуре 60°C). Прочность образцов при растяжении определяли по ГОСТ 11262-2017. Связующее на основе отвердителя Л-19 имеет самую высокую начальную вязкость и низкую живучесть, а связующее на основе Изофорондиамина вполне пригодно для формования композитов (живучесть - 90 мин). Самую низкую вязкость и высокую жизнеспособность имеет связующее на основе Джеффамина – более 5-ти ч. Отвердитель Л-19 малопримоден для изготовления стеклопластиков, так как связующее на его основе имеет прочность 15 МПа. Связующее с Изофорондиамином имеет прочность 23,4 МПа. Связующее с Джеффамином имеет наиболее высокую прочность 50 МПа и приемлемую деформативность, что наряду с хорошими реологическими свойствами позволяет рекомендовать его для изготовления композитов методом «мокрой» намотки.

*Ключевые слова: эпоксидные связующие, аминные отвердители Л-19, Изофорондиамин, Джеффамин D-230, прочность, растяжение, реологические свойства, физико-механические характеристики.*

## ВВЕДЕНИЕ

Традиционным материалом для композитных изделий с высокой прочностью и малой массой являются эпоксидные смолы. Выбор эпоксидных смол, а не более дешевых полиэфирных, обусловлен их превосходными механическими свойствами, теплостойкостью, лучшей адгезией с армирующим материалом и меньшей усадкой при отверждении. Надежность материала оказалась решающим фактором, благодаря которому в течение длительного времени отдается предпочтение эпоксидным смолам [1, 2]. Поэтому сегодня связующие на основе эпоксидных смол занимают лидирующее положение среди других известных типов связующих.

В результате аналитического обзора и анализа современных вариантов связующих [3, 4] были выбраны несколько химических компонентов, относящихся к различным классам аминных отвердителей, для их лабораторной проверки на предмет возможности применения в производстве композитов. Из класса полиамидов – отвердитель Л-19, из циклоалифатического ряда – Изофорондиамин, из класса полиэфираминов – Джеффамин D-230.

Отвердитель Л-19 (низкомолекулярная полиамидная смола) применяется для холодного и горячего отверждения эпоксидных смол, а также в качестве пластифицирующих агентов эпоксидных

смол при изготовлении заливаемых компаундов, клеев и связующих для стеклопластиков. Обеспечивает хорошую химическую стойкость получаемых полимеров, устойчивость к воздействию минеральных кислот, водных растворов щелочей в воде и углеводородам [5].

Изофорондиамин (на английском сокращенно IPDA, или IPD) является индивидуальным веществом с химическим названием 3-аминометил-3,5,5-триметилциклогексил-амин (смесь двух стереоизомеров) с молекулярной массой 170. Изофорондиамин используется в качестве сырья в производстве отвердителей эпоксидных систем холодного отверждения, не содержащих растворителя и композиций горячего отверждения. Эпоксидные смолы, отвержденные изофорондиамином, демонстрируют химическую стойкость, сравнительно высокую температуру тепловой деформации, стабильность цвета [6].

Полиэфирамин D-230 (Джеффамин) – представляет собой бифункциональный, первичный амин со средней молекулярной массой около 230. Низкая вязкость, малый экзотермический эффект и регулируемая активность позволяют применять для смешивания с другими высоковязкими отвердителями. Отвердители на его основе широко используются в производстве защитных, декоративных и напольных покрытий, для заливки и

герметизации. Покрyтия на основе джеффаминов обладают стойкостью к отслаиванию и выдерживают большие циклические нагрузки [7].

Характеристики исследуемых отвердителей по данным [5-7] приведены в таблице 1.

Табл. 1. Характеристики отвердителей Л-19, Изофорондиамин, Джеффамин D-230

Наименование показателя	Значение
<b>Л-19</b>	
1. Внешний вид	Низковязкая жидкость светло-желтого цвета
2. Соотношение со смолой ЭД-20 (вес. ч.)	100 : 80-85
3. Динамическая вязкость при 20 °С, Па·с, в пределах	10-35
4. Аминное число, мг HCl/г, в пределах	120-160
5. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа, не менее	60
6. Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	77,8
7. Относительное удлинение при разрыве, %	5,4
8 Ударная вязкость, кгс·см/см <sup>2</sup>	28,6
9. Теплостойкость по Вика, °С	48
<b>Изофорондиамин</b>	
1. Внешний вид	Жидкость от бесцветной до желтого цвета
2. Соотношение со смолой ЭД-20 (вес. ч.)	100 : 20-24
3. Динамическая вязкость при 20 °С, мПа·с	18
4. Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	0,92
5. Температура, °С:	
- плавления	10
- кипения	247
- вспышки	112
6. Массовая доля, %, не менее	
- общего азота	16,4
- основного вещества	99,7
7. Аминный эквивалентный вес, г/экв	43
<b>Джеффамин D-230</b>	
1. Внешний вид	Бесцветная или слабоокрашенная жидкость
2. Соотношение со смолой ЭД-20 (вес. ч.)	100 : 30-34
3. Динамическая вязкость при 25 °С, мПа·с	9
4. Содержание общего азота, мг/г, в пределах	8,1-8,7
5. Температура стеклования, °С	90
6. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	67,5
7. Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	108
8. Относительное удлинение при изгибе, %	9,6
9. Твердость по Изоду, Дж/м	59

