

## Переработка отходов фторопластов в ультрадисперсный политетрафторэтилен для получения смазок и защитных покрытий

© 2019. С. Л. Фукс, к. т. н., с. н. с., С. В. Хитрин, д. х. н., профессор,  
С. В. Девятерикова, к. т. н., доцент,  
Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,  
e-mail: usr01730@vyatsu.ru, tzb\_fuks@vyatsu.ru, ikhitrina@mail.ru

Образование до 50% отходов при производстве и потреблении фторопластов приводит к накоплению в окружающей среде политетрафторэтилена (ПТФЭ), неспособного к безопасной деструкции в природных условиях. Чрезвычайно актуальна эффективная переработка отходов ПТФЭ без выделения опасных веществ. В работе определены состав и структура летучих и твёрдых высокомолекулярных продуктов, образующихся при переработке отходов ПТФЭ методами предложенной нами термодеструкции с исчерпывающим фторированием (Ф-4 и Ф-4Д) и гидротермальной деструкции (Ф-4). Летучая фаза, выделяющаяся при переработке отходов Ф-4Д методом термодеструкции с исчерпывающим фторированием трифторидом кобальта, состоит из перфторпарафинов нормального строения с молекулярной массой свыше 338. В основном, образуются твёрдые нормального строения перфторалканы с высокой молекулярной массой ( $C_{10}$ – $C_{20}$  и более). Твёрдая фракция представлена сфероидальными моночастицами деструктурированных макромолекул ПТФЭ. Частицы порошка ультрадисперсного фторопласта УПТФЭ (Ф-4Д), полученного непосредственно из реактора, состоят из пластинок с размером частиц 70–450 нм. Частицы сухого остатка взвеси УПТФЭ в перфтордекалине приобретают вид пористых агломератов сфероидальной формы, имеющей поры размером 50–300 нм. Размеры сфероидов взвеси находятся в диапазоне 220–5500 нм. Частицы порошка УПТФЭ (Ф-4), полученного из реактора, и взвеси УПТФЭ в перфтордекалине, состоят из пластин, свёрнутых в сфероиды с диагональю 433–4132 нм. Частицы УПТФЭ, полученного методом гидротермальной деструкции, имеют беспористую сфероидальную форму с диагональю 400–3000 нм. Исследованы фторированные смазки на основе сополимера тетрафторэтилена и этилена, ПТФЭ, УПТФЭ, полученного термодеструкцией с исчерпывающим фторированием трифторидом кобальта, УПТФЭ, полученного термодеструкцией ПТФЭ гидротермальным способом. УПТФЭ, полученный методом термодеструкции с исчерпывающим фторированием из отходов фторопласта Ф-4Д, обеспечивает минимальный коэффициент трения качения. Изучено образование композиционных защитных покрытий металлов, содержащих УПТФЭ, толщиной до 80 мкм.

**Ключевые слова:** фторопласт, ультрадисперсный, термическая деструкция политетрафторэтилена с исчерпывающим фторированием, гидротермическая деструкция, смазки, защитные покрытия.

## Processing of fluoroplast waste to ultradisperse polytetrafluoroethylene for obtaining lubricants and protective coatings

© 2019. S. L. Fuks <sup>ORCID: 0000-0002-9236-2944</sup>, S. V. Khitrin <sup>ORCID: 0000-0001-6874-6018</sup>  
S. V. Devyaterikova <sup>ORCID: 0000-0003-1863-1209</sup>  
Vyatka State University,  
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,  
e-mail: usr01730@vyatsu.ru, tzb\_fuks@vyatsu.ru, ikhitrina@mail.ru

The formation of up to 50% of waste in the production and consumption of fluoroplastics leads to the accumulation of polytetrafluoroethylene (PTFE) in the environment, which is not capable of safe destruction under natural conditions. Efficient recycling of PTFE waste without the release of hazardous substances is extremely important. In this paper, the composition and structure of volatile and solid high-molecular products formed during the processing of PTFE waste by the methods of thermal decomposition proposed by us with exhaustive fluoridation (F-4 and F-4D) and hydrothermal destruction (F-4) are determined. The volatile phase released during the processing of waste F-4D by thermal decomposition with exhaustive fluoridation with cobalt trifluoride consists of normal perfluoroparaffins with molecular weight above 338. Mostly, solid normal structure perfluoroalkanes with high molecular weight ( $C_{10}$ – $C_{20}$  and more) are formed. The solid fraction is represented by spheroidal monoparticles of unstructured PTFE macromolecules. The powder particles of ultrafine fluoroplast UPTFE (F-4D), obtained directly from the reactor, consist of plates with a particle size of 70–450 nm. The particles of the dry residue of UPTFE suspension in perfluorodecalin take the form of porous spheroidal agglomerates having pores of 50–300 nm in size. Suspension spheroids are in the range of 220–5500 nm.

