

ISSN 2410-6593 (Print), ISSN 2686-7575 (Online)

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-6-39-47>



УДК 66.0

О химической технологии. Заметки на полях студенческих работ Менделеевского конкурса

А.К. Фролкова

МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия

@Автор для переписки, e-mail: frolkova@gmail.com

Представлены общие результаты Менделеевских конкурсов студентов-химиков 2018–2019 г.г. и дан более подробный анализ технологических работ последних лет с точки зрения соответствия их тематики и содержания современным представлениям о химической технологии как науки. Отмечен возросший интерес представителей ведущих компаний, научных организаций и предприятий к Менделеевскому конкурсу, что в значительной степени определяется запросом химической промышленности на подготовку мотивированных специалистов химико-технологического профиля, обладающих научно-исследовательскими и внедренческими компетенциями. Показана возможность формирования тематики и содержания научных исследований студентов, исходя из иерархической структуры химико-технологической системы, достижений теоретических основ химической технологии и принципов создания технологий.

Ключевые слова: Менделеевский конкурс, химическая технология, системный подход, химико-технологическое образование, научная работа.

Для цитирования: Фролкова А.К. О химической технологии. Заметки на полях студенческих работ Менделеевского конкурса. *Тонкие химические технологии*. 2019;14(6):39-47. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-6-39-47>

About chemical technology: Notes on student projects in the Mendeleev competition

Alla K. Frolkova

MIREA – Russian Technological University (M. V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow 119571, Russia

@Corresponding author, e-mail: frolkova@gmail.com

The general results of the 2018-2019 Mendeleev competitions for chemistry students have been presented and a detailed analysis of technological work of the last few years are given from the point of view of compliance of their subject and content to modern representations about chemical technology as science. An increased interest by representatives of leading companies, scientific organizations, and enterprises in the Mendeleev competition has been demonstrated. This is largely determined by the request of the chemical industry to train motivated chemical and technical specialists that possess research and implementation competencies. The possibility of

forming the topics and content of students' scientific research based on the hierarchical structure of the chemical-technological system, the achievements of the theoretical foundations of chemical technology, and the principles of technology creation is shown.

Keywords: *Mendeleev competition, chemical technology, system approach, chemical-technological education, scientific work.*

For citation: Frolkova A.K. About chemical technology: Notes on student projects in the Mendeleev competition. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.* 2019;14(6):39-47 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-6-39-47>

Единство учебного и научного процессов в высшей химико-технологической школе давно стало обязательным условием подготовки высококвалифицированных кадров. Олимпиады по специальностям, школы молодых ученых в рамках престижных российских и международных конференций, возможность получения индивидуальных грантов и стипендий, в том числе президентских и правительственных, позволяют студентам всех курсов заявить о своих исследовательских притязаниях. Одной из таких площадок, прошедших проверку временем, является Менделеевский конкурс студентов-химиков. В 2019 году этот конкурс и последующая школа-конференция проводились в 29-й раз, что подтверждает престижность, востребованность, привлекательность в глазах студенческой молодежи и потенциальных работодателей данного мероприятия. Менделеевский конкурс организует и проводит некоммерческое партнерство «Содействие химическому и экологическому образованию» при поддержке университетов, Российской академии наук и технологических компаний. В нынешнем году конкурс поддержан грантом Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества, предоставленного Фондом президентских грантов.

150-летний юбилей Периодической системы элементов Д.И. Менделеева придал традиционному конкурсу, носящему имя великого русского ученого, торжественность, значимость и чувство сопричастности к великим открытиям. Забегая вперед, уместно с благодарностью вспомнить лекцию, которая была прочитана молодежи доктором физико-математических наук Сергеем Николаевичем Дмитриевым, директором Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Современные работы российских физиков-ядерщиков, физико-химиков, технологическая оснащенность исследований, материально-техническая и методическая база, открытость наших ученых к взаимодействию с зарубежными коллегами потрясли слушателей, наполнили гордостью сердца и умы. Но об этом еще будет сказано.

Конкурс принимал Ивановский государственный химико-технологический университет – вуз с богатой историей, сильной химико-технологиче-

ской школой, благожелательными преподавателями, администрацией, волонтерами.