Важной технологической характеристикой связующего является его живучесть, которая определялась на ротационном вискозиметре путём измерения исходной динамической вязкости и изменения этой вязкости во времени. Для этого приготавливали связующее в соответствии с рекомендуемым соотношением, помещали в измерительную ячейку и определяли вязкость через определенные промежутки времени при температуре экспериментов 25 °С.

Для определения прочности при растяжении по ГОСТ 11262-2017 [8] изготавливали образцы в форме лопаток, которые растягивали на разрывной машине при постоянной скорости перемещения подвижного зажима. Максимальную силу и удлинение регистрировали в момент разрыва.

С целью сравнительного анализа эпоксидного связующего на основе отвердителей Л-19, Изофорондиамин и Джеффамина D-230, были проведены экспериментальные исследования реологических и физико-механических свойств образцов связующего, изготовленных при одинаковых режимах отверждения. Режим отверждения 2 ч при температуре 23°С, затем 4 ч при температуре 60°С был принят на основе выполненных ранее исследований связующего с отвердителем Этал-45М, наиболее распространенным в промышленности [9, 10]. Полученные результаты сравнивали между собой и со свойствами связующего на основе Этал-45М, полученными ранее [9, 10].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С целью определения технологичности связующих на новых видах отвердителей на ротационном вискозиметре были измерены исходная динамическая вязкость и изменение вязкости во времени.

Рецептуры связующих:

1) на основе отвердителя Л-19: 100 м.ч. ЭД-20 и 82,5 м.ч. Л-19;

2) на основе Изофорондиамин (ИФДА): 100 м.ч. ЭД-20 и 22 м.ч. Изофорондиамин;

3) на основе Джеффамина D-230: 100 м.ч. ЭД-20 и 32 м.ч. Джеффамина D-230.

На рисунке 1 представлены результаты измерений динамической вязкости исследуемых связующих и для сравнения – связующего на основе отвердителя Этал-45М при температуре 25 °С.

Из показанных данных следует, что самую высокую исходную вязкость (17 Па·с) имеет состав на основе отвердителя Л-19, при этом жизнеспособность, т.е. время переработки его, наиболее низкая – не более 60 мин, что свидетельствует о его малой пригодности для изготовления стеклопластиков. Связующее на основе Изофорондиамин имеет начальную вязкость порядка 4,5 Па·с, что вполне пригодно для формования композитов, при времени переработки до 90 мин. Для сравнения на рисунке приведен состав на основе отвердителя Этал-45М, к которому связующее с Изофорондиамином довольно близко по реологическим характеристикам, с той лишь разницей, что медленнее набирает вязкость во времени. Самую низкую вязкость имеет связующее с Джеффамином – 1,5 Па·с, при жизнеспособности более 5-ти ч. Это связующее может использоваться для изготовления композитов методом «мокрой» намотки.

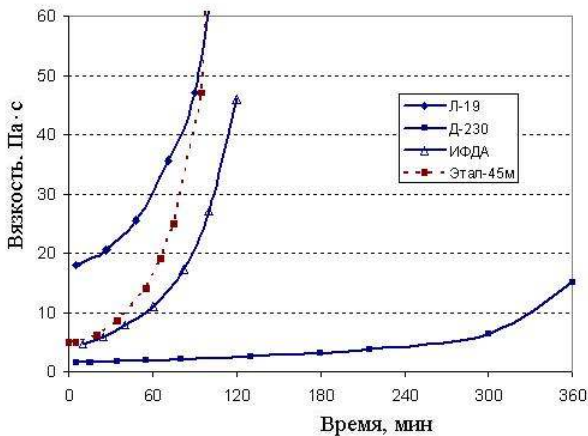


Рис.1. Изменение динамической вязкости во времени при температуре образцов связующих 25 °С

Для определения механических свойств связующих на основе смолы ЭД-20 и отвердителей Л-19, Изофорондиамин и Джеффамин D-230 были изготовлены образцы – лопатки в соответствии с ГОСТ 11262-2017 с отверждением по режиму: 2 ч при температуре 23 °С → нагрев в течение 30 минут → выдержка 4 ч при температуре 60 °С. В специально подготовленные фторопластовые формы заливали полученное связующее, которое далее по заданному режиму отверждали. Прочностные характеристики представлены в таблице 2.

