Наследие великого химика — сохраним ли?

Е.З.Голосман[1], П.Н.Боруцкий[2]
[1]*Новомосковский институт азотной промышленности «НИАП-КАТАЛИЗАТОР» (Новомосковск, Россия)*
[2]*Научно-производственная фирма «ОЛКАТ» (Санкт-Петербург, Россия)*

21 ноября 2017 г. в России и в мире отмечается 150-летие со дня рождения великого химика-технолога академика В.Н.Ипатьева. Торжественные мероприятия включают публикации, круглые столы, выставки, научные конференции. Но состоялось ли в полной мере возвращение русского гения на родину после многих лет забвения? Как распорядилась Россия его наследием? Помимо разностороннего научного вклада Ипатьев оставил стране ряд исследовательских институтов, создал по сути российскую химическую промышленность. А за последние 25 лет с карты России из 6000 отраслевых НИИ и КБ исчезло более 5000. «Отец гетерогенного катализа», Ипатьев мечтал вернуться в СССР и организовать здесь институт промышленного катализа; в какой-то степени эта его мечта воплотилась в нескольких институтах. Несмотря на все сложности современного переломного периода, разработка и внедрение промышленных катализаторов продолжается Институтом катализа имени Г.К.Борескова СО РАН, «НИАП-КАТАЛИЗАТОР», НПФ «ОЛКАТ», Институтом органической химии имени Н.Д.Зелинского РАН, Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова и др. Отношение мирового сообщества к заслугам Ипатьева выразилось в учреждении престижных премий американской (с 1947 г.) и российской (с 1994 г.), носящих его имя. Но очень важно, чтобы на родине ученого было продолжено в полной мере и его дело.

Ключевые слова: В.Н.Ипатьев, гетерогенный катализ, промышленные катализаторы.

Евгений Зиновьевич Голосман, *доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник «НИАП-КАТАЛИЗАТОР» (г.Новомосковск), член центрального правления Российского химического общества имени Д.И.Менделеева. Награжден рядом научных премий, в том числе премией по технической химии имени В.Н.Ипатьева РАН (2009). Область научных интересов — развитие технологии и организация производства катализаторов.*

Павел Николаевич Боруцкий, *кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе ООО «НПФ “ОЛКАТ”» (Санкт-Петербург). Лауреат премии Правительства РФ. Занимается разработкой гетерогенных катализаторов и технологий процессов изомеризации алканов и алкенов, гидроизомеризации и риформинга бензиновых фракций, гидроочистки углеводородного сырья.*

Выдающиеся химические открытия за последние столетия позволили решить многие проблемы повседневной жизни. Современная химия вошла в каждый дом, в каждую отрасль промышленности, в сельское хозяйство, в космос: сегодня практически нет продукции, в производстве которой не участвовала бы эта наука. Одним из локомотивов прогресса в химической индустрии стал катализ. Катализаторы, образующие с реагентами промежуточные соединения, а затем восстанавливающие свой химический состав, ускоряют протекание реакций. До 90% продукции в химической и нефтехимической промышленности получают с применением катализаторов. По данным Института катализа имени Г.К.Борескова СО РАН, общий объем годовой продукции, производимой в мире с помощью каталитических технологий, оценивается в 3 трлн долл. США. При этом стоимость производства самих используемых за год катализаторов не превышает 13–15 млрд долл. Кому же мир обязан столь широким их применением? Конечно, в первую очередь двум основоположникам гетерогенного катализа: русскому ученому Владимиру Ипатьеву и французскому — Полю Сабатье.

© Голосман Е.З., Боруцкий П.Н. 2017

Ученый и организатор

Будучи по образованию офицером-артиллеристом, Владимир Николаевич Ипатьев стал химиком по призванию. Его успехи как ученого были обусловлены прежде всего исследованиями каталитических реакций органических веществ. Сам он отчетливо представлял огромный потенциал катализа, отметив в конце своей докторской диссертации: «Заканчивая описание произведенных мною опытов по катализу, — опытов, которых потребовалось более тысячи только для того, чтобы разъяснить некоторые вопросы каталитических реакций, я заранее предвижу, какая громадная работа предстоит еще для того, чтобы была надлежащим образом освещена эта “химия будущего”». Среди его научных достижений в этой области за период работы в России следует упомянуть несколько особо значимых.