Весьма подробно история становления конкурса, его регламент, итоги конкурсов 2010–2017 гг. изложены в статье профессора МГУ им. М.В. Ломоносова, бессменного члена жюри, стоявшего у истоков создания конкурса, Георгия Васильевича Лисичкина [1]. Представленный им материал (города, вузы, количество работ в заочных и очных турах, доля московских студентов в общем числе участников и награжденных) продемонстрировал формирование тенденций, которые сохраняются и сегодня. Показатели конкурсов 2018 г. (Новосибирск) и 2019 г. (Иваново) дополняют общую картину (табл. 1).

Настоящее сообщение посвящено в первую очередь анализу тематики и результатов работ химико-технологического профиля, представленных на конкурс в последние три года, роли технологических секций в привлечении представителей отрасли к участию в мероприятиях конкурса и повышении мотивации студентов.

Сохраняется высокая доля (36%) студентов московских вузов среди участников Менделеевского конкурса, совместная доля студентов московских, Санкт-Петербургских вузов и вуза, принимающего школу-конференцию, составила 52.5%. Последнее, на мой взгляд, не является противоречием, а только усиливает значение конкурса как мероприятия федерального значения, поскольку проведение конкурса в разных российских городах и вузах способствует повышению мобильности молодых ученых, укреплению научно-образовательных контактов центра и регионов. Причем важно отметить, что конкурс приближается к местам размещения промышленных объектов химических отраслей и при умелой профорientационной работе может способствовать перемещению талантливой научной молодежи из московских вузов в регионы.

В табл. 2 показаны наиболее крупные команды участников, сформированные университетами различных городов страны.

Как отмечалось в [1], введение в 2005 году по инициативе членов Оргкомитета и прежде всего президента МИТХТ им. М.В. Ломоносова Владимира Савельевича Тимофеева номинации

Таблица 1. Статистические данные, характеризующие состав участников Менделеевских конкурсов студентов-химиков, в 2010–2019 гг.**Table 1.** Statistical data characterizing the composition of the Mendeleev competitions for chemistry students from 2010–2019

Номер конкурса, год проведения / Competition number, year	Город проведения / Competition city	Число участников / Number of participants	Число городов / Number of cities	Число вузов / Number of universities
XX, 2010	Архангельск / Arkhangelsk	129	28	41
XXI, 2011	Дубна / Dubna	153	30	40
XXII, 2012	С.-Петербург / St. Petersburg	100	22	31
XXIII, 2013	Казань / Kazan	143	33	41
XXIV, 2014	Волгоград / Volgograd	147	31	39
XXV, 2015	Томск / Tomsk	201	40	57
XXVI, 2016	Самара / Samara	201	37	51
XXVII, 2017	Уфа / Ufa	208	41	55
XXVIII, 2018	Новосибирск / Novosibirsk	240	38	59
XXIX, 2019	Иваново / Ivanovo	219	39	58

Примечание: данные за 2010–2017 гг. приведены в [1]. / Note: data for 2010–2017 is given in [1].

«Исследования по химической технологии» позволило расширить тематику конкурса, привлечь к участию в нем студентов старших курсов технологических вузов, обучающихся в магистратуре и специалитете. Мне представляется, что поддержка конкурса ведущими компаниями, особенно в последние годы, в немалой степени связана имен-

но с возможностью оценки будущими работодателями не только теоретической, но и практической направленности и уровня подготовки специалистов в химико-технологических вузах. Это нашло отражение и в новом названии номинации «Исследования и разработки по химической технологии» в скорректированном Положении о конкурсе.

Таблица 2. Статистические данные, характеризующие наиболее крупные команды участников (не менее 5 студентов) в конкурсе 2019 года**Table 2.** Statistics characterizing the largest teams of participants (at least 5 students) in the 2019 competition

