

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСНО-ВОЛОКНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Агеева Т.А.

Гусев Евгений Валентинович (ORCID 0000-0003-0705-6368)

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина,
г. Иваново, Россия, 153003, Ивановская область, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

E-mail: gusev_pcm@mail.ru

Набойщикова Наталья Алексеевна (ORCID 0000-0001-6829-2060)

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС

г. Иваново, Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, пр-кт. Строителей, 33.

E-mail: natalina.nn13@gmail.com

Агеева Татьяна Арсеньевна (ORCID 0000-0001-9445-4262)

Ивановский государственный химико-технологический университет,

г. Иваново, Россия, 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.

E-mail: tageeva@isuct.ru

Представлено аппаратурно-технологическое оформление получения полимерных композиционных материалов на основе твердых резольных и новолачных фенолоформальдегидных смол и дисперсного волокнистого наполнителя, полученного трехступенчатой механической переработкой отходов фибрового производства целлюлозно-бумажной промышленности. Отмечены технологические параметры протекающих гидромеханических и термических процессов. Приведены результаты термического анализа процессов пластификации и полимеризации высоконаполненных полимерных композитов, позволяющие оценить физико-термические закономерности протекающих в них преобразований и установить влияние добавочных материалов на процесс полимеризации и структурообразование композита. При этом установлено существенное влияние добавки сульфата алюминия на уплотнение структуры и повышение физико-механических и химических свойств исследуемых фенопластовых композитов. Представлены результаты химической стойкости фенопластовых композитов с 50% наполнением с добавкой сульфата алюминия и без нее от воздействия воды и различных агрессивных растворов кислот, щелочей, солей, отражающие степень стабильности относительного изменения массы и набухания материала. Произведена оценка сорбционных свойств фенопластовых образцов по полученным кривым сорбции, на основе которых осуществлен расчет массопроводных свойств фенопластовых композитов и произведена оценка механизма диффузионной миграции влаги и водостойкости в различных термодинамических условиях.

Ключевые слова: смола, наполнитель, композит, состав, прессматериал, технология, измельчение, пластикация, полимеризация, химическая стойкость, влагостойкость, сорбция, массопроводность

TECHNOLOGICAL REGULARITIES OF PRODUCING PHENOPLASTIC COMPOSITES USING A DISPERSED-FIBER FILLER

Gusev E.V., Naboyschikova N.A., Ageeva T.A.

Evgeny Valentinovich Gusev (ORCID 0000-0003-0705-6368)

Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin,
Ivanovo, Russia, 153003, Ivanovo Region, Ivanovo, Rabfakovskaya Street, 34.

E-mail: gusev_pcm@mail.ru

Natalya Alekseevna Naboyschikova (ORCID 0000-0001-6829-2060)

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations

Ivanovo, Russia, 153040, Ivanovo Region, Ivanovo, Stroiteley Ave., 33.

E-mail: natalina.nn13@gmail.com

Ageeva Tatyana Arsenyevna (ORCID 0000-0001-9445-4262)
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia, 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: tageeva@isuct.ru

This paper presents the hardware and process design for producing polymer composite materials based on solid resol and novolac phenol-formaldehyde resins and dispersed fibrous filler obtained through three-stage mechanical processing of waste fiber from the pulp and paper industry. The process parameters of the hydromechanical and thermal processes are outlined. The results of a thermal analysis of the plasticization and polymerization processes of highly filled polymer composites are presented. This analysis allows us to evaluate the physical and thermal patterns of the transformations occurring within them and to determine the influence of additives on the polymerization process and composite structure formation. A significant effect of aluminum sulfate powder on the densification of the structure and the improvement of the physical, mechanical, and chemical properties of the phenolic plastic composites under study has been established. The results of the chemical resistance of phenolic composites with 50% filling, with and without the addition of aluminum sulfate, against exposure to water and various aggressive solutions of acids, alkalis, and salts are presented. These results reflect the degree of stability of the relative change in mass and swelling of the material. The sorption properties of the phenolic composite samples are assessed using the obtained sorption curves, which are used to calculate the mass transfer properties of the phenolic composites and evaluate the mechanism of moisture diffusion migration and water resistance under various thermodynamic conditions.

Keywords: resin, filler, composite, composition, molding material, technology, grinding, plasticization, polymerization, chemical resistance, moisture resistance, sorption, mass conductivity

Для цитирования:

Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Агеева Т.А. Технологические закономерности получения фенопластовых композитов с использованием дисперсно-волокнутого наполнителя. *Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение*. 2026. № 1. С. 120-129. DOI: 10.6060/snt.20268501.00014

For citation:

Gusev E.V., Naboyshchikova N.A., Ageeva T.A. Technological principles of obtaining phenolic composites using dispersed fibrous filler. *Modern high technology. Regional application*. 2026. N 1. P. 120-129. DOI: 10.6060/snt.20268501.00014

ВВЕДЕНИЕ

Производство полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе фенолоальдегидных связующих (олигомеров) с использованием промышленных отходов является весьма востребованным, т.к. позволяет удешевить продукцию, улучшить эксплуатационно-технические свойства композитов на их основе и расширить сырьевую базу и области применения [1-7].