Ипатьев первым ввел в химическую практику, в том числе в гетерогенном катализе*, использование высоких давлений. Сконструированный им в 1904 г. прибор («бомба Ипатьева») стал прототипом ныне повсеместно работающих автоклавов. В 1909 г. он применил новую технологию, показав возможность получения каолина под давлением. Это предвосхитило работы по синтезу цеолитов, составивших основу новых катализаторов, например, обладающих молекулярно-ситовым действием. В том же году Владимир Николаевич исследовал каталитические свойства оксида алюминия — одного из самых распространенных в химии катализаторов. А в следующем — открыл явление — «промотирующий эффект» добавок к катализатору, усиливающих его действие, в частности, при гидрировании олефинов. В пионерских работах 1903–1913 гг. он осуществил синтез метана из угля и водорода и полимеризацию этилена. Фактически эти работы стали основой будущего производства ныне широко распространенного пластика — полиэтилена высокого давления. Наконец, развитые Ипатьевым еще в 1904–1906 гг. идеи послужили базой для развития такого процесса, как гидрогенизация углей (процесс Бергиуса), а впоследствии и современных технологий глубокой переработки нефти — каталитического крекинга и гидрокрекинга тяжелых нефтяных фракций.

Всего за период с 1900 г. до начала Первой мировой войны Ипатьев выполнил более 100 исследований, опубликовал три монографии, два учебника, несколько брошюр и более 100 статей в русских и иностранных журналах. В 1909 г. он сделал в Лондоне два доклада, имевших большой успех. Широкая научная эрудиция и знание состояния промышленности, в частности производства взрывчатых веществ, в России и за рубежом снискали Ипатьеву заслуженный авторитет, который многократно умножился после его успехов как организатора химической промышленности в годы Первой мировой войны.

Из-за острого дефицита взрывчатых веществ, а также толуола и бензола для их производства началось строительство 20 небольших заводов в Донбассе и Казани под руководством Ипатьева. А в связи с применением немцами отравляющих веществ ему одновременно было поручено организовать химзащиту войск.

Став председателем созданного в 1916 г. Химического комитета, генерал-лейтенант академик Ипатьев привлек к работе ведущих российских химиков. Вместе они вели огромную работу по поиску источников сырья и созданию производства необходимых продуктов — от взрывчатых и горючесмазочных материалов до медикаментов и сахарина. Неоднократно встречаясь с главнокомандующим российской армией — Николаем II, Ипатьев сам бывал и на фронте, проверяя эффективность защиты солдат в окопах от газовых атак.

В ноябре 1917 г. по предложению Л.Я.Карпова, представителя уже советского правительства, Ипатьев призвал членов Химического комитета сделать все, чтобы спасти фактически созданную в годы войны химическую промышленность. С его участием решались вопросы алюминиевого и коксогазового производства, получения синтетического каучука. В.И.Ленин еще в 1921 г. называл Ипатьева «главой нашей химической промышленности». Активно участвовал Владимир Николаевич и в организации в первом десятилетии советской власти ряда новых химических институтов. В их числе Институт физико-химического анализа (ныне Институт общей и неорганической химии имени Н.С.Курнакова РАН), Институт по изучению платины во главе с Л.А.Чугаевым, Центральная химическая лаборатория при Химическом отделе ВСНХ (ныне Физико-химический институт имени Л.Я.Карпова), Государственный институт прикладной химии (ГИПХ), Государственный институт высоких давлений (ГИВД). Последним он руководил, а также был директором образованного в 1920 г. Государственного института научно-технических исследований (ГОНТИ). Особенностью деятельности этого — многопрофильного — института было сочетание исследований фундаментального характера с разработкой новых технологий.

В 1927 г., как праздник мировой науки, в стране широко отмечалось 60-летие Ипатьева и 35-летие его научной деятельности. Он получил звание заслуженного деятеля науки и премию имени Ленина. Однако, несмотря на высокий научный и организаторский авторитет ученого, в 1926 г. его вывели из состава ВСНХ и руководства химией в Красной Армии. Начались аресты некоторых его коллег. В 1930 г. Ипатьев выехал в Германию для участия в энергетическом конгрессе и для лечения, оставаясь до 1935 г. директором и научным

* В гетерогенном катализе вещество, ускоряющее реакцию, образует самостоятельную фазу в среде реагирующих компонентов.