Particles of UPTFE powder (F-4), obtained both directly from the reactor and UPTFE suspension in perfluorodecalin, consist of plates rolled into spheroids with a diagonal of 433–1132 nm. They are combined into agglomerates, having a diameter of 3–5 microns. Particles UPTFE obtained by the method of hydrothermal destruction, have a non-porous spheroidal shape with a diagonal of 400–3000 nm.

Fluorinated lubricants based on a copolymer of tetrafluoroethylene and ethylene, PTFE, UPTFE, obtained by thermal destruction with exhaustive fluoridation of cobalt trifluoride, UPTFE, obtained by the destruction of PTFE by hydrothermal method. UPTFE, obtained by thermal destruction with exhaustive fluoridation from fluoroplastic waste F-4D, provides the minimum coefficient of rolling friction. The formation of composite protective coatings of metals containing UPTFE with a thickness of up to 80  $\mu\text{m}$  is studied.

**Keywords:** waste, fluoroplastic, ultradisperse, thermal destruction of polytetrafluoroethylene with exhaustive fluoride, hydrothermal degradation, lubricants, protective coatings.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) – базовый полимер класса фторопластов, обладающий рядом специфических свойств: высокой химической и климатической стойкостью, нерастворимостью в большинстве известных растворителей, высокой гидро- и лиофобностью, прекрасными электроизоляционными качествами, рекордно низким коэффициентом трения. Дополнительное достоинство полимера – сохранение эксплуатационных характеристик в широком температурном интервале, от минус 269 до плюс 260 °С, что является большой редкостью для полимеров. Материал подвергается механической обработке, что позволяет изготавливать из него разнообразные изделия. Он не подвержен старению, обладает биосовместимостью с живыми тканями, может включаться в живые организмы при попадании в окружающую среду (ОС). Набор уникальных свойств обеспечивает быстро растущее применение ПТФЭ во многих отраслях науки, техники, промышленности, в медицине и быту [1–5].

Одним из сдерживающих факторов, ограничивающих более широкое применение ПТФЭ, является экологический, связанный с образованием большого количества отходов при получении и производстве изделий из ПТФЭ, сложностями вторичной переработки отходов, их уничтожения, выделением при этом в ОС опасных веществ. При переработке ПТФЭ (фторопласта марки Ф-4 или его зарубежных аналогов, известных под названием «тефлон» и др.) образуется до 30% отходов, которые не имеют средств к природным объектам и не подвергаются деструкции. В настоящее время в Российской Федерации накоплены сотни тысяч тонн отходов фторопласта марки Ф-4 и композиций на его основе [6]. В последние годы лишь часть этих отходов нашла применение, в частности, в производстве композиционных материалов из ультрадисперсного ПТФЭ (УПТФЭ) [7–10]. В связи с этим актуальной задачей является разработка

современных универсальных технологий переработки отходов ПТФЭ в УПТФЭ.

В отличие от переработки отходов термопластичных фторполимеров измельчением на дробилках, грануляцией или экструзией, переработка отходов ПТФЭ основана на необходимости дезинтеграции отходов высокой степени [8–15]. Для изготовления изделий размеры частиц, полученных из отходов, должны быть не более 200 мкм. В настоящее время используют преимущественно три метода измельчения.

Первый способ измельчения отходов [6] заключается в охлаждении материала хладагентами для придания ему хрупкости и последующем механическом измельчении в дробилках и мельницах. Образуется мелкодисперсный порошок ПТФЭ с частицами сферической формы. Однако способ неэкономичен из-за высокой стоимости оборудования и его обслуживания.

Второй способ [8–11] заключается в использовании механических дробилок после облучения ПТФЭ со снижением молекулярной массы до 10000. При сочетании нагрева (200–300 °С) и облучения получают порошок с размером частиц до 5 мкм. Тем не менее, радиационное облучение отходов ПТФЭ в значительных объемах нерентабельно, так как требует дорогостоящего оборудования.

Третий способ [8, 9, 16–19] включает процессы термодеструкции, сублимации продуктов разложения и конденсации в присутствии различных добавок, например, гидродифторида аммония. При этом образуется порошок УПТФЭ с выходом более 60% и достаточно высокой адгезионной способностью [13]. Для увеличения дисперсности, белизны порошка УПТФЭ и его выхода нами разработаны методы термодеструкции отходов ПТФЭ в присутствии водяного пара или трифторида кобальта [14, 16, 20].

