

Традиции и инновации в химии и технологии полимеров Tradition and innovation in polymer chemistry and technology

Н.А. ЛАВРОВ

N.A. LAVROV

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург, Россия
Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), St. Petersburg, Russia
lna@lti-gti.ru

Определены основные направления научных исследований по химии и технологии пластических масс, выполняемых в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете). Статья посвящена 100-летию со дня рождения профессора Анатолия Федоровича Николаева.

Ключевые слова: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), научные школы, полимеры – носители биологически активных веществ, медицинские полимеры, полимеры на основе N-винилсукцинимиды, акриловые полимеры, кинетика полимеризации и сополимеризации, пластмассы со специальными свойствами, пенопласты, наполненные полимеры, эпоксидные полимеры, переработка полиэтилена, ротационное формование, переработка поливинилхлорида, пленки на основе поливинилхлорида, полимерные композитные материалы, получение изделий из полимеров методом 3D-печати, сосуды высокого давления из полимерных композитных материалов

The main directions of scientific research on the chemistry and technology of plastic masses performed at the St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University) are defined. The article is dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor Anatoly Fedorovich Nikolaev.

Keywords: St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), scientific schools, polymers – carriers of biologically active substances, medical polymers, polymers based on N-vinylsuccinimide, acrylic polymers, kinetics of polymerization and copolymerization, plastics with special properties, foams, filled polymers, epoxy polymers, polyethylene processing, rotary molding, polyvinyl chloride processing, polyvinyl chloride films, polymer composite materials, production of polymer products by 3D printing, high-pressure vessels made of polymer composite materials

DOI: 10.35164/0554-2901-2021-7-8-3-7

17 октября 2021 года исполняется 100 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора химических наук, профессора Анатолия Федоровича Николаева (1921–2012).

А.Ф. Николаев поступил в Ленинградский химико-технологический институт в 1939 году, на первом курсе был призван в ряды Красной Армии. Участник Финской и Великой Отечественной войн, был тяжело ранен. Окончил институт в 1948 году по специальности «Химическая технология пластических масс», в 1953 году защитил кандидатскую диссертацию и продолжил работу на кафедре химической технологии пластмасс Технологического института в должности ассистента, затем доцента. С 1959 по 1989 годы работал в должности заведующего кафедрой химической технологии пластмасс, с 1989 по 2001 годы – профессора кафедры. Одновременно с работой на кафедре в 60-е годы работал директором Научно-исследовательского института полимеризационных пластмасс, генеральным директором Охтинского научно-производственного объединения «Пластполимер», в 70-е годы – деканом факультета технологии органических веществ, проректором по научной работе Ленинградского технологического института им. Ленсовета, председателем головного совета по химии и химической технологии Минвуза РСФСР. Награжден орденами Октябрьской революции, Отечественной войны I степени, «Знак Почета», многими медалями.

Среди специалистов, работающих в области получения и переработки пластмасс, А.Ф. Николаев широко известен. Им написаны учебники [1, 2], которые были настольными книгами нескольких поколений инженеров. Среди ученых известны его труды, посвя-

щенные водорастворимым полимерам, полимерам медико-биологического назначения, полимерным композиционным материалам.

Являясь учеником великого русского ученого Сергея Николаевича Ушакова, А.Ф. Николаев продолжил его работы [3, 4] по разработке новых полимеров на основе винилового спирта, развил научные идеи по созданию полимеров – носителей биологически активных веществ. Под его руководством на кафедре получили широкое развитие исследования по созданию, внедрению в производство и практическому использованию полимерных композиций, клеев, герметиков, покрытий, вспененных материалов, флокулянтов и других материалов. Анатолий Федорович подготовил 150 кандидатов и 5 докторов наук, был автором более 700 научных трудов. В 70-е годы по его инициативе в Ленинградском Доме научно-технической пропаганды был организован научно-технический семинар «Пластмассы со специальными свойствами», который проводился и в 90-е годы [5]. После 2000 года семинар стал проводиться в формате научно-технических конференций [6], где обсуждались новейшие тенденции и разработки в области химии и технологии полимеров. В 2011 году была проведена международная научно-техническая конференция «Пластмассы со специальными свойствами» [7], посвященная 90-летию профессора А.Ф. Николаева, в которой приняли участие более 150 человек, представивших результаты исследований, выполненных в разных научных организациях России и других государств.

Под руководством профессора Николаева А.Ф. на кафедре проводились научные исследования фундаментального и прикладного характера. Следуя традициям, заложенным С.Н. Ушаковым и

А.Ф. Николаевым, кафедра сохранила направленность некоторых научных исследований, развивая теоретические основы получения полимеров и сополимеров, изучая кинетику реакций с учетом влияния реакционной среды, межмолекулярных взаимодействий, комплексобразования между компонентами полимеризационных систем. Но тематика кафедры при этом расширилась, появлялись новые инновационные исследования, связанные с запросами промышленных предприятий. В данной статье кратко рассмотрены некоторые направления наших исследований за последние 10 лет. Более подробная информация о работах, выполненных в эти годы, представлена в других статьях преподавателей, сотрудников и аспирантов кафедры, опубликованных в этом номере журнала.