Город / City	Общее число участников / Total number of participants	Вузы / Universities	Число участников / Number of participants
Москва / Moscow	79	МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет / Moscow State University, Faculty of Chemistry	25
		МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет наук о материалах / Moscow State University, Faculty of Materials Science	20
		МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет ФФХИ / Moscow State University, Faculty of Fundamental Physical and Chemical Engineering	2
		РТУ МИРЭА (МИТХТ им. М.В. Ломоносова) / RTU MIREA (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies)	24
		РХТУ им. Д.И. Менделеева / D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia	4
		Московский педагогический государственный университет / Moscow Pedagogical State University	3
		НИТУ «МИСиС» / National University of Science and Technology “MISIS”	1
Иваново / Ivanovo	21	Ивановский государственный химико-технологический университет / Ivanovo State University of Chemistry and Technology	17
		Ивановский государственный университет / Ivanovo State University	3
		МБОУ «Лицей № 67» / Lyceum No. 67	1

Таблица 2. Окончание / Table 2. Continued

Город / City	Общее число участников / Total number of participants	Вузы / Universities	Число участников / Number of participants
Санкт-Петербург / St. Petersburg	15	Санкт-Петербургский государственный университет / St. Petersburg State University	10
		Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) / St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)	2
		Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики / St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics	2
		Российский гос. педагогический университет им. А.И. Герцена / A.I. Herzen State Pedagogical University of Russia	1
Ярославль / Yaroslavl	12	Ярославский государственный технический университет / Yaroslavl State Technical University	10
		Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского / K.D. Ushinsky Yaroslavl State Pedagogical University	1
		Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова / P.G. Demidov Yaroslavl State University	1
Уфа / Ufa	8	Башкирский государственный университет / Bashkir State University	6
		Уфимский государственный нефтяной технический университет / Ufa State Petroleum Technical University	2
Нижний Новгород / Nizhny Novgorod	6	Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского / N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod	4
		Нижегородский гос. технический университет им. Р.Е. Алексеева / R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University	2
Тверь / Tver	6	Тверской государственный технический университет / Tver State Technical University	6
Казань / Kazan	5	Казанский (Приволжский) федеральный университет / Kazan (Volga) Federal University	3
		Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ) / Kazan National Research Technological University (KNRTU)	2
Нижнекамск / Nizhnekamsk	5	Нижнекамский химико-технологический институт (филиал КНИТУ) / Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology (branch of KNRTU)	5
Самара / Samara	5	Самарский государственный технический университет / Samara State Technical University	3
		Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева / Academician S.P. Korolev Samara National Research University	2

На основе рецензирования студенческих работ (более 200) в заочном туре в последние пять лет обычно отбирается для участия в дальнейшей школе-конференции примерно половина работ, распределение которых по номинациям и секциям представлено в табл. 3.

Определенные изменения произошли в 2019 году и с количеством химико-технологических работ, отмеченных наградами разного достоинства (табл. 4).

Это отчасти связано с внесенными в «Положение о конкурсе» коррективами, касающимися независимой оценки работ по номинациям, но прежде

Таблица 3. Распределение студенческих работ по номинациям в очном туре конкурса (2017–2019 гг.)
Table 3. Distribution of student works by category in the full-time round of the competition (2017–2019)

Номинация, секция / Category, section	Годы / Year		
	2017	2018	2019
Номинация I «Исследования по химии» / Category I «Chemistry Research»	54	59	63
Неорганическая химия и материаловедение / Inorganic chemistry and materials science	22	20	20
Органическая, биоорганическая и элементоорганическая химия / Organic, bioorganic and organoelemental chemistry	16	22	18
Физическая и аналитическая химия / Physical and analytical chemistry	16	17	25
Номинация II «Исследования и разработки по химической технологии» / Category II «Research and Development of Chemical Technology»	46	46	44
Общая химическая технология, основной органический и нефтехимический синтез / General chemical technology, basic organic and petrochemical synthesis	13	12	9
Технология биологически активных соединений / Technology of biologically active compounds	7	12	8
Технология неорганических материалов / Technology of inorganic materials	10	13	10
Технология полимеров и материалов на их основе / Technology of polymers and the materials based on them	16	9	17
Всего / Total	100	105	107

Таблица 4. Распределение работ, отмеченных наградами конкурса (2016–2019 гг.) по номинациям I и II
Table 4. Distribution of works acknowledged by awards from the competition (2016–2019) in the categories I and II