*Целью работы* явилось изучение характеристик продуктов, полученных в результате

термодеструкции отходов фторопласта в условиях исчерпывающего фторирования или гидротермальной деструкции для их эффективного применения в широко востребованных трибологических материалах и покрытиях.

**Объекты и методы исследования**

В работе в качестве отходов фторопластов исследовали отходы производства суспензионного и эмульсионного ПТФЭ марок Ф-4 и Ф-4Д, отобранные в 2013–2015 гг. на ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк». Процесс термодеструкции отходов производства фторопластов Ф-4 и Ф-4Д с исчерпывающим фторированием трифторидом кобальта или под воздействием водяного пара осуществляли на разработанных нами ранее лабораторной [16] и опытной промышленной установках [20].

Состав летучих продуктов, полученных при термодеструкции фторопластовых отходов ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк», исследовали методами газожидкостной хроматографии и масс-спектрометрии на приборах Hewlett Packard Fisons Instruments MD 800, Hewlett Packard MD 800 Fisons GC 8000 и SHIMADZU с масс-селективным детектором и встроенной персональной ЭВМ для идентификации веществ по электронным библиотекам масс-спектров известных соединений.

Морфологию и структуру продуктов определяли методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа марки JEOLJSM-6510 LV (Япония) и программного пакета «Semmain menu».

Исследования элементного химического состава осуществляли энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (ЭРМ) при помощи датчика, встроенного в электронный микроскоп.

**Результаты и обсуждение**

**Состав и структура продуктов, полученных при термодеструкции отходов Ф-4Д с исчерпывающим фторированием.** Состав летучей фракции, поглощённой перфтордекалином (ПФД), приведён в таблице 1.

Как видно, летучая фаза состоит из перфторалканов (ПФА) нормального строения  $C_nF_{2n+2}$  с молекулярной массой 338 и более. Твердая фракция УПТФЭ представлена сфероидальными блоками, образующимися из большого числа связанных частиц, состоящих из перфторалканов более низких, чем исходных, молекулярных масс.

На рисунках 1, 2 и в таблице 2 приведены результаты изучения структур уловленного порошка УПТФЭ и сухого остатка разделяющейся взвеси УПТФЭ в ПФД и их составов методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного анализа (ЭДА).

Частицы порошка УПТФЭ (Ф-4Д), полученного непосредственно из реактора, сферической или более сложной формы, имеют размеры 462–1969 нм. Сухой остаток взвеси УПТФЭ в ПФД приобретает вид более крупных образований, имеющих пустоты 50–300 нм.

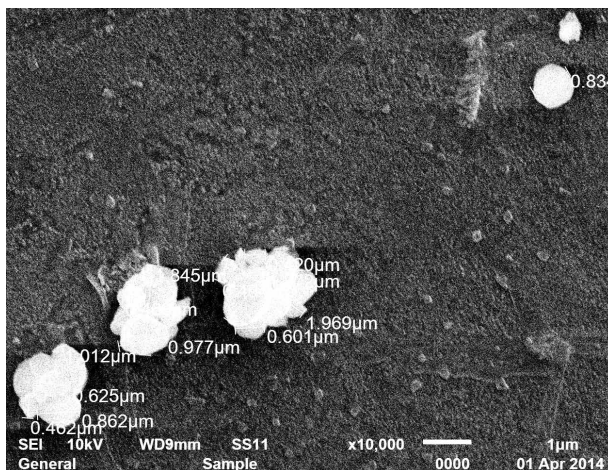
Из таблицы 2 с данными ЭДА видно, что УПТФЭ на 20% состоит из углерода и на 80% – из фтора. В сухом остатке поглощённых летучих продуктов деструкции соотношение углерода и фтора изменяется до 32 : 56. Кроме того, появляется кислород и углекислый газ, а также продукты окисления парафинов, применяющихся при получении Ф-4Д в качестве регулятора молекулярной массы.

При использовании отходов фторопласта Ф-4Д для получения УПТФЭ методом термодеструкции с исчерпывающим фторированием