Во многих научных работах установлено, что эксплуатационно-технические свойства композитов во многом определяются не только видами и содержанием в нем полимерного связующего, наполнителя (ВЦН) и добавочных материалов, но также выбором технологии производства и технологических способов переработки [8-12].

Целью исследования являлось апробирование технологических (физико-механических и

термических) способов получения фенопластовых композиционных материалов (ФПКМ) и оценка их эксплуатационно-технических свойств.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В основу технологических способов получения фенопластовых композиционных материалов с использованием твердых фенолоформальдегидных смол резольного (СФ-342) и новолачного (СФ-10) типов, дисперсно-волокнутого наполнителя (ДВН) (переработанных отходов фибрового производства) и добавочных материалов входят подготовительные операции (сушка, измельчение), смешение компонентов, термические процессы прессформования, пластикация и полимеризации.

В качестве объектов исследования использовались порошкообразные ФПКМ составов, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Состав (% масс.) полимерного композиционного материала на смолах СФ-342 и СФ-010
 Table 1. Composition (% wt.) of the polymer composite material on resins SF-342 and SF-010

ДВН	Смола СФ-342	Смола СФ-010	Уротропин	Каолин	CaO	MgO	Стеарат кальция
40-50	51-41			4,4		0,9	1,2
40-50		47-37	6,8	4,4	0,9		0,9

Аппаратурно-технологическая схема по получению пресспорошка ФПКМ и изделий приведена на рис.1.

Подготовка исходного сырья осуществляется в несколько этапов.

На первом этапе производится сушка (при температуре 60-80°C) и переработка отходов цел-

люлозно-бумажной фибры посредством электро-механической гильотиновой резки до плоских размеров 40-60 мм.

На втором этапе осуществляется среднее измельчение как наполнителя, так и твердой смолы до частиц размером 1-2,5 мм на ударно-ротаторных дробилках типа ИПР100-150.

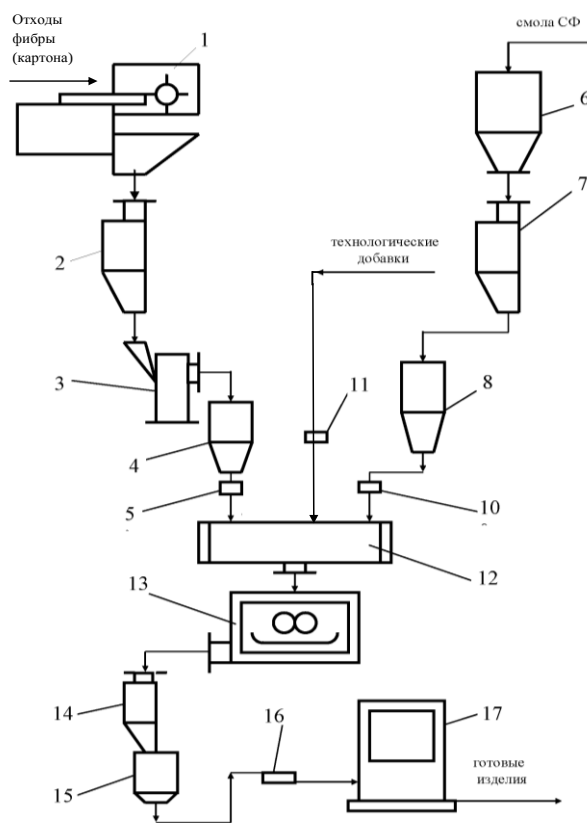


Рис. 1. Технологическая схема получения пресспорошка ФПКМ и изделий:

1 – машина крупной резки; 2, 7, 14 – дробилка ИПР; 3 – ударно-центробежная мельница;
 5, 10, 11 – порционные весы; 4, 6, 8, 15 – бункера; 12 – лопастной смеситель; 13 – вальцы;
 16 – дозатор ФПКМ; 17 – гидравлический пресс

Fig. 1. Flow chart for producing FPCM press powder and products:

1 – Coarse cutting machine; 2, 7, 14 – IPR crusher; 3 – Impact-centrifugal mill;
 5, 10, 11 – Batch scales; 4, 6, 8, 15 – Hoppers; 12 – Paddle mixer; 13 – Rollers; 16 – FPCM batcher; 17 – Hydraulic press

На третьем этапе производится тонкий помол наполнителя на двухступенчатой центробежно-ударной мельнице (разработка ИГХТУ) с воздушной сепарацией для получения дисперсно-

волокнистого наполнителя (ДВН) следующего полидисперсного фракционного состава: волокна длиной от 10÷25 до 110÷160 мкм, диаметром от 5÷7 до 20÷30 мкм [13].

Технологические особенности получения пресс-материалов основываются на следующих способах и их режимных условиях проведения.