Тематика фундаментальных исследований

Фундаментальные исследования, проводимые ранее под руководством А.Ф. Николаева, были посвящены изучению особенностей протекания реакций радикальной полимеризации и сополимеризации N-винильных, акриловых мономеров, винилацетата, исследованию процессов (со)полимеризации в присутствии эффективных иницирующих систем, направлены на разработку новых способов получения полимеров медико-биологического назначения и полимеров – носителей биологически активных веществ (БАВ).

В частности, кафедра традиционно занималась получением водорастворимых полимеров [8]. Многие реакции (полимеризация, полимераналогичные превращения) проводились в воде [9–13]. Изучению новых процессов (со)полимеризации в воде были посвящены также некоторые публикации последних лет: обобщены экспериментальные результаты изучения особенностей синтеза медицинских полимеров N-винилсукцинимид (ВСИ) в водных средах [14], сопоставлена эффективность использования иницирующих систем при проведении полимеризации ВСИ в воде [15], изучено влияние взаимной растворимости компонентов системы при сополимеризации ВСИ с 2-гидроксиэтилметакрилатом и показано влияние соотношения мономеров на кинетику процесса и состав получаемых сополимеров [16].

Продолжены исследования [17] влияния природы реакционной среды на кинетику сополимеризации ВСИ с мономерами, сильно различающимися по реакционной способности (винилацетатом, н-бутилакрилатом, стиролом) [18–21], и предложены способы изменения реакционной способности мономеров с целью получения сополимеров с регулярным чередованием мономерных звеньев в макроцепи.

В развитие работ А.Ф. Николаева в области использования хелатных комплексов металлов переходной валентности в качестве инициаторов радикальной (со)полимеризации и изучения их влияния на кинетику реакций [22] опубликованы новые материалы об особенностях эмульсионной полимеризации винилацетата [23] и сополимеризации винилацетата с другими мономерами в присутствии триацетилацетоната марганца [24].

В продолжение работы по разработке энергосберегающих процессов радикальной полимеризации [25, 26] выполнены новые исследования по изучению реакций полимеризации ВСИ в присутствии окислительно-восстановительных иницирующих систем [27, 28], в дополнение к ранее опубликованным сведениям [29] получены новые данные о механизме их действия.

С учетом ранее выполненных исследований по изучению особенностей получения полимеров в разных средах разработаны основные теоретические положения об особенностях синтеза полимерных производных N-винилсукцинимид – носителей БАВ [30–32]. Полимеры на основе ВСИ и их полимераналогов – (со)полимеры N-виниламидоуксусной кислоты (ВАЯК) – стали основой для создания лекарственных препаратов пролонгированного действия, гидрогелей медицинского назначения [33–35]. Результаты исследований обобщены в монографиях [36, 37].

По инициативе А.Ф. Николаева в 70-е годы на кафедре были начаты работы по изучению реакций получения и модификации полимеров и сополимеров 2-гидроксиэтилметакрилата (ГОЭМА), на основе которых можно получать гидрогели различного назначения [38]. Разработаны новые способы получения полимеров, новые методики исследования кинетики полимеризации и сополимеризации, расчета кинетических параметров, новые методы расчета констант сополимеризации, оценки чередования звеньев в цепях со-

полимеров, включая влияние предконцевых звеньев, разработаны компьютерные программы обработки результатов эксперимента.

На основании результатов исследований по изучению реакций получения сополимеров ГОЭМА в разных средах, с учетом особенностей строения исходных мономеров, растворителей, инициаторов, их взаимной растворимости, возможности межмолекулярных взаимодействий [39–43] разработаны рекомендации по получению полимеров с заданными свойствами [44]. В зависимости от условий проведения реакции (со)полимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата можно получать водорастворимые полимеры, которые можно рекомендовать в качестве нетоксичных носителей БАВ [45], или нерастворимые сшитые полимеры – гидрогели [46]. Более подробно результаты этих работ изложены в монографии [47].

Некоторые результаты экспериментальных исследований и разработанные методики получения полимеров используются в учебном процессе [48, 49].

Новые публикации в области фундаментальных исследований посвящены проблемам межмолекулярных взаимодействий и комплексобразованию в системах мономер-мономер [50–52], мономер-растворитель [52–56], мономер-инициатор [57, 58], приводящим к изменению электронного строения мономеров, перераспределению электронной плотности в молекулах мономеров и изменению их реакционной способности. Эти процессы оказывают сильное влияние на кинетику полимеризационных процессов и структуру получаемых полимеров, позволяют регулировать чередование звеньев в сополимерах.