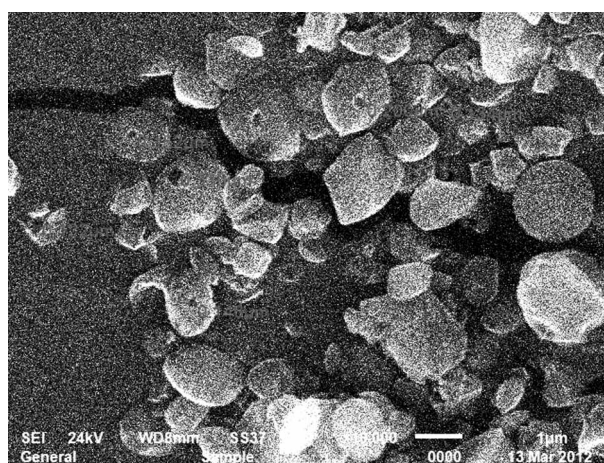
**Таблица 1 / Table 1**  
 Состав летучих продуктов процесса термодеструкции отходов ПТФЭ (Ф-4Д) с исчерпывающим фторированием, уловленных ПФД  
 Composition of volatile products of the thermal process of waste PTFE (F-4D) with exhaustive fluorination, caught by PFD

Время выхода, мин Time, min.	Название веществ Name of substance	Формула Formula	Относительная молекулярная масса Relative molecular mass
3,530	Перфторгексан / Perfluorohexane	$C_6F_{14}$	338
4,887	Перфтороктан / Perfluorooctane	$C_8F_{18}$	438
5,010	Перфтордекан / Perfluorodecane	$C_{10}F_{22}$	538
5,400	Перфтороктадекан / Perfluorooctadecane	$C_{18}F_{38}$	938
5,663	Перфторэйкозан / Perfluoroseicosan	$C_{20}F_{42}$	1038





A



B

Рис. 1. Структура УПТФЭ (Ф-4Д). Метод термодеструкции с исчерпывающим фторированием: А – порошок, В – сухой остаток взвеси в ПФД. Увеличение 10000х

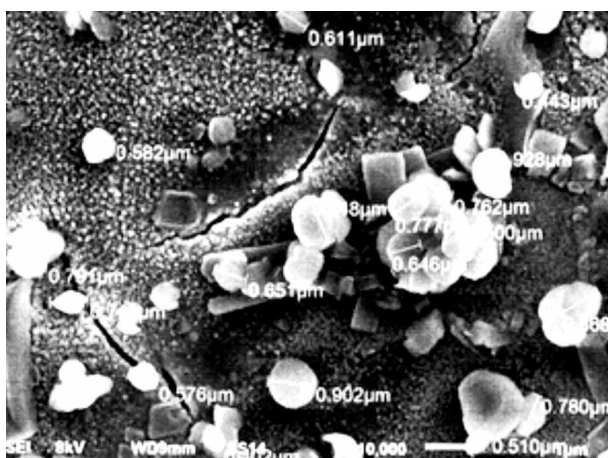
Fig. 1. Structure of UPTFE (F-4D). Method of thermal destruction with exhaustive fluorination: A – powder, B – a dry residue of suspended matter in perfluorodecalin. 10000x magnification

Таблица 2 / Table 2

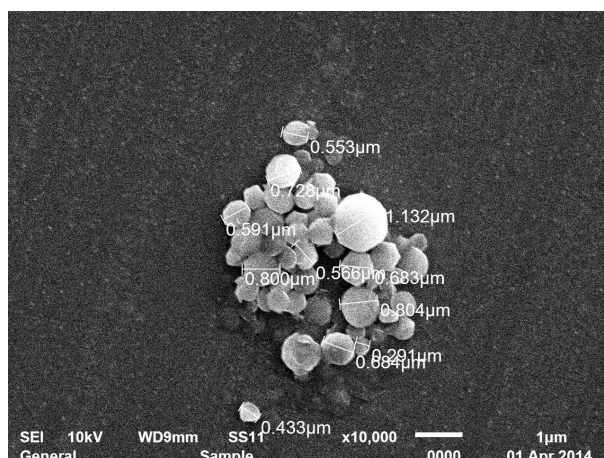
Элементный состав УПТФЭ из отхода Ф-4Д / Elemental composition of UPTFE from waste F-4D

Порошок из реактора Powder from the reactor			Сухой остаток взвеси в ПФД* Dry residue of suspension in PFD*		
элемент element	весовой, % the weight, %	атомный, % atomic, %	элемент element	весовой, % the weight, %	атомный, % atomic, %
C	19,57	27,81	C	31,74	41,61
F	80,43	72,19	F	56,48	46,80
O	Отс. otn	0,00	O	11,78	11,59
Итого Subtotal	100,00	100,00	Итого Subtotal	100,00	100,00

Примечание: \* ПФД – перфтордекалин, основной компонент перфторана, применяемого в медицине в качестве заменителя крови / Note: \* PFD is perfluorodecalin, the main component of perfluorane used in medicine as a blood substitute.