Награда / Award	2016		2017		2018		2019	
	Химия / Chemistry	Хим. техн. / Chem. Tech.	Химия / Chemistry	Хим. техн. / Chem. Tech.	Химия / Chemistry	Хим. техн. / Chem. Tech.	Химия / Chemistry	Хим. техн. / Chem. Tech.
Медаль «Будущее российской науки» / “Future of Russian Science” Medal	Хомич О.А. (Высший химический колледж, РАН, Москва) / О.А. Khomich (Higher Chemical College, RAS, Moscow)	-	-	-	Покочуева Е.В. (Нац. иссл. университет, Новосибирск) / E.V. Pokochueva (Nat. Research University, Novosibirsk)	-	-	-
Диплом I степени / 1st degree diploma	3	-	4	-	2	-	2	2
Диплом II степени / 2nd degree diploma	9	-	5	3	5	2	8	4
Диплом III степени / 3rd degree diploma	15	3	8	8	12	5	9	6
Доля (%) награжденных по номинациям / Share (%) of award recipients by category	90.3	9.7	60.7	39.3	74.1	25.9	61.3	38.7

всего с повышением качества самих химико-технологических работ студентов и уже упоминавшимся интересом отрасли к ним.

Дорогого стоят специальные дипломы компании «Хальдор-Топсе» – за работу, связанную с гетерогенным катализом, результаты которой имеют перспективы промышленного применения (1 чел.);

компания «Фосагро» – за высокий уровень и актуальность прикладного исследования (3 чел.); диплом Международного оргкомитета по празднованию Международного года Периодической таблицы химических элементов «Будь в тренде!» (2 чел.); специальный сертификат химико-биологического кластера «SCAMT» (2 чел.); дипломы Некоммерческого пар-

тнерства «Содействие химическому и экологическому образованию» (5 чел.): за яркое представление научных результатов; за оригинальную технологическую идею; за синтетическую работу в области медицинской химии; за «Первый шаг в науке».

В разные годы спонсорами конференции являлись компании: Schlumberger, «КуйбышевАзот», «Газпромбанк», «ХальдорТопсе», «Сольвекс», «АналитПродакстс», «Акрус». Генеральным партнером конкурса многие годы выступал ПАО «СИБУР Холдинг». Огромная благодарность всем спонсорам за финансовую поддержку. Но не только! Непосредственное участие перечисленных спонсоров и других деловых партнеров Менделеевского конкурса в мастер-классах, тренингах, лекционных программах в лице ведущих ученых РАН и инжиниринговых компаний, специалистов-технологов, специалистов по управлению персоналом, стратегическому развитию предприятий отрасли позволяет повысить мотивацию будущих инженеров. К сожалению, квалификация «инженер» практически исчезла из образовательных программ и федеральных государственных образовательных стандартов, хотя важность этого статуса понимают многие: от конкретного вуза и предприятия до государственных органов, формирующих приоритеты научно-технического развития страны.

Я работаю в составе жюри и руководителем секции «Общая химическая технология, основной органический и нефтехимический синтез» четыре года. Надеюсь, мой десятилетний опыт работы ректором МИТХТ им. М.В. Ломоносова и настоящий статус заведующего кафедрой Химии и технологии основного органического синтеза дают право поделиться некоторыми своими впечатлениями и мыслями. Достаточно сложными и долго обсуждаемыми вопросами были требования именно к работам химико-технологического профиля. Тому есть много причин, и большая часть из них субъективные. В частности, мне кажется искусственным противопоставление фундаментального и прикладного характера работ, представленных на разные номинации: чисто химические работы – это теория, химико-технологические – это работы, нацеленные на решение только практических задач.

Как не вспомнить слова М.В. Ломоносова: «Широко распространяет химия руки свои в дела человеческие». Великие русские ученые-энциклопедисты Михаил Васильевич Ломоносов и Дмитрий Иванович Менделеев знали толк в деле и многие свои научные идеи претворили в передовые технологии своего (да и не только!) времени.

А если говорить о государственных приоритетах развития России в целом и науки, техники и технологий в частности [2], вспомнить перечень критических технологий [3], то актуальность работ, представляемых в номинации «Исследования и разработки по химической технологии» Менделеевского конкурса, не вызывает сомнений.