Направления прикладных исследований

Одним из традиционных направлений работы кафедры явилось создание газонаполненных полимерных материалов – пенопластов на олигомерной основе. Пенопласты широко применяются в современной промышленности, их использование позволяет снизить вес изделий и конструкций при сохранении высокой прочности. Работы, выполненные под руководством А.Ф. Николаева [59], позволили заложить научные основы для создания таких марок пенопластов как Тилен, ПЭН, а также для получения новых материалов, отвечающих высоким требованиям и запросам современной промышленности [60, 61].

Эпоксидные пены нашли широкое применение как заливочные компаунды для электронного оборудования и в качестве теплоизоляции. Из-за низкой водопоглощающей способности эпоксидные пеноматериалы применяют в судостроении. Так как пеноматериалы на основе эпоксидных смол, наряду с низкой плотностью, обладают хорошими механическими и теплоизоляционными характеристиками, их предложено применять в качестве теплоизоляции труб, используемых при добыче и транспортировке нефти при низких температурах. На кафедре разработаны пеноматериалы на основе трехкомпонентной эпоксидной заливочной системы [62].

Новым направлением в получении пеноматериалов является использование для этих целей полиакриламида [63].

Еще одним направлением научных исследований является утилизация технологических отходов производства и вторичная переработка полимеров. В настоящее время эта проблема приобрела большую актуальность в связи с ростом количества полимерных бытовых отходов, упаковки, бутылей и др. Работы, проводимые на кафедре в последние годы, были направлены на вторичную переработку полипропилена, поливинилхлорида, полиэтилена и полиэтилентерефталата (ПЭТ) [61, 64–69].

В частности, впервые получены термореактивные пенопласты на основе новолачных фенолоформальдегидных композиций, модифицированных гидроксилсодержащими продуктами химической деструкции вторичного ПЭТ, отличающиеся повышенными физико-механическими характеристиками и стойкостью в воде и среде бензина. Применение продуктов деструкции вторичного ПЭТ в составе пенофенопластов позволило получить пеноматериалы конструкционного назначения с показателями разрушающих напряжений, в 3–4 раза превышающими промышленно-выпускаемый пенопласт марки Тилен-А и достигающими значений 3,6–3,8 МПа при сжатии, 5,0–5,2 МПа при изгибе, при введении модификатора в количестве 4–6 массовых частей.

Продолжены работы по созданию и модификации наполненных эпоксидных композиций [70–75]. Получены реактопласты с регу-

лируемыми высокоэластической деформативностью и ее инверсией, разработаны лабораторные технологии переработки модифицированных эпоксидных и эпокси-фенольных армированных композиционных материалов в штучные изделия по технологии с использованием эффекта памяти полимерного связующего. Оценено влияние тонкодисперсных наполнителей на топологическую структуру густосетчатых эпоксидно-лапроксидных матриц, показано, что наличие в наполнителях наноразмерных фракций приводит к формированию равномерной топологической организации во всем объеме композита, способствуя повышению его прочностных характеристик и полноте протекания процесса инверсии высокоэластической деформации [76, 77]. Изучены триботехнические свойства наполненных эпоксидных композиций [78, 79].

Некоторые результаты исследований и разработанные методики получения олигомеров используются в учебном процессе [80, 81].

Новые направления прикладных исследований обусловлены зачислением в аспирантуру кафедры сотрудников промышленных предприятий.

Выполнен комплекс исследований по совершенствованию технологии ротационного формования изделий из линейного полиэтилена низкой плотности, выбору марок исходного сырья, конструкции технологической оснастки и определению оптимальных научно обоснованных режимов производства [65, 82–89].

Проведены работы по разработке эффективных стабилизаторов, модификаторов для получения жестких пленок из поливинилхлорида (ПВХ) [64, 90–92]. Проанализированы особенности термической деструкции ПВХ [93], предложена новая классификация протекающих реакций. Рассмотрен механизм деструкции. Показано, что так же, как при деструкции N-винильных полимеров [94], реакция протекает с выделением низкомолекулярного продукта, определяющего природу используемых стабилизаторов.

В настоящее время одним из самых изучаемых направлений вторичной переработки ПВХ является механический рециклинг – переработка смешанных отходов в расплаве без изменения химической природы используемых полимеров. Главным достоинством механического рециклинга вторичного полимерного сырья является возможность получения изделий хорошего качества с длительным сроком службы при низкой цене сырьевых компонентов и при минимальном воздействии вредных веществ на окружающую среду. Основной задачей при данном подходе к переработке смешанных, и, чаще всего, несовместимых вторичных полимеров, является поиск добавок – компатибилизаторов, которые позволяют совместить используемые полимеры в расплаве. Поэтому еще одним направлением в переработке поливинилхлорида стал выбор компатибилизаторов для его смесей с полиэтиленом [95–98].