A



B

Рис. 2. Структура УПТФЭ (Ф-4). Метод термодеструкции с исчерпывающим фторированием: А – порошок, В – сухой остаток взвеси в перфтордекалине. Увеличение 10000х  
Fig. 2. Structure of UPTFE (F-4). The method of thermal decomposition with exhaustive fluorination: A – powder, B – solids suspension in perfluorodecalin. 10000x magnification

Таблица 3 / Table 3

Элементный состав УПТФЭ (вес %) из отхода Ф-4  
Elemental composition of EPTFE (weight %) of the waste F-4

Элемент Element	Термодеструкция с исчерпывающим фторированием The thermal destruction with a comprehensive fluoridation		Гидротермальная деструкция Hydrothermal destruction
	порошок из реактора powder from the reactor	сухой остаток взвеси в перфтордекалине the dry residue suspended matter in perfluorodecalin	порошок из реактора powder from the reactor
C	18,03–31,47	39,27–61,12	41,63–35,27
F	81,97–68,53	47,91–27,94	56,33–61,92
O	0	12,82–10,94	1,68–1,66
Cu	0	0	0,36–1,14
Итого Total	100	100	100

выход целевого продукта составляет более 93%. Образовавшийся порошок не требует очистки и может быть использован в производстве композитов, смазок и композиционных покрытий.

**Структура и состав продуктов, полученных из отходов Ф-4 методом термодеструкции с исчерпывающим фторированием.** На рисунке 2 и в таблице 3 приведены результаты изучения структур порошка УПТФЭ и сухого остатка взвеси УПТФЭ в перфтордекалине и их составов методами СЭМ и ЭДА.

Из рисунка 2 видно, что частицы порошка УПТФЭ, полученного непосредственно из реактора, представляют из себя сфероиды с диагональю 35–950 нм. Частицы сухого остатка взвеси УПТФЭ в перфтордекалине также имеют сфероидальную, более правильную, форму с размерами по диагонали 433–1132 нм. Они объединены в агломераты, имеющие в поперечнике 3–5 мкм. Частицы УПТФЭ, полученного методом гидротермаль-

ной деструкции, имеют беспористую сфероидальную форму с диагональю 400–4500 нм.

По спектрам, полученным ЭДА, определён элементный состав порошка и сухого остатка взвеси УПТФЭ в перфтордекалине (табл. 3). Здесь же приведены данные для порошка, полученного из фторопласта Ф-4 методом гидротермальной деструкции.

Из таблицы 3 видно, что УПТФЭ, в среднем, содержит 25% углерода и 75% фтора. В сухом остатке соотношение углерода и фтора изменяется в более широких пределах. Характерно также присутствие кислорода.

Как видно из таблицы 3, по сравнению с УПТФЭ, полученным методом термодеструкции с исчерпывающим фторированием, порошок из реактора гидротермальной деструкции содержит большее количество углерода и меньшее – фтора, а также кислород и примеси меди.

**Применение продуктов деструкции отходов ПТФЭ в смазках.** С целью изучения

Таблица 4 / Table 4

Определение коэффициента трения качения для различных веществ  
Determination of the coefficient of rolling friction for different substances

Метод получения фторированных компонентов композитов Method for producing fluorinated composites components	Состав The composition	Угол наклона, град The angle of inclination, deg	$K_{тр}$ $K_{tr}$
Сополимеризация тетрафторэтилен-этилен Polymerization of ethylene-tetrafluoroethylene	Фторопласт Ф-4 PTFE F-4	5,7	0,083
Полимеризация тетрафторэтилена Polymerization of tetrafluoroethylene	Фторопласт Ф-4Д PTFE F-4D	7,8	0,096
Деструкция ПТФЭ гидротермальным методом Destruction of PTFE hydrothermal method	УПТФЭ UPTHE	3,1	0,046
Термодеструкция ПТФЭ с исчерпывающим фторированием трифторидом кобальта Thermal destruction of PTFE with exhaustive fluorination by cobalt fluoride	УПТФЭ UPTHE	2,9	0,016

Таблица 5 / Table 5

Составы электролитов и режимы нанесения композиционных покрытий  
Electrolyte compositions and modes of application of composite coatings

Состав электролита, г/л Electrolyte composition, g/L	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup> Current density, A/dm <sup>2</sup>	Скорость осаждения композита, г/дм <sup>2</sup> ·ч The deposition rate of the composite, g/dm <sup>2</sup> ·h	Толщина композита, мкм The thickness of the composite, μm		
Композиционное электрохимическое покрытие (КЭП)* Composite electrochemical coating (CEP)*					
ZnO 8–10, NaOH 80–200, УПТФЭ 1,1 / УРТНЕ 1,1		КЭП Zn-УПТФЭ / CapZn-URTHE	Zn + ПТФЭ Zn + RTHE	Zn	ПТФЭ RTHE
	1,0	11,5±0,9	5,9±0,1	5,0±0,2	0,9±0,1
	3,0	21,9±0,8	11,4±0,1	9,6±0,8	1,8±0,1
Композиционное химическое покрытие (КХП)** Composite electrochemical coating (CCP)**					
NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O 10–30, NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O 10–15, CH <sub>3</sub> COONa 10–12,5, CH <sub>3</sub> COOH 8,0, УПТФЭ 1,1 / УРТНЕ 1,1	Отс. Otn.	(0,95±0,09)– (1,76±0,18)	8,54–5,66	7,6±4,1	0,25–0,40