Во всем мире уже давно сформировалось и активно развивается направление «Chemical Engineering», в котором интегрируются теоретические основы химической технологии (ядро химико-технологической науки) и принципы создания наукоемких химических технологий [4, 5]. Анализ требований конкурсной документации Российского научного фонда, Российского фонда научных исследований, Федеральных целевых программ Минобрнауки и тематики поддержанных грантов, показывает, что выигрывает руководитель, который четко определяет место конкретных исследований в выполнении тех или иных государственных приоритетов, реально оценивает перспективы внедрения результатов в практику. Такой подход должен реализовываться и при выборе тематики научно-исследовательской работы химико-технологического характера: будь то инициативная НИР преподавателя кафедры или научная квалификационная работа студента. Чтобы четко представить себе возможную тематику студенческих работ и спектр объектов исследования, достаточно рассмотреть химическую технологию с позиций системного подхода [4, 6].

Любую химико-технологическую систему (ХТС) можно представить в виде технологической триады [4], включающей (рис. 1):

- блок подготовки сырья (I),
- блок химического превращения (II),
- блок разделения многокомпонентных реакционных смесей (III).

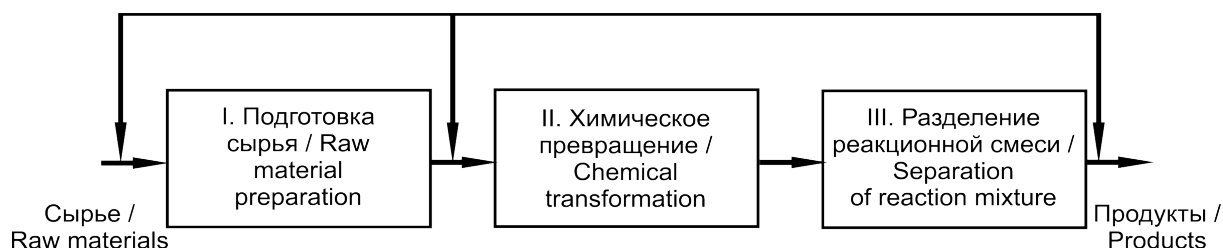


Рис. 1. Технологическая триада.

Fig. 1. Technological triad.

Такое представление ХТС, независимо от масштаба технологии, сразу определяет три большие группы задач, объектов и в значительной степени методов исследования, которые могут составить содержание студенческой научной работы. Однако в конкурсе по номинации II в основном представлены работы, относящиеся ко второму (химическому) блоку, что связано и с содержанием специальных дисциплин образовательных программ, традиционно ориентированных на химическую составляющую технологии. Но сегодня актуальны и поиски альтернативного сырья, новых методов глубокой переработки традиционного сырья, и разработка ресурсо- и энергосберегающих схем разделения сложных многокомпонентных смесей, получаемых на стадии химического превращения.

Блоки триады соединены как прямыми, так и обратными связями (рециклами). Исследование таких систем характеризуется определенной сложностью, требует применения не только физического, но и вычислительного экспериментов. Но химико-технологических работ, посвященных методам математического моделирования свойств систем и процессов с использованием современных программных комплексов (PRO-II, ChemCad, Aspen Tech, HYSYS), – единицы.

С другой стороны, процесс создания любой химико-технологической системы иерархически можно разбить на ряд составляющих (подсистем), представленных на рис. 2.

В подсистемах 1 и 2 многие задачи относятся к установлению взаимосвязей «состав–свойство–

структура», относящихся и к синтезу химического соединения, и к получению функциональных материалов, и к разработке технологических схем на основе структур фазовых диаграмм, и др. Кстати, приведенная на рис. 2 декомпозиция ХТС как нельзя лучше иллюстрирует сбалансированный учебный план подготовки специалистов химико-технологического профиля, где каждой подсистеме отвечает группа дисциплин (химических, физико-химических, инженерных, экономических). Но в таком представлении ХТС также заложены и возможности выбора тематики научной студенческой работы и даже ее структура. Конкурсная работа может содержать результаты конкретного химического исследования, но ее автор должен видеть технологические и экономические перспективы предлагаемого решения, возможность его масштабирования, прототипирования.