руководителем ГИВД. В 1936 г. в СССР еще вышел его фундаментальный труд: «Каталитические реакции при высоких давлениях и температурах» (изданный одновременно и в США), но после отказа подчиниться требованию немедленно вернуться в СССР автор 29 декабря 1936 г. был исключен из Академии наук, а 5 января 1937 г. лишен советского гражданства.

Великому русскому ученому, приехавшему в США на 64-м году жизни, не знавшему английского языка, Ипатьеву суждено было стать основоположником нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности также и в Америке.

Уже с 1930 г. Владимир Николаевич был профессором Северо-Западного университета и руководителем научных исследований в фирме «Universal Oil Products Company» (UOP, ныне лидирующей в мире фирме по разработке катализаторов и процессов нефтепереработки и нефтехимии). Исследования Ипатьева в организованной им лаборатории катализа фирмы (в г.Риверсайде), а также в созданной им, в том числе на свои средства, лаборатории в университете (в г.Эванстоне близ Чикаго), привели не только к важным открытиям, но и к появлению новых технологических процессов. Так, под его руководством проводились работы по синтезу компонентов моторных топлив. С 1935 г. предложенный Ипатьевым катализатор использовался в промышленности для получения высокооктанового полимербензина. Создание высокооктановых бензинов (за него Владимир Николаевич был удостоен в 1943 г. авиационной премии «Fawcett») позволило обеспечить скоростные преимущества авиации союзников над немецкой. Можно сказать, что это немалый вклад академика Ипатьева в победу над фашизмом не только США и Англии, но и любимой им России.

В день своего 70-летия на заседании Американского химического общества ученый сделал доклад «Катализ — химия будущего». Юбиляра поздравляли коллеги из 30 стран. Еще более торжественно отмечалось в 1942 г. 75-летие Ипатьева. Неоднократно обращаясь к руководству СССР с просьбой о возвращении и не получая ответа, Владимир Николаевич продолжал работать до самых последних дней своей жизни. Один из его учеников, американский профессор Г.Пайнс, возглавивший после кончины Ипатьева его лабораторию, сказал: «Вы, русские, не представляете себе, кого вы потеряли в лице Ипатьева, не понимаете даже, кем был этот человек. Каждый час своей жизни здесь, в США, всю свою деятельность он отдал России. Беспредельная любовь к родине, какой я никогда и ни у кого из эмигрантов не видел, была той почвой, на которой произрастали все выдающиеся результаты исследовательских трудов Ипатьева».

Сегодня лаборатория имени Ипатьева при Северо-Западном университете существует как Центр катализа и науки о поверхности, а в офисе фирмы UOP сохраняют музей Владимира Николаевича с его рабочим столом. А как обстоят дела с наследием ученого на его родине?

Прерванные традиции

Имя ученого мирового масштаба оказалось на десятилетия вычеркнуто из отечественной истории науки (упоминания об Ипатьеве исчезли даже из Большой советской энциклопедии, в публикациях нельзя было ссылаться на его труды, о его работах не рассказывали студентам-химикам). Но традиции, заложенные Владимиром Николаевичем, развивались в СССР после его отъезда в США учениками и последователями.

В ГИВД творческая атмосфера, созданная академиком Ипатьевым, сохранялась еще долгие годы, несмотря на репрессии в отношении некоторых ведущих сотрудников (по несколько лет в заключении отбыли любимый ученик Ипатьева, Григорий Алексеевич Разуваев, сын Ипатьева Владимир Владимирович, Марк Семенович Немцов). И на заложенном фундаменте вырастали новые результаты. Так, в лаборатории Немцова исследовалась деструкция алканов под давлением водорода. Б.Л.Молдавский открыл реакцию дегидроциклизации алканов на хромовом катализаторе. А.В.Фрост, а также А.А.Введенский, А.И.Динцес, В.Н.Монастырский проводили работы по созданию отечественных катализаторов и технологии синтеза аммиака, метанола и полиэтилена.

С 1929 по 1941 г. по разработкам ГИВД были созданы катализаторы и осуществлены в промышленном масштабе синтезы метанола (при участии В.Н.Долгова), мочевины (В.А.Болотов), этилового спирта путем гидратации этилена (А.А.Вайншейдт, Э.М.Каганова, А.А.Введенский) и полиэтилена высокого давления. Работы по действию водорода и воды под давлением на неорганические вещества развились позднее в исследования коррозии металлов под давлением (В.В.Ипатьев). В период Великой Отечественной войны эвакуированные в Уфу сотрудники ГИВД активно участвовали в создании промышленной установки получения полимербензина из газов крекинга, процесса получения полиэтилена, разрабатывали технологии получения активного оксида алюминия и алюмокобальт-молибденового катализатора, начали работы по каталитическому риформингу*, продолжили совершенствовать катализатор этилена. Достижения института были отмечены целым рядом Государственных премий.