Проведен комплекс исследований по получению изделий из АБС-пластиков и полиамида методом 3D-печати для создания турбодетандерных установок малой мощности [99–103]. Проведено сравнение физико-механических свойств изделий, получаемых методом 3D-печати и по традиционной технологии, например, литьем под давлением.

Разработана конструкция и технология получения сосудов высокого давления (СВД) из полимерных композиционных материалов [104–107]. Сосуд представляет собой двухслойный баллон, внутренний слой которого является герметизирующим, изготавливается из линейного полиэтилена низкой плотности методом ротационного формования, а внешний слой является силовым, оформляется намоткой армирующей нити, пропитанной олигомером, на полимерный лайнер. Метод намотки позволяет укладывать волокна армирующего материала по заданному алгоритму, тем самым реализуя требуемую анизотропию механических свойств композитных материалов в создаваемой конструкции. На основании анализа различных материалов, пригодных для оформления силового слоя (волокнистых материалов и полимерных связующих), в качестве рекомендуемого выбран стеклопластик на основе высокомолекулярного стеклянного волокна и эпоксидной смолы. Технические ценные свойства СВД реализуются в результате отверждения олигомера с образованием пространственной сетки, технологические параметры которой и определяют свойства СВД. Механическая прочность напрямую зависит от толщины стенки силовой оболочки. СВД разработанной конструкции не уступает выпускаемым в

настоящее время зарубежным полимерным композитным и отечественным металло-композитным аналогам.

Литература

1. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. – М.-Л.: Химия, 1966. – 708 с.
2. Николаев А.Ф. Технология пластических масс. – Л.: Химия, 1977. – 368 с.
3. Ушаков С.Н. Поливиниловый спирт и его производные. Т. 1, 2. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 868 с.
4. Ушаков С.Н. Синтетические полимеры лекарственного назначения. – Л: Медгиз, 1962. – 42 с.
5. Пластмассы со специальными свойствами. Сборник материалов научно-технической конференции / Под общей редакцией Н.А. Лаврова – ДНТП. СПб., 1992. – 144 с.
6. Пластмассы со специальными свойствами. Сборник научных трудов / Под общей редакцией В.К. Крыжановского – СПбГТИ(ТУ). СПб, 2006. – 183 с.
7. Пластмассы со специальными свойствами. Сборник научных трудов / Под общей редакцией Н.А. Лаврова – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 344 с.
8. Николаев А.Ф., Охрименко Г.И. Водорастворимые полимеры. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1979. – 144 с.
9. Лавров Н.А., Ворожбянова Е.Ю., Лаврова Т.В. Кинетика полимеризации N-винилсукцинимид в воде в присутствии иницирующей системы персульфат аммония – аскорбиновая кислота // Журн. прикл. химии. – 1995. – Т. 68, №9. – С. 1547–1550.
10. Лавров Н.А. Энергосберегающие процессы (со)полимеризации ОЭМА // Пласт. массы. – 1989. – №11. – С. 12–16.
11. Лавров Н.А., Николаев А.Ф., Мочалова И.Ю. Соплимеризация 2-гидроксипропилметакрилата с метакриловой кислотой в воде // Журн. прикл. химии. – 1991. – Т. 64, №11. – С. 2456–2457.
12. Лавров Н.А., Николаев А.Ф., Сергеева Е.П. Соплимеризация 2-гидроксипропилметакрилата с винилацетатом в воде // Журн. прикл. химии. – 1991. – Т. 64, №9. – С. 2004–2006.
13. Лавров Н.А., Николаев А.Ф., Лепшина Е.М., Лаврова Т.В. Соплимеризация N-винилсукцинимид с винилацетатом в воде // Журн. прикл. химии. – 1992. – Т. 65, №9. – С. 2111–2114.
14. Лавров Н.А. Теоретические и практические аспекты синтеза медицинских полимеров на основе N-винилсукцинимид в водных средах // Пласт. массы. – 2011. – №1. – С. 25–34.
15. Лавров Н.А., Шальнова Л.И., Куликова И.Г. Полимеризация N-винилсукцинимид в воде в присутствии окислительно-восстановительных иницирующих систем // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – №9. – С. 14–16.
16. Лавров Н.А. Соплимеризация N-винилсукцинимид с 2-гидроксипропилметакрилатом в воде // Пласт. массы. – 2011. – №9. – С. 12–18.
17. Lavrov N.A. Reaction medium and kinetics of N-vinylsuccinimide copolymerization // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2003. – Vol. 76, №9. – P. 1369–1374.
18. Лавров Н.А. Изменение реакционной способности N-винилсукцинимид при комплексобразовании с диметилсульфоксидом // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2016. – №9. – С. 15–22.
19. Лавров Н.А. Комплексобразование N-винилсукцинимид с электроноакцепторным растворителем // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2018. – №4. – С. 7–12.
20. Лавров Н.А. Особенности комплексобразования N-винилсукцинимид в системах мономер-растворитель и мономер-мономер // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2019. – № 7. – С. 31–37.
21. Лавров Н.А. Особенности комплексобразования в системе мономер-растворитель при сополимеризации N-винилсукцинимид со стиролом // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2020. – №5. – С. 2–6.
22. Николаев А.Ф. Ацетилацетонаты металлов и их применение в химических реакциях // Химическая технология, свойства и применение пластмасс: Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТИ им. Ленсовета. – Л.: 1976. Выпуск 2 – С. 3–11.
23. Ржехина Е.К., Лавров Н.А. Исследование эмульсионной полимеризации винилацетата, иницируемой трисацетилацетонатом Mn^{+3} // Пласт. массы. – 2011. – №9. – С. 18–20.
24. Лавров Н.А. Соплимеризация винилацетата, иницируемая трисацетилацетонатом марганца // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – №2. – С. 8–14.