Табл. 2. Прочность при растяжении образцов связующего с различными отвердителями

№ образца	Толщина, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Сила при разрушении, кН	Прочность, МПа	Деформация*, %
<b>100 м.ч. ЭД-20 + 82,5 м.ч. Л-19</b>					
1	3,90	39,66	0,645	16,3	16,5
2	4,55	45,4	0,47	10,3	22,0
3	3,58	35,79	0,38	10,6	24,0
4	3,78	38,52	0,67	17,4	19,0
5	3,53	36,88	0,70	19,0	16,0
<b>Среднее значение</b>				<b>14,7</b>	<b>19,5</b>
<b>100 м.ч. ЭД-20 + 22 м.ч. Изофорондиамин</b>					
1	4,02	41,8	1,025	24,5	6,0
2	4,25	43,35	1,315	30,3	9,0
3	3,69	37,64	0,76	20,2	5,5
4	3,70	37,4	0,69	18,5	5,0
<b>Среднее значение</b>				<b>23,4</b>	<b>6,4</b>
<b>100 м.ч. ЭД-20 + 32 м.ч. Джеффамин D-230</b>					
1	3,71	37,84	2,17	57,3	12,0
2	3,66	37,33	1,69	45,3	10,8
3	3,50	35,87	1,91	53,2	11,3
4	3,47	34,78	1,57	45,1	12,0
<b>Среднее значение</b>				<b>50,2</b>	<b>11,5</b>
* Примечание – Деформация в процентах (%) определялась как отношение перемещения захватов в разрывной машине к длине рабочей части образца.					

Как следует из данных, приведенных в табл. 2, прочность связующего с отвердителем Л-19 находится на низком уровне – около 15 МПа, при достаточно высокой деформативности. Согласно спецификации «Химэкс Лимитед» [7], разрушающее напряжение при растяжении должно быть на уровне 60 МПа и удлинение – 5,4 % (табл. 1), чего в примененных условиях отверждения не было достигнуто. К тому же образцы по субъективным ощущениям при комнатной температуре были недоотвержденными и эластичными, имели низкую температуру стеклования. Таким образом, учитывая также неудовлетворительные реологические свойства, данный отвердитель малоприменим для изготовления стеклопластиков.

Связующее с Изофорондиамином показало прочность 23,4 МПа, большой разброс между параллельными испытаниями и низкую деформативность. При распрессовке лопаток часть образцов была сломана, вследствие их хрупкости.

Связующее с Джеффамином имело достаточно хорошую прочность – на уровне 50 МПа и приемлемую деформативность. Согласно спецификации «Химэкс Лимитед» данный отвердитель дает более высокие результаты. Из всех исследованных вариантов, отвердитель Джеффамин обеспечивает физико-механические свойства эпоксидного связующего, не уступающего связующему с отвердителем Этал-45 М [9].

За рубежом связующие на основе Джеффаминов довольно распространены и для регулирования времени отверждения применяются различные ускорители и соотвердители, в их числе используется и Изофорондиамин в различных соотношениях.

Для изготовления композитов находят применение смесевые отвердители. Так, в патенте [11] для повышения температуры стеклования, а также прочности при растяжении и статическом изгибе отвержденной эпоксидной композиции предлагается использовать смолу и активный разбавитель – алифатический диглицидиловый эфир и отверждающую систему на основе смеси аминных отвердителей – полиэфирамина и изофорондиамин в соотношении (10-40) / (60-90) %. В работе [12] приведены результаты исследований и разработки гибридных эпоксидных связующих низкотемпературного отверждения (до 95 °С) для СВМПЭ-композитов с отвердителями «Арамин», ПЭПА, изофорондиамин.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований реологических свойств установлено, что связующее на основе отвердителя Л-19 имеет самую высокую исходную вязкость 17 Па·с и самую низкую жизнеспособность – не более 60 мин, что свидетельствует о его малой пригодности для изготовления стеклопластиков.

Связующее на основе Изофорондиамин имеет исходную вязкость около 4,5 Па·с и живучесть 90 мин, вполне пригодно для формования композитов. Самую низкую вязкость 1,5 Па·с и высокую жизнеспособность (более 5-ти ч) обеспечивает отвердитель Джеффамин D-230, что позволяет изготавливать композиты на его основе методом «мокрой» намотки.