Смешение подготовленных компонентов и технологических добавок производится в двухвальном лопастном смесителе или в бегунах сухого помола до получения однородной массы. Наилучшее смешение компонентов осуществляется при использовании бегунов за счет дополнительного истирания и помола смеси, что в конечном итоге приводит к повышению физико-механических свойств изделия в среднем на $8 \div 10\%$. Дополнительные технологические тонкодисперсные добавки вводятся в процессе смешения основных компонентов смеси.

Время смешивания до заданной однородности в среднем составляет 60-70 мин в зависимости от объема перерабатываемой массы и технических данных применяемого оборудования. Термическая обработка порошкообразного пресс-материала производится за счет пластикации полимерной смеси (пропитка расплавленной смолой наполнителя) производится способом вальцевания в обогреваемых (водяным паром) вальцах при зазоре между валками $0,8 \div 1$ мм с температурами их поверхности в пределах $70 \div 120^\circ\text{C}$ (более холодный - $70 \div 80^\circ\text{C}$, горячий $110 \div 120^\circ\text{C}$). Ограничение повышения температуры связано с отверждением применяемых смол. В этом процессе осуществляется пропитка смолой наполнителя и достигается большая однородность смеси за счет улучшения совместимости и усиления взаимодействия на границах фаз полимер - наполнитель. Также, процесс пластикации можно осуществлять на гидравлическом прессе в разогретой до температуры $80 \div 90^\circ\text{C}$ металлической формы при удельном давлении прессования $10 \div 12$ МПа. Продолжительность процесса пластикации определяется помимо температуры и типа смолы, размерами исходной смеси и введением технологических добавочных материалов.

Подготовка пресс-материала размером 1-2 мм для термоформования изделий осуществляется измельчением холодной пластицированной смеси ФПКМ в роторном измельчителе типа ИПР-100. Изготовление полимерно-композиционных изделий производится способом прямого горячего прессования прессматериала в металлических обогреваемых формах на гидравлических прессах при заданных технологических параметрах термпрессования (температуры $170 \div 180^\circ\text{C}$, удельного давления $20 \div 25$ МПа, скорость изотермической выдержки $0,8 \div 1$ мм толщины изделия/мин). Повышение температуры более 180°C способствует

увеличению текучести пресс-материала и нарушению целостности с потерей массы через прессовочную форму.

Следует отметить, что при формовании изделий из полученных композиционных материалов наблюдается хорошая текучесть прессматериала и однородность окрашивания полученных образцов ПКМ порошковыми неорганическими пигментами (2,5% от общего 100% состава прессматериала) в черный, малиновый, зеленый цвета с получением гладкой блестящей фактуры их поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С целью изучения фазовых превращений при пластикации и отверждении пресс-материала, в частности фенопластового пресс-порошка на твердых смолах резольного (СФ-342) и новолачного (СФ-010) типов, исследовались дифференциальные кривые dДСК, по характеру которых можно выявить температурные интервалы пластикации и отверждения вещества при его нагревании по выделению и поглощению тепла. Данные по дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) и термо-гравиметрическому анализу (ТГ) приведены на рис. 2÷5.

По кривым ДСК (dДСК) можно проследить фазовые преобразования при пластикации (до 120°C) и отверждении ($120 \div 180^\circ\text{C}$), а по кривым ТГ потери массы материала за счет выделения летучих веществ.

На рис. 2 и 3 отражены фазовые преобразования для пресс-материала на основе смолы СФ-342 без добавки сульфата алюминия и с ее применением.

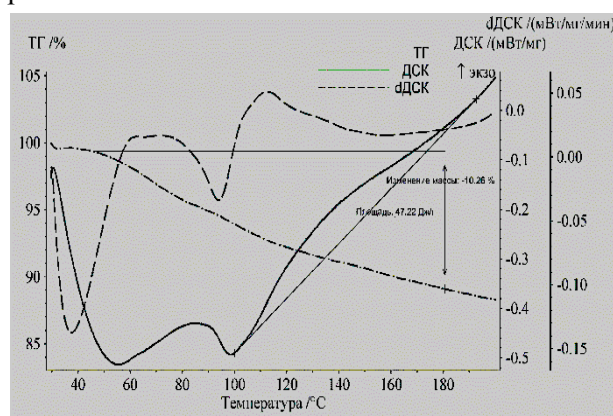


Рис.2. Кривые термического анализа ТГ, ДСК, dДСК ФПКМ на олигомере СФ-342

Fig. 2. Thermal analysis curves TG, DSC, dDSC FPCM on oligomer SF-342

По кривым ДСК (dДСК) видно, что в интервале температур $20 \div 55^\circ\text{C}$ наблюдается эндо-

термические (потребление теплоты) эффекты, а далее в основном экзотермические эффекты (выделение теплоты), что способствует текучести пресс-материала.