25. Лавров Н.А. Энергосберегающие процессы (со)полимеризации ОЭМА // Пласт. массы. – 1989. – №11. – С. 12–16.
26. Лавров Н.А. Кинетика энергосберегающих процессов получения (со)полимеров 2-гидроксиэтилметакрилата // Журн. прикл. химии. – 1992. – Т. 65, №9. – С. 2115–2120.
27. Lavrov N.A., Shal'nova L.I., Kulikova I.G. Polymerization of N-Vinylsuccinimide in Water in the Presence of Redox Initiating Systems // Polymer Science. Ser. D. – 2012. – Vol. 5, No.2. – P. 83–85.
28. Lavrov N.A. Theoretical and practical aspects of the synthesis of medical polymers based on N-vinylsuccinimide in aqueous media // International Polymer Science and Technology. – 2012. – Vol. 39, №1. – P. 47–60.
29. Лавров Н.А., Москалева И.В., Лаврова Т.В. Полимеризация 2-гидроксиэтилметакрилата, инициируемая системой персульфат аммония-аскорбиновая кислота в водно-органических средах // Журн. прикл. химии. – 1993. – Т. 66, № 12. – С. 2789–2793.
30. Лавров Н.А. Теоретические основы синтеза полимерных производных N-винилсукцинимидов — носителей биологически активных веществ // Пласт. массы. – 2013. – №7. – С. 12–26.
31. Лавров Н.А. Водорастворимые полимеры — носители биологически активных веществ на основе производных N-винилсукцинимидов // Пласт. массы. – 2013. – №8. – С. 19–27.
32. Лавров Н.А. Водорастворимые сополимеры N-виниламидоэтановой кислоты с 2-гидроксиэтилметакрилатом // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – №9. – С. 4–7.
33. Lavrov N.A., Shal'nova L.I. Specific Features of Preparation of Polymer – Carriers of Physiologically Active Substances Based on N-vinylsuccinimide Derivatives // Polymer Science. Ser. D. – 2012. – Vol. 5, No.3. – P. 202–204.
34. Shal'nova L.I., Lavrov N.A., Nikolaev A.F. Possibility of predicting prolongation of the pharmacological action of biologically active polymeric substances // International Polymer Science and Technology. – 2012. – Vol. 39, №11. – P. 21–27.
35. Лавров Н.А. Синтез, модификация и применение медицинских полимеров на основе N-винилсукцинимидов // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2018. – №46(72). – С. 68–75.
36. Лавров Н.А. Полимеры на основе N-винилсукцинимидов. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 240 с.
37. Панарин Е.Ф., Лавров Н.А., Соловский М.В., Шальнова Л.И. Полимеры — носители биологически активных веществ / Под редакцией Е.Ф. Панарина и Н.А. Лаврова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 304 с.
38. Лавров Н.А. Свойства сополимеров 2-гидроксиэтилметакрилата и гидрогелей на их основе // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – №9. – С. 8–13.
39. Лавров Н.А. Синтез и модификация 2-гидроксиэтилметакрилата // Пласт. массы. – 2018. – №3–4. – С. 19–22.
40. Лавров Н.А. Соплимеризация 2-гидроксиэтилметакрилата с карбоксилсодержащими мономерами // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2018. – №6. – С. 25–31.
41. Лавров Н.А. Межмолекулярные взаимодействия и кинетика сополимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата с винилацетатом // Пласт. массы. – 2018. – №9–10. – С. 12–16.
42. Лавров Н.А. Влияние полярности среды на кинетику полимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата // Пласт. массы. – 2018. – №11–12. – С. 22–28.
43. Лавров Н.А. Химическая модификация и свойства полимеров 2-гидроксиэтилметакрилата // Пласт. массы. – 2018. – №7–8. – С. 3–10.
44. Лавров Н.А. Процессы направленного синтеза и модификации полимеров // Пласт. массы. – 2019. – №9–10. – С. 3–7.
45. Lavrov N.A. Water-Soluble Copolymers of N-Vinylamidossuccinic Acid with 2-Hydroxyethylmethacrylate // Polymer Science. Ser. D. – 2012. – Vol. 5, No.2. – P. 73–76.
46. Lavrov N.A. Properties of 2-Hydroxy-ethylmethacrylate Copolymers and Hydrogels Based on Them // Polymer Science. Ser. D. – 2012. – Vol. 5, No.2. – P. 77–82.
47. Лавров Н.А. Полимеры на основе 2-гидроксиэтилметакрилата. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2017. – 176 с.
48. Лавров Н.А., Ржежина Е.К., Шальнова Л.И. Введение в специальность. Технология и переработка полимеров: учебное пособие. / Под редакцией Н.А. Лаврова. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 75 с.