Примечание: \* температура 20–23 °С, время 20 мин; \*\* температура 87,5 °С; время 60 мин.  
Note: \* temperature 20 to 23 °C, 20 min; \*\* temperature of 87.5 °C; time 60 min.

возможности применения УПТФЭ в качестве компонента при изготовлении низкоадгезионных смазывающих материалов определяли коэффициент трения качения (табл. 4).

Из таблицы 4 видно, что порошок УПТФЭ, полученный методом термодеструкции из отходов фторопласта, имеет наименьший коэффициент трения качения. Полученный продукт оптимально использовать как компонент эффективных твёрдых и консистентных трибологических материалов различного назначения.

Применение переработанных таким образом отходов фторопласта перспективно в качестве дисперсной фазы при осаждении на металлическую основу совместно с металлами и их солями. В результате можно получить композиционные покрытия, обладающие свойствами металлов и фторполимерной фазы. В качестве примеров в таблице 5 приведены основные отработанные режимы для нанесения композиционного электрохимического (Zn-ПТФЭ) и химического (Ni-Р-ПТФЭ) покрытий на металлическую основу.

Оказалось, что присутствие суспензии УПТФЭ в растворах цинкования и никелирования в равных количествах приводит к образованию композитов с разной толщиной слоя ПТФЭ. В процессе электрохимического формирования композита толщина слоя ПТФЭ в 4,0–4,5 раза больше, чем при осаждении химического композита.

## Заключение

Определены структура и состав продуктов термодеструкции ПТФЭ Ф-4 и Ф-4Д, полученных в разработанных условиях. Установлено, что УПТФЭ, полученный термодеструкцией, практически неизменен по составу и размерам частиц, в то время как порошок из реактора содержит большее количество углерода, меньшее – фтора, а также кислород и примеси меди.

Выявлены возможности применения УПТФЭ в качестве компонентов при производстве эффективных смазывающих материалов или электрохимических и химических износостойких композиционных покрытий с повышенной коррозионной стойкостью в агрессивных средах.

Специальные свойства композиционных покрытий позволят применять их взамен известных покрытий для увеличения срока службы изделий, износо- и коррозионной стойкости, увеличения микротвёрдости.

Изученные характеристики процесса термической переработки отходов ПТФЭ и положительные испытания образующихся твёрдых продуктов позволяют разработать технологические схемы переработки отходов производства ПТФЭ в различные твёрдые и жидкие составляющие.



## Литература

1. Бузник В.М. Состояние отечественной химии фторполимеров и возможные перспективы развития // Журнал Российского химического общества имени Д.И. Менделеева. 2008. Т. LII. № 3. С. 7–12.

2. Уолл Л.А. Фторполимеры. Москва: Издательство Мир, 1975. 448 с.

3. Ishikawa N., Kobayashi Y. Fluorine. Chemistry and application. Tokyo, 1979. 280 p.

4. Фукс С.Л., Хитрин С.В., Девятерикова С.В. Разработка условий использования нецелевых продуктов производства фторполимеров // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. № 9. С. 1491–1496.

5. Хитрин С.В., Фукс С.Л., Рязанцева Е.А., Рязанская Ю.В. Получение композиционных электрохимических покрытий с использованием отходов фторполимерного производства // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85. № 6. С. 969–972.

6. Хитрин С.В., Фукс С.Л., Девятерикова С.В., Захаров В.Ю., Родников С.Н. Экологические проблемы переработки отходов фторопластов // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 76–79.

7. Рязанцева Е.А., Фукс С.Л., Хитрин С.В. Исследование влияния отходов фторполимерного производства на свойства композиционных электрохимических покрытий цинк – фторполимер // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85. № 4. С. 616–620.

8. Кирюхин Д.П., Ким И.П., Бузник В.М., Игнатъева Л.Н., Куравый В.Г., Сахаров С.Г. Радиационно-химический синтез теломеров тетрафторэтилена для создания тонких защитных фторполимерных покрытий // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. 2008. Т. LII. № 3. С. 131–139.