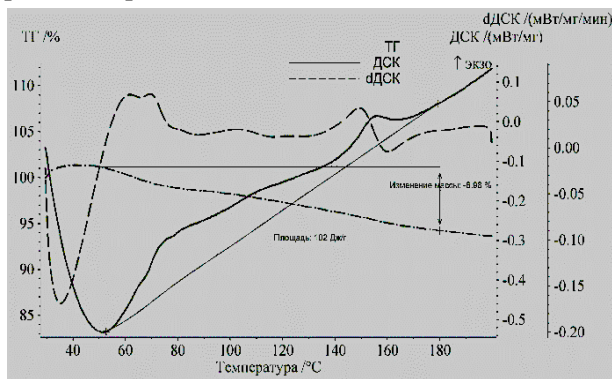


Рис.3. Кривые термического анализа ТГ, ДСК, dДСК ФПКМ на олигмере СФ-342 с добавкой 2% Al_2SO_4
Fig. 3. Thermal analysis curves TG, DSC, dDSC FPCM on oligomer SF-342 with the addition of 2% Al_2SO_4

Процесс отверждения ($120\div 180^\circ\text{C}$) протекает с небольшим выделением теплоты без использования легированной добавки и более существенным с ее применением. Характер кривых dДСК показывает, что процесс отверждения протекает достаточно стабильно (особенно при использовании добавки в пресс-материале) без каких-либо существенных изменений, а повышение экзотермического эффекта способствует большей сплоченности элементов сетчатой структуры. При этом можно отметить, что процесс отверждения заканчивается при температуре 180°C . Из термогравиметрических кривых (ТГ) видно, что потеря массы пресс-материала сокращается на 32% (выделение летучих веществ) с применением легирующей добавки.

На рис. 4 и 5 отражены фазовые преобразования для пресс-материала на основе новолачной смолы СФ-010 с использованием уротропина и легированной добавки сульфата алюминия и с ее отсутствием.

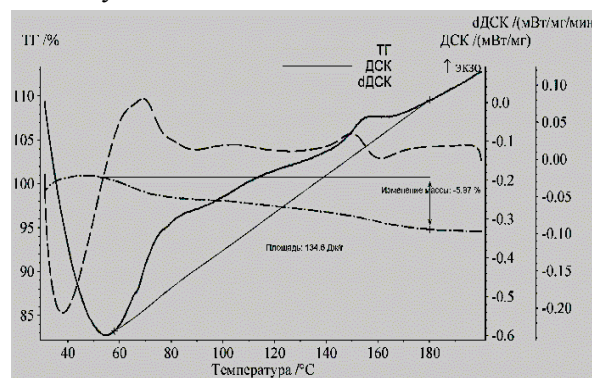


Рис.4. Кривые термического анализа ТГ, ДСК, dДСК ФПКМ на олигмере СФ-010
Fig. 4. Thermal analysis curves TG, DSC, dDSC FPCM on oligomer SF-010

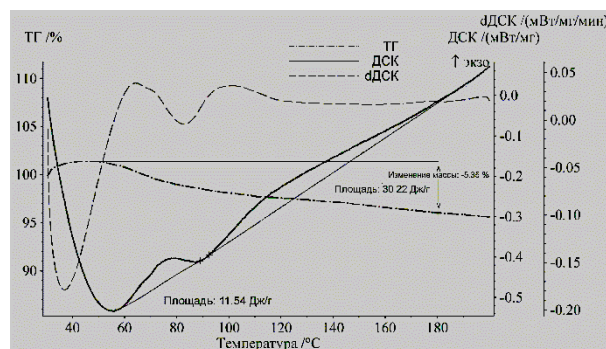


Рис. 5. Кривые термического анализа ТГ, ДСК, dДСК ФПКМ на олигмере СФ-010 с добавкой 2% Al_2SO_4
Fig. 5. Thermal analysis curves TG, DSC, dDSC FPCM on oligomer SF-010 with the addition of 2% Al_2SO_4

Таблица 2

Параметры химической стойкости ФПК к водным растворам щелочей
Table 2. Parameters of chemical resistance of FPC to aqueous alkali solutions

Среда	Время выдержки	Относительное изменение массы, %		Коэффициент набухания, %	
		СФ-342	СФ-010	СФ-342	СФ-010
NH_4OH , 10%	24 ч	0,91*	0,81*	3,3*	1,67*
	7 сут	2,34/1,36*	12,77/2,44*	9,4/4,74*	19,72/3,78*
	14 сут	4,69	13,48	10,22	20,94
	после т/о	1,56	0,36	-	-
NaOH , 5%	24 ч	2,29*	-	6,32*	-
	7 сут	18,84/11,72*	-	34,65/18,29*	-
	14 сут	31,88	-	53,47	-
	после т/о	2,9	-	-	-

Примечание. *данные при модифицировании ФПК добавкой 2% сульфатом алюминия от массы олигомера; т/о тепловая обработка (сушка)

Фазовые преобразования в прессматериале на новолачной смоле протекают более интенсивно (за счет уротропина), чем на резольной смоле. Однако по кривым ДСК видно, что применение легирующей добавки снижает эффективность выделения теплоты, что способствует протеканию процесса отверждения без существенных напряженно-деформированных преобразований структуры материала. При этом можно предположить, что при более стабильном протекании процесса отверждения пресс-материала (кривая dДСК) происходит большее упорядочение («сшитости») структуры. Из кривых ДСК видно, что процесс отверждения можно заканчивать при температуре 170°C. Из термогравиметрических кривых (ТГ) видно, что потеря массы пресс-материала сокра-

щается на 10,3% (выделение летучих веществ) с применением легирующей добавки. Следует отметить, что ранее проведенные исследования разработанных фенопластовых композитов по предложенной аппаратурно-техно-логической схеме установили возможность изготовления промышленных изделий химического машиностроения и общетехнического назначения [14-16].