49. Лавров Н.А., Шальнова Л.И. Полимеры и сополимеры винилового спирта: учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2020. – 28 с.
50. Лавров Н.А. О комплексообразовании N-винильных соединений с малеиновым ангидридом // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2013. – №18(44). – С. 30–31.
51. Lavrov N.A. Copolymerization of 2-Hydroxyethyl Methacrylate with Carboxylic Monomers // Polymer Science. Ser. D. – 2019. – Vol. 12, №1. – P. 64–68.
52. Лавров Н.А. Комплексообразование в системе мономер-мономер при сополимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата с акриловой кислотой // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2020. – №7. – С. 15–18.
53. Lavrov N.A. Complexation Features of N-Vinylsuccinimide in Monomer–Solvent and Monomer–Monomer Systems // Polymer Science. Ser. D. – 2020. – Vol. 13, №1. – P. 101–105.
54. Lavrov N.A. Change in the Reactivity of N-Vinylsuccinimide after Complexation with Dimethyl Sulfoxide // Polymer Science. Ser. D. – 2017. – Vol. 10, №2. – P. 173–178.
55. Lavrov N.A. Complexation of N-vinylsuccinimide with an Electron-Acceptor Solvent // Polymer Science. Ser. D. – 2018. – Vol. 11, №4. – P. 443–447.
56. Lavrov N.A. Complexation in the Monomer–Solvent System under Copolymerization of N-Vinyl Succinimide with Styrene // Polymer Science. Ser. D. – 2020. – Vol. 13, №4. – P. 439–442.
57. Rzhekhina E.K.; Lavrov N.A. Investigation of the emulsion polymerisation of vinyl acetate, initiated by Mn(III) trisacetyl acetate // International Polymer Science and Technology. – 2012. – Vol. 39, №11. – P. 29–32.
58. Lavrov N.A. Copolymerization of Vinyl Acetate Initiated by Manganese Tris(Acetylacetate) // Polymer Science. Ser. D. – 2017. – Vol. 10, №3. – P. 274–278.
59. Николаев А.Ф., Тризно М.С., Барсова В.В. и др. Пенопласты на основе эпоксидно-новолачных блоксополимеров // Пласт. массы. – 1971. – №10. – С. 7–9.
60. Дворко И.М., Мохов В.М. Пенопласты на основе новолачных фенолоформальдегидных композиций, модифицированных простыми олигоэфирными // Пласт. массы. – 2011. – №9. – С. 33–35.
61. Панфилов Д.А., Дворко И.М. Пеноматериалы конструкционного назначения на основе новолачных композиций, модифицированных олигоэфирными // Пласт. массы. – 2014. – №1–2. – С. 51–53.
62. Аликин М.Б., Панфилов Д.А., Лавров Н.А., Дворко И.М., Полякова Ю.В., Литосов Г.Э. Влияние динамической вязкости эпоксидной композиции на свойства пеноматериалов, получаемых на ее основе // Клеи. Герметики. Технологии. – 2020. – №6. – С. 5–9.
63. Литосов Г.Э., Дворко И.М., Лавров Н.А., Чистяков Н.А., Муравский А.А. Модификация полиакриламида гидроксил- и карбоксилсодержащими соединениями // Пласт. массы. – 2020. – № 5–6. – С. 25–28.
64. Лавров Н.А., Ксенофонтов В.Г., Белухичев Е.В. Теоретические основы и практическая реализация исследований по стабилизации поливинилхлорида и его переработке методом каландрования // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2015. – №29(55). – С. 41–48.
65. Лавров Н.А., Игуменов М.С., Беседина К.С. Использование технологических отходов в производстве изделий из линейного полиэтилена низкой плотности методом ротационного формования // Пласт. массы. – 2014. – №1–2. – С. 56–59.
66. Панфилов Д.А., Дворко И.М., Аликин М.Б., Литосов Г.Э. Применение отходов полиэтилентерефталата для получения пенопластов конструкционного назначения // Все материалы. Энциклопедический справочник с Приложением «Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам». – 2016. – №10. – С. 34–37.
67. Панфилов Д.А., Дворко И.М. Пенополиуретаны на основе олигоэфирных продуктов деструкции вторичного полиэтилентерефталата // Естественные и технические науки. – М.: Изд-во «Спутник+». – 2014. – №5(73). – С. 179–183.
68. Panfilov D.A., Dvorko I.M. The Effect of Oligoethers Based on Secondary Polyethylene Terephthalate and Oligopropylene Diol on the Properties of Novolac Compounds // Polymer Science, Series D. – 2018. – Vol. 11, №2. – P. 169–173.
69. Аликин М.Б., Панфилов Д.А., Лавров Н.А., Дворко И.М. Получение ненасыщенных полиэфирных смол и материалов на их основе с использованием вторичного полиэтилентерефталата // Пласт. массы. – 2019. – №9–10. – С. 20–22.