По физико-механическим свойствам связующие, отвержденные Л-19, Изофорондиамином и Джеффамином D-230, имеют прочность 15 МПа; 23,4 МПа и 50 МПа, соответственно.

Таким образом, результаты экспериментальных данных показали, что более приемлемым отвердителем для связующего и изготовления стеклопластиков по реологическим и физико-механическим свойствам является отвердитель Джеффамин D-230.

*Работа выполнена при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Михайлин, Ю.А. Термореактивные связующие ПКМ / Ю.А. Михайлин // Полимерные материалы. – 2009. – № 2. – С 40-45.
2. Бобылев, В.А. Состояние и перспективы развития эпоксидных материалов. Специальные смолы / В.А. Бобылев // Композитный мир. – № 6. – С. 14-17.
3. Атясова, Е.В. Эпоксидные связующие с повышенной химической стойкостью. Обзор / Е.В. Атясова, А.Н. Блазнов, В.В. Самойленко // Клеи. Герметики. Технологии. – 2019. – № 12. – С. 34-44.
4. Атясова, Е.В. Обзор полимерных связующих с пониженной температурой отверждения / Е.В. Атясова, Н.Н. Ходакова, А.Н. Блазнов // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (22-24 мая 2019 года, г. Бийск) / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2019. – С. 293-299.
5. Полиамидные отвердители Л-18, Л-19, Л-20, ПО -200, ПО-300, отвердитель № 2, № 3, № 5, ХТ-414 [Электронный ресурс] [http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f\\_810\\_49083\\_1.pdf](http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f_810_49083_1.pdf).

6. Изофорондиамин [Электронный ресурс] [http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f\\_807\\_49075\\_1.pdf](http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f_807_49075_1.pdf).
7. Каталог продукции Химэкс Лимитед [Электронный ресурс] [http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f\\_603\\_48945\\_1.pdf](http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f_603_48945_1.pdf).
8. ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.
9. Блазнов, А.Н. Исследование физико-механических свойств связующего на основе отвердителя Этал-45М / А.Н. Блазнов, М.Е. Журковский, В.В. Фирсов, В.В. Самойленко, Н.В. Бычин, Е.В. Атясова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2019. – № 3(27). – С. 100-107.
10. Блазнов, А.Н. Исследование процесса отверждения связующего на основе эпоксидной смолы и отвердителя Этал-45 / А.Н. Блазнов, Н.В. Бычин, М.Е. Журковский // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (22-24 мая 2019 года, г. Бийск) / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2019. – С. 300-303.
11. Пат. РФ № 2606443. Эпоксидная композиция для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов методом вакуумной инфузии / Е.Н. Каблов, Л.В. Чурсова, А.Н. Бабин, и др. Заявл. 13.10.2015 № 2015143321, Опубли. 10.01.2017, Бюл. № 1.
12. Беляева, Е.А. Влияние модификаторов различной химической природы на эксплуатационные свойства эпоксидных связующих для композитов на основе волокон из СВМПЭ / Е.А. Беляева, А.Ф. Косолапов, В.С. Осипчик, Т.П. Кравченко, С.В. Шацкий, Е.С. Ананьева, А.Н. Блазнов // Пластические массы. – 2019. – № 7-8. – С. 57-61

*Самойленко Вячеслав Владимирович – к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Фирсов Вячеслав Викторович – ведущий инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: ferzis@mail.ru*

*Блазнов Алексей Николаевич – д.т.н., доцент, заведующий лабораторией материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305882, e-mail: blaznov74@mail.ru*

*Сакошев Захар Германович – инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: fak1\_00@mail.ru*

# A STUDY INTO RHEOLOGICAL AND PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF BINDERS BASED ON CURING AGENTS L-19, ISOPHORONE DIAMINE AND JEFFAMINE D-230

V.V. Samoilenko, V.V. Firsov, A.N. Blaznov, Z.G. Sakoshev

*Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk*

Here we explore epoxy binders based on resin ED-20 and curing agents L-19, isophorone diamine and Jeffamine D-230. The study aimed at investigating rheological and physicomachanical behavior of the binder specimens. Each binder specimen was fabricated with the recommended component ratio. The variation in viscosity of the binder was determined on a rotational viscometer. All the specimens were cured under the same conditions (at 23°C for 2 h, and then at 60°C for 4 h). The tensile strength of the specimens was measured as per GOST-R 11262-2017. The L-19-based binder had the highest initial viscosity and lowest survivability, while the isophorone diamine-based binder was quite suitable for molding the composites (90 min survivability). The lowest viscosity and highest survivability (over 5 h) were demonstrated by the Jeffamine-based binder. Curing agent L-19 is less suitable for fabricating glass fiber-reinforced plastics, as this binder has a strength of 15 MPa. The isophorone diamine-based binder exhibits a strength of 23.4 MPa. The Jeffamine-based binder has the highest strength of 50 MPa and an acceptable deformability, which, together with good rheological behavior, allows it to be advised for making composites by the wet filament-winding technique