С целью расширения эксплуатационно-технических возможностей разработанных ФПК были проведены более глубокие исследования их химических и сорбционных свойств.

Результаты исследований по химической стойкости композитов к различным агрессивным жидкостям приведены в табл. 2-4.

Таблица 3

**Параметры химической стойкости ФПК к водным растворам органических кислот
Table 3. Chemical resistance parameters of FPC to aqueous solutions of organic acids**

Среда	Время выдержки	Относительное изменение массы, %		Коэффициент набухания, %	
		СФ-342	СФ-010	СФ-342	СФ-010
Уксусная кислота, 20%	24 ч	1,65*	0,77*	1,54*	1,17*
	7 сут	4,29/2,48*	3,88/1,53*	6,85/3,73*	4,74/2,77*
	14 сут	5,71	4,65	8,2	5,1
	после т/о	1,43	0,39	-	-
Уксусная кислота, 50%	24 ч	0,75*	0,83*	1,49*	1,24*
	7 сут	2,76/1,5*	5,93/2,94*	6,52/2,83*	8,68/3,72*
	14 сут	3,45	6,67	10,56	10,56
	после т/о	0,69	0,37	-	-
Азотная кислота, 10%	24 ч	2,24* ³	2,5*	3,72*	2,23*
	7 сут	8,4/6,77*	10,34/4,55*	15,26/8,9*	11,7/8,76*
	14 сут	10,7	12,93	18,33	19,7
	после т/о	3,05	0,37	-	-
Азотная кислота, 40%	24 ч	4,65*	3,69*	5,15*	8,91*
	7 сут	22,66/13,18*	23,53/13,7*	27,6/15,77*	37,92/17,9*
	14 сут	31,25	-	34,55	-
	после т/о	5,47	0,43	-	-
Соляная кислота, 10%	24 ч	1,52*	1,79*	1,14*	5,68*
	7 сут	5,93/3,85*	13,74/7,34*	9,0/4,5*	10,5/6,24*
	14 сут	14,4	16,03	13,95	14,59
	после т/о	0,85	2,29	-	-
Соляная кислота, 20%	24 ч	1,89*	1,55*	1,58*	2,92*
	7 сут	6,34/4,58*	8,22/5,56	12,66/6,02*	11,08/5,15*
	14 сут	8,45	10,96	19,83	16,25
	после т/о	0,7	1,37	-	-
Соляная кислота, 35%	24 ч	2,27*	1,51*	1,85*	2,24*
	7 сут	9,86/5,51*	6,33/2,27*	13,97/7,06*	12,6/3,97*
	14 сут	13,38	9,33	15,69	18,35
	после т/о	0,46	1,33	-	-
Серная кислота, 5%	24 ч	0,74*	0,826*	2,16*	3,02*
	7 сут	1,38/1,49*	3,39*	7,3/2,51*	3,51*
	16 сут	6,21	-	14,68	-
	после т/о	0,34	-	-	-

Серная кислота, 10%	24 ч	1,15*	1,21*	2,26*	2,75*
	7 сут	2,81/3,13*	8,05/3,62*	8,48/2,59*	7,25/3,72*
	16 сут	5,98	10,74	13,88	9,18
	после т/о	0,71	2,68	-	-
Серная кислота, 20%	24 ч	1,48*	1,67*	2,39*	2,05*
	7 сут	2,74/4,55*	8,48/3,36*	8,66/2,74	10,24/4,13*
	16 сут	5,48	11,01	12,81	14,78
	после т/о	1,37	1,27	-	-
Серная кислота, 30%	24 ч	1,55*	1,85*	2,43*	1,1*
	7 сут	2,14/6,3*	8,98/2,5*	8,81/2,81*	14,7/4,24*
	16 сут	4,64	11,32	12,9	16,24
	после т/о	2,14	0,39	-	-

Примечание. *данные при модифицировании ФПК добавкой 2% сульфатом алюминия от массы олигомера; т/о тепловая обработка (сушка)

Таблица 4

**Параметры химической стойкости ФПК к органическим жидкостям
Table 4. Chemical resistance parameters of FPC to organic liquids**