70. Крыжановский В.К., Лавров Н.А., Киемов Ш.Н. Влияние дисперсных наполнителей на термомеханические характеристики эпоксидных полимеров // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – №11. – С. 9–13.
71. Киемов Ш.Н., Крыжановский В.К., Лавров Н.А. Деформация дисперсно-наполненных эпоксидных полимеров // Композиционные материалы. Узбекский научно-технический и производственный журнал. – 2017. – №4. – С. 13–14.
72. Лавров Н.А., Киемов Ш.Н., Крыжановский В.К. Триботехнические свойства композиционных материалов на основе эпоксидных полимеров // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2018. – №10. – С. 14–18.
73. Лавров Н.А., Киемов Ш.Н., Крыжановский В.К. Свойства наполненных эпоксидных полимеров // Пласт. массы. – 2019. – №1–2. – С. 37–39.
74. Крыжановский В.К., Деева А.С., Жорова Ю.В., Бурлов В.В. Изучение процесса инверсии высокоэластической деформации дисперсно- и наноаполненных эпоксидно-фенольных сополимеров // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – СПб., 2011. – № 12(38). – С. 32–33.
75. Крыжановский В.К., Семенова А.Д., Жорова Ю.В., Виноградова Н.С. Тонкослойные стеклопластики на модифицированном эпоксидном связующем с регулируемыми термоинверсионными свойствами // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – СПб., 2012. – №16(42). – С. 36–39.
76. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Семенова А.Д., Жорова Ю.В. Изучение влияния лапроксидов на физические свойства и деформационное поведение эпоксидно-диановых полимеров // Пласт. массы. – 2011. – №9. – С. 29–32.
77. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Семенова А.Д., Жорова Ю.В. Уточненный метод определения температуры стеклования густосетчатых полимеров термомеханическим способом // Клеи. Герметики. Технологии. – 2012. – №2. – С. 31–36.
78. Kryzhanovskii V.K., Lavrov N.A., Kiemov Sh.N. The Effect of Disperse Fillers on the Thermomechanical Characteristics of Epoxy Polymers // Polymer Science. Ser. D. – 2018. – Vol. 11, №2. – P. 230–232.
79. Lavrov N.A., Kiemov Sh.N., Kryzhanovskii V.K. Tribotechnical Properties of Composite Materials Based on Epoxy Polymers // Polymer Science. Ser. D. – 2019. – Vol. 12, №2. – P. 182–185.
80. Крыжановский В.К., Лавров Н.А., Машляковский Л.Н., Толмачев И.А. Наноструктурированные полимерные материалы и покрытия: Учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 102 с.
81. Лавров Н.А., Дворко И.М., Панфилов Д.А. Химия олигомеров и полимеров: учебное пособие – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2019. – 36 с.
82. Лавров Н.А., Игуменов М.С., Беседина К.С. О разнотолщинности изделий из полиэтилена, получаемых методом ротационного формования // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2010. – №7(33). – С. 37–38.
83. Лавров Н.А., Игуменов М.С., Беседина К.С. Полимерные материалы, перерабатываемые методом ротационного формования // Энциклопедия инженера-химика. – 2011. – №9. – С. 9–12.
84. Лавров Н.А., Беседина К.С., Игуменов М.С. Комплексы ротационного формования // Пласт. массы. – 2011. – №9. – С. 36–41.
85. О режимах ротационного формования термопластов / Н.А. Лавров, М.С. Игуменов, И.В. Никитина, К.С. Беседина // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2013. – №18 (44). – С. 27–29.
86. Свойства изделий из линейного полиэтилена низкой плотности, получаемых методом ротационного формования / Н.А. Лавров, М.С. Игуменов, К.С. Беседина, В.В. Кузьмин // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2013. – №20(46). – С. 48–50.
87. Игуменов М.С., Лавров Н.А. Адгезия линейного полиэтилена низкой плотности и олигомеров // Клеи. Герметики. Технологии. – 2016. – №8. – С. 30–33.
88. Игуменов М.С., Лавров Н.А. Особенности ротационного формования термопластов // Пласт. массы. – 2016. – №9–10. – С. 47–51.