9. Кантаев А.С., Бузник В.М., Дьяченко А.Н. Способ переработки отходов политетрафторэтилена // Патент РФ № 2437901. Приоритет от 01.07.2010. Дата публикации 27.12.2011. Бюлл. № 36.

10. Ступко Т.В., Невзоров В.Н., Костылев А.А. Роторно-вихревая мельница тонкого помола // Патент РФ № 2537497. Приоритет от 09.11.2012. Опубл. 10.01.2015. Бюлл. № 1.

11. Краснов А.А. Фторопласты. Описание материала и обзор рынка [Электронный ресурс] [http://www.ntds.ru/statyi/041\\_ftoroplasty\\_opisanie\\_materialov\\_i\\_obzor\\_rynka.pdf](http://www.ntds.ru/statyi/041_ftoroplasty_opisanie_materialov_i_obzor_rynka.pdf) (Дата обращения: 11.02.2015).

12. Fuks S.L., Sukhanova E.N., Khitrin S.V., Filatov V.Y. Production technology of ultradisperse polytetrafluoroethylene and conditions of its application // European Science and Technology. Munich. Germany. 2012. V. 1. P. 57–62.

13. Блинов И.Б., Дедов С.А., Кузнецов В.Н. Способ переработки отходов политетрафторэтилена // Патент РФ № 2387632. Приоритет от 20.01.2010. Дата публикации 04.2010. Бюлл. № 12.

14. Хитрин С.В., Фукс С.Л., Казиенков С.А., Филатов В.Ю., Суханова Е.Н. Способ переработки фторопластов и материалов, их содержащих, с получением ультрадисперсного фторопласта и перфторпарафинов // Патент РФ № 2528054. Приоритет от 05.12.2011. Дата публикации 10.09.2014. Бюлл. № 25.

15. Сеземин А.В., Самара В.А., Кудрявцев В.Н. Способ получения порошка вторичного политетрафторэтилена // Патент РФ № 2292364. Приоритет от 14.12.2005. Дата публикации 27.01.2007. Бюлл. № 3.

16. Филатов В.Ю., Муринов А.В., Казиенков С.В., Хитрин С.В., Фукс С.Л. Исследование деполимеризации политетрафторэтилена в присутствии водяного пара или переносчика фтора // Журнал прикладной химии. 2011. № 1. С. 147–150.

17. van der Walt I.J., Bruinsma O.S.L. Depolymerization of clean unfilled PTFE waste in a continuous process // Journal of Applied Polymer Science. 2006. V. 102 (3). P. 2752–2759.

18. Bruinsma O.S.L., van der Walt I.J., Grunenburg A.T., Nel J.T. The continuous depolymerization of filled polytetrafluoroethylene with a continuous process // Journal of Applied Polymer Science. 2008. V. 109 (1). P. 264–271.

19. Бузник В.М., Гришин М.В., Вопилов Ю.Е., Игнатъева Л.Н., Терехов А.С., Слободюк А.Б. Особенности строения порошковой формы политетрафторэтилена марки «ФЛУРАЛИТ» // Пластиковые материалы. 2010. № 1. С. 63–67.

20. Фукс С.Л., Филатов В.Ю., Хитрин С.В., Казиенков С.А. Исследование возможностей рекуперации отходов фторопластов // Бутлеровские сообщения. 2007. Т. 11. № 3. С. 61–67.

21. Куравый В.Г., Бузник В.М. Способ получения нанодисперсного фторорганического материала // Патент RU № 2341536. Приоритет 30.07.2007. Дата публикации 20.12.2008. Бюлл. № 35.

## Reference

1. Buznik V.M. The state of domestic chemistry of fluoropolymers and possible prospects of development // Zhurnal Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva imeni D.I. Mendeleeva. 2008. V. LII. No. 3. P. 7–12 (in Russian).

2. Wall L.A. Fluoropolymers. Moskva: Mir, 1975. 448 p. (in Russian).

3. Ishikawa N., Kobayashi Y. Fluorine. Chemistry and application. Tokyo, 1979. 280 p.

4. Fuks S.L., Khitrin S.V., Devyaterikova S.V. The development of the terms of use of inappropriate products of fluorocarbon polymers // Russian Journal of Applied Chemistry. 2004. V. 77. No. 9. P. 1491–1496 (in Russian). doi: 10.1007/s11167-005-0056-y

5. Khitrin S.V., Fuks S.L., Ryazantseva E.A., Ryazanskaya Yu.V. Production of composite electrochemical coatings using waste fluoropolymer production // Russian

Journal of Applied Chemistry. 2012. V. 85. No. 6. P. 969–972 (in Russian). doi: 10/1134/S100704277212050105