*Index terms: epoxy binders, amine curing agent L-19, isophorone diamine, Jeffamine D-230, strength, tension, rheological behavior, physicomachanical behavior.*

## REFERENCES

1. Mikhailin, Yu.A. Thermoreactive binders for polymer composite materials / Yu.A. Mikhailin // Polimernye Materialy. – 2009. – No. 2. – pp. 40-45. (Rus)
2. Bobylev, V.A. State-of-the-art and prospects of advancement of epoxy-based materials. Special resins. / V.A. Bobylev // Kompozitnyi Mir. – No. 6. – pp. 14-17. (Rus)
3. Atyasova, E.V. Epoxy binders with enhanced chemical durability. Review / E.V. Atyasova, A.N. Blaznov, V.V. Samoilenko // Klei. Germetiki. Tekhnologii. – 2019. – No. 12. – pp. 34-44. (Rus)
4. Atyasova, E.V. Review of polymeric binders with lowered curing temperature / E.V. Atyasova, N.N. khodakova, A.N. Blaznov // Technologies and Equipment of Chemical, Biotechnological and Food Industries: Proc. Of XII All-Russian Scientific-Practical Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists with international participation (22–24 May 2019, Biysk) / AltSTU, BTI. – Biysk: AltSTU Press, 2019. – P. 293-299. (Rus)
5. Polyamide hardeners L-18, L-19, L-20, PO-200, PO-300, curing agents No. 2, No.3, No.5, KhT-414 [electronic resource] [http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f\\_810\\_49083\\_1.pdf](http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f_810_49083_1.pdf).
6. Isophorone diamine [electronic resource] [http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f\\_807\\_49075\\_1.pdf](http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f_807_49075_1.pdf).
7. Product catalogue of Khimex Ltd [electronic resource] [http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f\\_603\\_48945\\_1.pdf](http://www.chimexltd.com/content/data/store/images/f_603_48945_1.pdf).
8. GOST-R 11262-2017 (ISO 527-2:2012) Plastics. A tensile test method. – M.: Standartinform, 2018. – 20 p. (Rus)
9. Blaznov, A.N. A study into physicomachanical properties of the binder based on Etal-45M curing agent / A.N. Blaznov, M.E. Zhurkovskiy, V.V. Firsov, V.V. Samoilenko, N.V. Bychin, E.V. Atyasova // South-Siberian Scientific Bulletin. – 2019. – No. 3(27). – pp. 100-107. (Rus)
10. Blaznov, A.N. A study into the curing process of the binder based on epoxy resin and Etal-45M hardener / A.N. Blaznov, N.V. Bychin, M.E. Zhurkovskiy // Technologies and Equipment of Chemical, Biotechnological and Food Industries: Proc. Of XII All-Russian Scientific-Practical Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists with international participation (22–24 May 2019, Biysk) / AltSTU, BTI. – Biysk: AltSTU Press, 2019. – P. 300-303. (Rus)
11. RU Patent 2606443. An epoxy composition to fabricate items from polymer composite materials by vacuum infusion method / E.N. Kablov, L.V. Chursova, A.N. Babin et al. appl. 13.10.2015 № 2015143321, publ. 10.01.2017, Bull. No. 1. (Rus)
12. Belyaeva, E.A. Efekt of modifiers of different chemical nature on performance properties of epoxyamine binders for composites based on SVMPE fibers / E.A. Belyaeva, A.F. Kosolapov, V.S. Osipchik, T.P. Kravchenko, D.V. Shatskiy, E.S. Ananieva, A.N. Blaznov // Plasticheskie Massy. – 2019. – No. 7-8. – pp. 57-61. (Rus)

*Samoilenko Vyacheslav Vladimirovich – Cand. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Firsov Vyacheslav Viktorovich – Lead Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: ferzis@mail.ru*

*Blaznov Aleksey Nikolayevich – Dr. (Engin.), Assoc. Prof., Head of the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305882, e-mail: blaznov74@mail.ru*

*Sakoshev Zakhar Germanovich – Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: fakl\_00@mail.ru*