89. Лавров Н.А., Игуменов М.С. Технология производства сосудов высокого давления из полимерных композитных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – №7. – С. 19–23.
90. Лавров Н.А., Белухичев Е.В., Ксенофонтов В.Г., Колерт К. Проявление синергетического эффекта при использовании пентаэритрита в процессе стабилизации поливинилхлорида различными классами стабилизаторов // Пласт. массы. – 2014. – №1–2. – С. 45–47.
91. Лавров Н.А., Ксенофонтов В.Г., Белухичев Е.В. О механизме стабилизации поливинилхлорида // Пласт. массы. – 2016. – №11–12. – С. 16–20.
92. Лавров Н.А., Колерт К., Белухичев Е.В., Лебединкина Т.А. Влияние модификаторов ударопрочности на свойства жестких пленок из поливинилхлорида // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – №3. – С. 40–42.
93. Лавров Н.А., Колерт К., Ксенофонтов В.Г., Лаврова Т.В., Белухичев Е.В. О механизме деструкции поливинилхлорида // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2012. – №16(42). – С. 31–35.
94. Лавров Н.А., Писарев А.Г. Особенности деструкции N-винильных полимеров. // Пласт. массы. – 2002. – №1. – С. 28–33.
95. Лавров Н.А., Белухичев Е.В. Использование сополимера этилена с винилацетатом в качестве совместителя поливинилхлорида с полиэтиленом низкой плотности // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2019. – №5. – С. 19–22.
96. Лавров Н.А., Белухичев Е.В. Совмещение поливинилхлорида с полиэтиленом низкой плотности с использованием графт-сополимера хлорированного полиэтилена с метилакрилатом // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2019. – №50(76). – С. 47–51.
97. Лавров Н.А., Белухичев Е.В. Использование сополимера винилхлорида с винилацетатом в качестве совместителя поливинилхлорида с полиэтиленом низкой плотности // Пласт. массы. – 2019. – №9–10. – С. 11–13.
98. Лавров Н.А., Белухичев Е.В. Полимерные смеси на основе поливинилхлорида (обзор) // Пласт. массы. – 2020. – №3–4. – С. 55–59.
99. Беседина К.С., Лавров Н.А., Барсков В.В. Применение аддитивных технологий при получении изделий из полимерных материалов // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2018. – №4(70). – С. 56–63.
100. Беседина К.С., Лавров Н.А., Панфилов Д.А., Барсков В.В. Свойства изделий из АБС-пластиков и полиамида, получаемых методом 3D-печати // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2018. – №45(71). – С. 60–63.
101. Беседина К.С., Лавров Н.А., Панфилов Д.А., Барсков В.В. Влияние режимов 3D-печати на свойства изделий из АБС-пластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2019. – №3. – С. 22–25.
102. Barskov V., Besedin S., Rassokhin V., Smetankin A., Besedin K., Lavrov N., Panfilov D., Smirnov Y., Lypar Y., Mukhametova L. The study of the properties of ABS plastics and polyamide products, made by 3D printing for use in turbine construction // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific Conference on Efficient Waste Treatment 2018, EWT 2018. 2019. Vol. 337 (1). №012084.
103. Barskov V.V., Besedin S.N., Besedin K.S., Zabelin N.A., Matveev Yu.V., Rassokhin V.A., Lavrov N.A., Fokin G.A. Regarding the Issue of Application of Advanced Polymeric Materials while Designing Low-Powered Turbo-Machines // International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR). 2017. Vol. 8. Issue 4. P. 1708–1715.
104. Igumenov M.S., Lavrov N.A. Adhesion of Linear Low-Density Polyethylene and Oligomers // Polymer Science. Ser. D. – 2017. – Vol. 10, №1. – P. 55–58.
105. Lavrov N.A., Igumenov M.S. A Technique for Production of High-Pressure Vessels from Polymer-Composite Materials // Polymer Science. Ser. D. – 2018. – Vol. 11, №1. – P. 113–116.
106. Igumenov M S; Lavrov N A. Features of the rotational moulding of thermoplastics // Journal: International Polymer Science and Technology. – 2017. – Vol. 44, №10. – P. 39–45.
107. Лавров Н.А., Игуменов М.С. Сосуд высокого давления из полимерных композиционных материалов // Пласт. массы. – 2018. – №5–6. – С. 45–47.