6. Khitrin S.V., Fuchs S.L., Devyaterikova S.V., Zakharov V.Yu., Rodnikov S.N. Ecological problems of waste processing of fluoroplasts // Theoretical and Applied Ecology. 2011. No. 1. P. 76–79 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2011-1-076-079

7. Ryazantseva E.A., Fuchs S.L., Khitrin S.V. Research of influence of waste production of fluoropolymer on the properties of composite electrochemical coatings with zinc – fluoropolymer // Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. V. 85. No. 4. P. 616–620 (in Russian). doi: 10/1134/S1070427212040143

8. Kiryukhin D.P., Kim I.P., Bouznic V.M., Ignatieva L.N., Kuravy V.G., Sakharov S.G. Radiation-chemical synthesis of tetrafluoroethylene telomers for creation of thin protective fluoropolymer coatings // Zhurnal Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva imeni D.I. Mendeleeva. 2008. V. LII. No. 3. P. 131–139.

9. Kantaev S.A., Buznik V.M., Dyachenko A.N. Method of processing polytetrafluoroethylene wastes // Patent RU No. 2437901. Priority from 01.07.2010. Publ. 27.12.2011. Bull. No. 36 (in Russian).

10. Stupko T.V., Nevzorov V.N., Kostylev A.A. Rotary-vortex mill of fine grinding // Patent RU No. 2537497. Priority from 09.11.2012. Publ. 10.01.2015. Bull. No. 1 (in Russian).

11. Krasnov A.A. Fluoropolymers. Description of material and overview of the market [Internet resource] [http://www.ntds.ru/statyi/041ftoroplasty\\_opisanie\\_materialovobzor\\_rynka.pdf](http://www.ntds.ru/statyi/041ftoroplasty_opisanie_materialovobzor_rynka.pdf) (Accessed: 11.02.2015).

12. Fuks S.L., Sukhanova E.N., Khitrin S.V., Filatov V.Y. Production technology of ultradisperse polytetrafluoroethylene and conditions of its application // European Science and Technology. Munich. Germany. 2012. V. 1. P. 57–62.

13. Blinov I.B., Dedov S.A., Kuznetsov V.N. Method of processing polytetrafluoroethylene wastes // Patent RU No. 2387632. Priority from 20.01.2010. Publ. 27.04.2010. Bull. No. 12 (in Russian).

14. Khitrin S.V., Fuchs S.L., Kasimenkov S.A., Filatov V.Yu., Sukhanova E.N. Method of processing fluoropolymers and materials containing them, preparation of ultra-dispersed PTFE and incorporation // Patent RU No. 2528054. Priority from 05.12.2011. Publ. 10.09.2014. Bull. No. 25 (in Russian).

15. Sesamin V.A., Samara V.A., Kudryavtsev V.N. A method of producing the secondary powder of polytetrafluoroethylene // Patent RU No. 2292364. Priority from 14.12.2005. Publ. 27.01.2007. Bull. No. 3 (in Russian).

16. Filatov V.Yu., Murin A.V., Kazienkov S.A., Khitrin S.V., Furs S.L. Depolymerization of polytetrafluoroethylene in the presence of water vapor or fluorine-transfer agent // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. No. 1. P. 147–150 (in Russian). doi: 10.1134/S1070427211019265

17. van der Walt I.J., Bruinsma O.S.L. Depolymerization of clean unfilled PTFE waste in a continuous process // Journal of Applied Polymer Science. 2006. V. 102 (3). P. 2752–2759. doi: 10.1002/app.24399

18. Bruinsma O.S.L., van der Walt I.J., Grunenburg A.T., Nel J.T. **The continuous depolymerization of filled polytetrafluoroethylene with a continuous process** // Journal of Applied Polymer Science. 2008. V. 109 (1). P. 264–271. doi: 10.1002/app.27380

19. Buznik V.M., Grishin M.V., Vopilov J.E., Ignatieva L.N., Terekhov A.S., Slobodyuk A.B. Features of the structure of the powder form of polytetrafluoroethylene of the FLURALIT brand // Plastic materials. 2010. No. 1. P. 63–67 (in Russian).

20. Fuchs S.L., Filatov V.Yu., Khitrin S.V., Kazienkov S.A. A study of the possibilities of waste recovery fluoropolymers // Butlerovskie soobshcheniya. 2007. V. 11. No. 3. P. 61–67 (in Russian).

21. Kuravy V.G., Buznik V.M. Method of obtaining nanodispersive fluoroorganic material // Patent RU No. 2341536. Priority 30.07.2007. Publ. 20.12.2008. Bull. No. 35 (in Russian).