Среда	Время выдержки	Относительное изменение массы, %		Коэффициент набухания, %	
		СФ-342	СФ-010	СФ-342	СФ-010
CaCl, 10%	7 сут	6,72	5,8	8,95	5,96
	14 сут	10,45	10,14	14,67	10,29
	после т/о	0,37	2,9	-	-
NaCl, 10%	4 ч	0,81	10,43	6,95	13,12
	9 сут	3,25	14,78	10,33	14,61
	16 сут	3,66	15,64	12,04	16,33
	после т/о	0,81	0,43	-	-
Ацетон	4 ч	0,74	5,09	0,48	14,11
	9 сут	1,48	11,86	1,06	31,25
	16 сут	1,85	13,56	1,54	37,42
	после т/о	0,74	0,42	-	-
Этил-ацетат	4 ч	3,62	19,38	4,41	33,04
	9 сут	5,07	24,8	6,4	44,63
	16 сут	5,8	27,9	7,16	46,16
	после т/о	3,62	0,39	-	-
Толуол	4 ч	1,6	3,88	2,02	3,0
	9 сут	2,0	6,2	3,62	4,54
	16 сут	2,8	6,58	4,02	5,24
	после т/о	0	1,55	-	-
Керосин	4 ч	0,79	2,17	1,05	3,42
	9 сут	1,75	3,26	4,05	3,81
	16 сут	1,97	3,62	4,16	4,0
	после т/о	0,79	0,36	-	-

Представленные характеристики химической стойкости фенопластовых композитов без модифицирования их добавкой (2% сульфат алюминия) от воздействия различных агрессивных жидкостей в основном показывают умеренную химическую стойкость (до 15%), а введение добавки позволяет повысить сопротивляемость к химическому воздействию (кроме раствора серной кислоты на основе смолы СФ-342) для большинства жидкостей в 2÷2,5 раза и отнести ФПК к группе хорошей химической стойкости (до 10%) [17-18]. Сорбционная стойкость ФПК с 50% на-

полнением определяется на интенсивности поглощения влаги в виде жидкости и пара из атмосферного воздуха различной относительной влажности, которая связана с геометрией внутрипористой структуры материала и различными механизмами диффузионного проникновения [19]. Для оценки характера и механизмов связи влаги с фенопластовыми композитами были получены кривые сорбции в различных условиях термодинамического равновесия, т. е. зависимости равновесной абсолютной сорбции материала W от относительной влажности воздуха (рис.6).

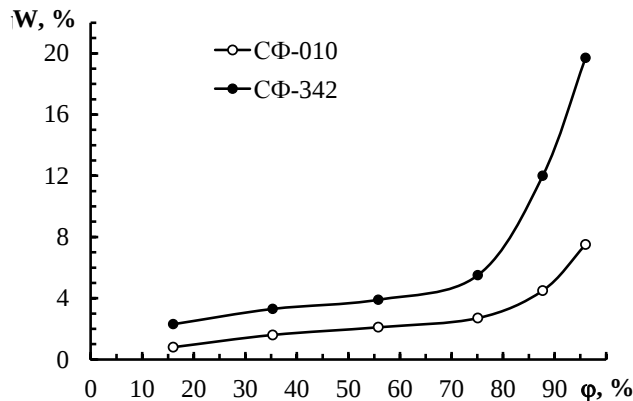


Рис. 6. Кривые сорбции ФПК с 50% наполнением при температуре воздуха 22°C
Fig. 6. Sorption curves of FPC with 50% filling at an air temperature of 22°C

Анализируя кривые сорбции паров воды фенопластовых композитов следует заметить, что основную долю связанной влаги составляет адсорбционная ($\phi < 75\%$) и капиллярная ($\phi > 75\%$).

Из полученных экспериментальных данных (рис. 6) видно, что при $\phi < 75\%$ влажность материала практически постоянная с малым повышением $W = 1 \div 5\%$, а при значениях более $\phi > 75\%$ проявляется существенное увеличение влажности материала, особенно у фенопластовых композитов на основе олигомера СФ-342. Из этого следует, что в области $\phi = 0 \div 75\%$ наблюдается адсорбционно-связанная форма связи влаги с капиллярно-пористым материалом, свидетельствующая о хорошей устойчивости внутридиффузионного со-

противления миграции влаги в толщу структуру разработанных фенопластовых композитов. При значениях более $\phi > 75\%$ сопротивление поглощению влаги снижается, т. е. проявляется небольшое набухание эластичных пор поверхностных слоев материала.

Интенсивность диффузионного перемещения влаги внутрипористом пространстве твердого тела, определяется эффективным коэффициентом массопроводности, значение которого можно рассчитать, используя кривые сорбции [19-20].

На рис. 7 приведены рассчитанные закономерности эффективного коэффициента массопроводности в зависимости от влагосодержания материала [19-20].