К сожалению, долгое время четкие требования к содержанию химико-технологических работ, представляемых на Менделеевский конкурс, отсутствовали. В 2019 году в «Положение о конкурсе» был введен ряд поправок, которые в сжатой форме отразили, по крайней мере, трехлетнюю дискуссию представителей разных химико-технологических вузов, реализующих широкий спектр специальностей и направлений, по этому вопросу. Сегодня в «Положении о конкурсе» требования к работам сформулированы следующим образом:

На конкурс по номинации «Исследования по химии» принимаются работы, обладающие существенной научной новизной и/или потенциальной прак-

Подсистемы химико-технологической системы (ХТС) / Subsystems of a chemical-technological system (CTS)

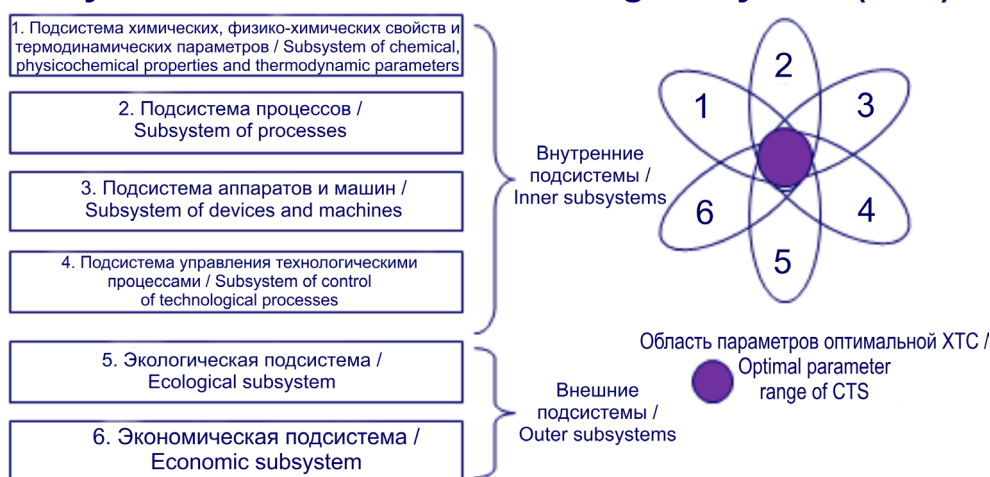


Рис. 2. Структура химико-технологической системы.

Fig. 2. Chemical-technological system structure.

тической значимостью, соответствующие основным трендам развития современной химии и выполненные с привлечением современных методов исследования.

На конкурс по номинации «Исследования и разработки по химической технологии» принимаются работы, посвященные разработке новых веществ, материалов и устройств, различным аспектам масштабирования их производства, разработке новых процессов химической технологии, их усовершенствованию или оптимизации, а также контролю производства и качества продукции.

Ниже в качестве примера перечислена тематика студенческих работ, в той или иной степени отвечающая требованиям к технологическим работам: разработка экологически чистых дизельных топлив с биодобавками и улучшенными смазывающими свойствами; разработка реагента для разрушения водонефтяных эмульсий; исследование и повышение эффективности работы промышленной установки риформинга методом математического моделирования; исследование фазового равновесия и разработка принципиальных схем разделения смесей, образующихся в производстве циклогексанола; исследование причин деградации каталитической активности сульфидных катализаторов гидрогенизационных процессов и методы ее восстановления; окисление и полимеризация растительных масел, выделенных из отходов маслоэкстракционного производства; перераспределение узких фракций средних дистиллятов при электромагнитной обработке нефтяного сырья; совершенствование технологии очистки хлороформа от близкипящих примесей.

При формировании программы работы секций по номинации II остается ряд проблем: 1) соответствия формы и содержания студенческой работы задачам конкурса, решение которой во многом зависит от руководителя работы; 2) адекватной оценки работ на заочном этапе, для повышения объективности которой руководители секций привлекают для «слепого» рецензирования нескольких рецензентов, в том числе сторонних.

Позитивная история конкурса, дух доброжелательности, здоровой конкурентности, следование

высокой миссии привлечения в науку молодых ученых позволяют надеяться на дальнейшее распространение идей конкурса в вузовской среде.

В заключение хотелось бы отметить несколько аспектов данного конкурса.

1. Нелишне с благодарностью отметить участие представителей отрасли в конкурсе (работа в жюри; спонсорская поддержка, лекции, мастер-классы), что показывает заинтересованность крупных компаний, конкретных промышленных предприятий, инжиниринговых фирм в мотивированных, хорошо подготовленных специалистах, их ориентации в будущей профессии.