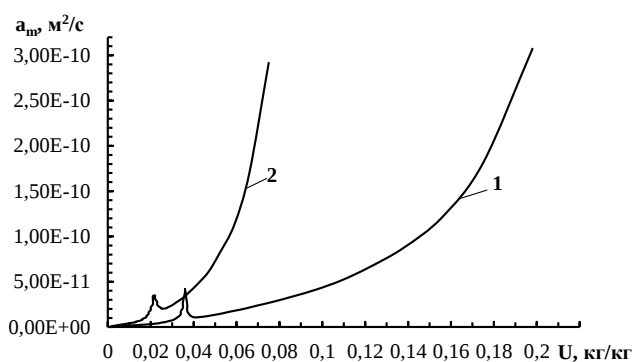


Рис. 7. Кривые массопроводности ФПК при температуре воздуха 22°C на различных олигомерах: 1 – СФ-342; 2 – СФ-010
Fig. 7. FPC mass conductivity curves at an air temperature of 22°C for various oligomers: 1 – SF-342; 2 – SF-010

Характер и значения характеристик проявления полученных закономерностей (рис. 6-7) показывает преобладание наличия адсорбционно-

связанной связи влаги с материалом ($\phi = 0,1 \div 0,75$) при низком его влагосодержании ($U = 0,02 \div 0,06$), создающем внутри пористого тела большое диф-

фузионное сопротивление внутренней миграции влаги, что соответствует более плотной капиллярно-пористой структуре тела в области мономолекулярной адсорбции с ориентировочным средним размером пор в интервале $0,1 \div 1$ нм и свидетельствует о хорошей водостойкости ФПК. [21].

Практической значимостью полученных данных является установление термодинамических условий эксплуатации и хранения ФПК.

ВЫВОДЫ

Разработанное аппаратурно-технологическое оформление получения фенопластовых композитов на основе твердых фенолоформальдегидных смол и дисперсно-волоконистых наполнителей позволяет произвести полимерные композиты (ПК), соответствующие нормативно-техническим требованиям к изделиям химического машиностроения и общетехнического назначения.

Исследования процессов пластикации и полимеризации ПКМ при термическом воздействии показали возможность управлять их структурообразованием и количественным выделением

летучих веществ при повышении температуры в интервале $140 \div 180^\circ\text{C}$ и введении в композит легированной добавки серноокислого алюминия.

Приведенные результаты исследования химического воздействия ряда агрессивных сред различной концентрации и сорбционного поглощения влаги из атмосферного воздуха различной относительной влажности на ПК показали хорошую сопротивляемость диффузионному проникновению сред в полимерные композиты, что говорит об уплотнении («сшитости») пространственно-сетчатой структуры системы полимер-наполнитель, особенно, при введении легированной добавки, что отражается в повышении упругих свойств композитов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 5-1. С. 245-256.
2. Ершова О.В., Ивановский С.К., Чупрова Л.В., Бахаева А.Н. Современные композиционные материалы на основе полимерной матрицы. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 4-1. С. 14-18.
3. Алиева А.П. Композиционные материалы на основе фенолформальдегидных смол. *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2021. № 1. 34-43.
4. Застрогина О.Б., Синяков С.Д., Серкова Е.А. Материалы на основе фенолформальдегидных олигомеров резольного и новолачного типов. *Труды ВИАМ* 2021, № 11 (105) 55-65. DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-55-65.
5. Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы продуктами сульфитно-целлюлозного производства. *Системы. Методы. Технологии*. 2016. № 1 (29) С. 113-119.
6. Самойлов В.М., Будник Д.А., Тарасов К.А., Фатеева М.А., Гончарова Н.Н., Находнова А.В., Ельчанинова В.А., Конюшенков А.А. Свойства пресс-волоконитов на основе вискозного углеродного волокна и фенолформальдегидных смол разных типов. *Пластические массы*. 2022; (11-12):26-29. <https://doi.org/10.35164>.
7. Сабадаха Е.Н., Прокопчук Н.Р., Шутова А.Л., Гроба А.И. Термостабильные композиционные материалы. *Труды Белорусского государственного технологического университета*. 2017. № 2. Серия 2. С.108-115.
8. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб: Изд-во «Научные основы и технологии». 2013. 752 с.

REFERENECES

1. Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., A.S. Torlova, Pikalov E.S. Modern polymer composite materials and their application. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2018. N 5-1. P. 245-256. (in Russian).
2. Ershova O.V., Ivanovsky S.K., Chuprova L.V., Bakhaeva A.N. Modern composite materials based on a polymer matrix. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2015. N 4-1. P. 14-18. (in Russian).
3. Alieva A.P. Composite materials based on phenol-formaldehyde resins. *Industrial production and use of elastomers*. 2021. N 1. P. 34-43. DOI: 10.24412/2071-8268-2021-1-34-43. (in Russian).
4. Zastrogina O.B., Sinyakov S.D., Serkova E.A. Materials based on phenol-formaldehyde oligomers of resol and novolak types. *WORKS OF VIAM*. 2021, N. 11(105). P. 55-65. DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-55-65. (in Russian).
5. Rusakov D.S. Modification of phenol-formaldehyde resin with products of sulfite-cellulose production. *Systems. Methods. Technologies*. 2016. N 1 (29). P. 113-119. (in Russian).
6. Samoilov V.M., Budnik D.A., Tarasov K.A., Fateeva M.A., Goncharova N.N., Nakhodnova A.V., Elchaninova V.A., Konyushenkov A.A. Properties of press fiber reinforced plastics based on viscose carbon fiber and phenol-formaldehyde resins of different types. *Plastics*. 2022. N (11-12). P 26-29. (in Russian).
7. Sabadakh E.N., Prokonchuk N.R., Shutova A.L., Groba A.I. Thermostable composite materials. *Proceedings of the Belarusian State Technological University*. 2017. N. 2. Series 2. P. 108-115. (in Belarus).
8. Mikhailin Yu.A. Fibrous polymer composite materials in technology. SPb: Publishing house "Scientific bases and technologies". 2013. 752 p. (in Russian).
9. Kerber M.L. Polymer composite materials: structure, properties, technologies. Ed. Academician of Berlin A.A. SPb.: Publishing house "TsOP Professiya". 2014. 592 p. (in Russian).

9. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии. Под ред. академика Берлина А.А. СПб.: Изд-во «ЦОП Профессия». 2014. 592 с.
10. Герасимова В.М., Zubova N.G., Zakharevich A.M., Ustinova T.P. Исследование структуры и свойств композиционных материалов на основе модифицированных вискозных технических нитей. *Вестник технологического университета*. 2017. Т. 20. № 2. С. 70-71.
11. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. Технологии производства, свойства и области применения композиций на основе фенолформальдегидных смол. *Научное обозрение. Технические науки*. 2017. № 2. С. 96-114.
12. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Технологии получения и свойства фенолформальдегидных смол и композиций на их основе. *Научное обозрение. Технические науки*. 2017. № 2. С. 15-28.
13. Гущина Т.В., Гущина Е.А., Колобов М.Ю., Блиничев В.Н. Исследование мельницы ударно-отражательного действия. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. Иваново, 2020. № 3. С. 54-59.
14. Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Агеева Т.А. Технологические предпосылки получения композиционного материала на основе твердых синтетических смол и волокнистого наполнителя. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 58-63.
15. Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Агеева Т.А., Колобов М.Ю. Разработка и получение фенопластовых композитов машиностроительного назначения. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 9. С. 82-89.
16. Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Агеева Т.А. Исследование комплекса функциональных свойств фенопластовых композитов с использованием дисперсно-волоконного наполнителя. *Пластические массы*. 2023. 1(1-2) С. 14-16.
17. Селяев В.П., Иващенко Ю.Г., Низина Т.А. Полимербетоны. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2016. 284 с.
18. Соломатов В.И., Селяев В.П., Соколова Ю.А. Химическое сопротивление материалов. М.: РААСН, 2001. 284 с.
19. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах с твердой фазой. М: Химия, 1980. 248 с.
20. Гусев Е.В., Сокольский А.И., Сергиенкова А.А., Шуина Е.А. Массопроводность дисперсных и листовых материалов в условиях термодинамического равновесия. *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2023. №6. С. 38-42.
21. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия. 2084. 320 с.
10. Gerasimova V.M., Zubova N.G., Zakharevich A.M., Ustinova T.P. Investigation of the structure and properties of composite materials based on modified viscose industrial yarns. *Technological University Bulletin*. 2017. V. 20. N 2. P. 70-71. (in Russian).
11. Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S. Production technologies, properties and fields of application of compositions based on phenol-formaldehyde resins. *Scientific Review. Technical science*. 2017. N 2. P. 96-114. (in Russian).
12. Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Production technologies and properties of phenol-formaldehyde resins and compositions based on them. *Scientific Review. Technical science*. 2017. N 2. P. 15-28. (in Russian).
13. Gushchina T.V., Gushchina E.A., Kolobov M.Yu., Blinichev V.N. Study of an impact-reflective mill. *Modern high technology. Regional application*. 2020. N 3. P. 54-59. (in Russian).
14. Gusev E.V., Naboishchikova N.A., Ageeva T.A. Technological background for obtaining a composite material based on hard synthetic resins and fiber filler. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 58-63. (in Russian).
15. Gusev E.V., Naboishchikova N.A., Ageeva T.A., Kolobov M.Yu. Development and production of phenolic composites for mechanical engineering purposes. *News of universities. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 9. P. 82-89. (in Russian).
16. Gusev E.V., Naboishchikova N.A., Ageeva T.A. Study of a set of functional properties of phenolic composites using a dispersed fibrous filler. *Plastics*. 2023. N 1 (1-2). P.14-16. (in Russian).
17. Selyaev V.P., Ivashchenko Yu.G., Nizina T.A. Polymer concretes. Saransk: Publishing House of Mordov. university 2016. 284 p (in Russian).
18. Solomatov V.I., Selyaev V.P., Sokolova Yu.A. Chemical resistance of materials. Moscow: RAASN. 2001. 284 p. (in Russian).
19. Rudobashta S.P. Mass Transfer in Solid-Phase Systems. Moscow: Chemistry. 1980. 248 p. (in Russian).
20. Gusev E.V., Sokolsky A.I., Sergienkova A.A., Shuina E.A. Mass conductivity of dispersed and sheet materials under thermodynamic equilibrium conditions. *Bulletin of Ivanovo State Power Engineering University*. 2023. N 6. P. 38-42. (in Russian).
21. Sazhin B.S. Basics of Drying Technique. Moscow: Chemistry. 2084. 320 p. (in Russian).

Поступила в редакцию(Received) 27.11.2025
Принята к опубликованию (Accepted) 01.27.2026