2. Благожелательная поддержка конкурса администрацией университетов и городов свидетельствует о понимании роли конкурса как площадки для продвижения достижений студентов принимающих вузов, поскольку при положительных результатах экспертизы работ на первом этапе количество таких участников жестко не ограничивается.

3. Широкая география участников Менделеевского конкурса и университетов, принимающих выездную школу-конференцию, позволяет ставить вопрос о придании Менделеевскому конкурсу и конференции статуса всероссийского мероприятия с международным участием. И наш конкурс, по существу, имеет его уже в течение многих лет.

В преддверии юбилейного XXX Менделеевского конкурса хочется вспомнить добрым словом всех студентов – участников нашего интеллектуального состязания, их руководителей, членов жюри. И отдельно выразить благодарность вдохновителям и организаторам Менделеевского конкурса председателю жюри академику РАН, д.х.н. М.П. Егорову, председателю оргкомитета, члену-корреспонденту РАН, д.х.н. О.И. Койфману, заместителям председателя оргкомитета – главному редактору журнала «Химия и жизнь» Л.Н. Стрельниковой, директору НП «Содействие химическому и экологическому образованию» Е.С. Ротиной и ученому секретарю жюри д.х.н. Д.С. Перекалину.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interest.*

Список литературы:

1. Лисичкин Г.В. Раннее приобщение студентов к науке: опыт всероссийского конкурса. *Alma Mater*. 2017;6:60-65. <http://dx.doi.org/10.20339/AM.06-17.060>
2. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (утверждены Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г., № 899, с изменениями и дополнениями от 16 декабря 2015 г.).
3. Перечень критических технологий Российской Федерации (утверждены Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г., № 899, с изменениями и дополнениями).
4. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А., Тимошенко А.В.

References:

1. Lisichkin G.V. Early initiation of students to science: experience of All-Russian competition. *Alma Mater*. 2017;6:60-65. <https://doi.org/10.20339/AM.06-17.060> (in Russ.).
2. Priority areas for the development of science and technology in the Russian Federation (approved by Decree of the President of the Russian Federation of July 7, 2011, No. 899, with amendments and additions). (in Russ.).
3. The list of critical technologies of the Russian Federation (approved by Decree of the President of the Russian Federation July 7, 2011, No. 899, as amended and supplemented). (in Russ.).

Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Изд. Высшая школа, 2010. 408 с.

5. Серафимов Л.А., Макаров О.В. Систематизация химических технологий по уровню их наукоемкости. *Ученые записки МИТХТ*. 2000;2:53-55.

6. Кафаров В.В., Дорохов К.Н., Кольцова Э.М. Системный анализ процессов химической технологии. М.: Химия, 1983. 368 с.

4. Timofeev V.S., Serafimov L.A., Timoshenko A.V. *Printsipy tekhnologii osnovnogo organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza* (Principles of the technology of basic organic and petrochemical synthesis). Moscow: High School; 2010. 408 p. (in Russ.).

5. Serafimov L.A., Makarov O.V. Systematization of chemical technologies by the level of their science intensive. *Uchenye zapiski MITKHT = Scientific notes MITKHT*. 2000;2:53-55. (in Russ.).

6. Kafarov V.V., Dorokhov K.N., Kol'tsova E.M. *Sistemnyi analiz protsessov khimicheskoi tekhnologii* (System analysis of chemical technology processes). Moscow: Chemistry; 1983. 368 p. (in Russ.).

Об авторе:

Фролкова Алла Константиновна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и технологии основного органического синтеза Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86). E-mail: frolova@gmail.com. ResearcherID G-7001-2018, <https://orcid.org/0000-0002-9763-4717>

About the author:

Alla K. Frolova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Chemistry and Technology of Basic Organic Synthesis, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia). E-mail: frolova@gmail.com. ResearcherID G-7001-2018, <https://orcid.org/0000-0002-9763-4717>

Поступила: 25.10.2019; Получена после доработки: 28.11.2019; Принята к опубликованию: 06.12.2019.
Submitted: October 25, 2019; Reviewed: November 28, 2019; Accepted: December 06, 2019.