Особо следует отметить труд репрессированных сотрудников ГИВД в так называемых «шарашках». Там при участии Немцова (будущего лауреа-

* Риформинг — промышленный процесс переработки бензиновых фракций нефти с целью получения высококачественных бензинов и ароматических углеводородов.

Доктора химических наук В.И.Якерсон (1935–2009), Е.З.Голосман, доктор химических наук, знаменитый бард А.А.Дулов (1931–2007) в лаборатории исследования катализаторов Института органической химии имени Н.Д.Зелинского РАН (слева направо). В плодотворном научном союзе каталитиков академического и отраслевого НИИ было создано и внедрено множество катализаторов, получены десятки совместных патентов, написаны многочисленные статьи и монографии.

та Ленинской премии за разработку технологии синтеза изопрена) развивались способы получения фенола и ацетона. В г.Ухте Разуваев участвовал в работах по извлечению радия. В будущем он стал директором и организатором Института полимеров АН СССР, директором Института химии в Горьком, академиком, Героем Социалистического Труда, лауреатом Ленинской и Государственных премий СССР.

После войны и возвращения из эвакуации в Ленинград ГИВД в результате реорганизаций и слияний получил название ВНИИНефтехим, сохраняя ипатьевскую школу — традиции научных и технологических исследований, заложенных первым директором. По разработкам сотрудников института в СССР было организовано множество крупнотоннажных производств: построено около 100 промышленных установок каталитического риформинга бензиновых фракций, установки изомеризации н-пентана и легких пентангексановых фракций, производства изопрена и продуктов оксосинтеза — бутилового спирта и 2-этилгексанола. Высокий технологический уровень научных разработок основывался на профессиональной квалификации научных сотрудников, среди которых было семь докторов и около 60 кандидатов наук.

В Институте нефтеперабатывающей промышленности (ВНИИ НП, г.Москва) промышленное воплощение в СССР получили разработки каталитического крекинга, гидроочистки различных видов сырья.

А что мы имеем сегодня? Имя Ипатьева вернулось на родину на сломе политических эпох — после реабилитации в 1990 г. Академия наук восстановила его в звании академика. Но по трагической иронии судьбы это совпало с разрушением того, что сам ученый считал делом своей жизни.

Ряд блестящих (прежде всего отраслевых) НИИ значительно разрушены. За последнюю четверть века с карты страны из 6 тыс. металлургических, химических, машиностроительных и прочих институтов и КБ исчезли более 5 тыс. В значительной части оставшихся численность сотрудников сократилась в десятки раз, в том числе и в созданных Ипатьевым. Уничтожено детище Владимира Николаевича — ВНИИНефтехим с его отличными исследовательскими и опытными установками. Немного осталось и от научной части знаменитого ГИПХ — института широчайшего профиля, который был создан знаменитыми российскими учеными в 1919 г. Там в течение многих лет решались вопросы создания взрывчатых веществ, ракетных топлив, новых катализаторов. В значительной степени потеряны позиции Грозненского нефтяного научно-исследовательского института, ВНИИ НП и др. В Туле не стало Института мономеров, который располагал коллективом в 2 тыс. человек и отличной опытной базой. Разрушительные примеры можно множить и множить.

Эти деструктивные процессы идут на фоне систематического недофинансирования всей отечественной науки и неуклюжих попыток реформировать Академию наук, что выливается в катастрофическую утечку мозгов за рубеж — ученые снова вынуждены покидать родину, хоть и не ради спасения своей жизни, а ради возможности эффективно работать. По данным разных источников, за последние три десятилетия счет покинувших Россию высококвалифицированных специалистов — ученых, инженеров, врачей — идет на сотни тысяч, что приносит колоссальные убытки стране. А деградация системы образования, плодящей по сути недоделанных инженеров — плохо подготовленных для реальной работы бакалавров, ставит под угрозу технологическое будущее страны. Похоже, что отечество возвращается в 30-е годы прошлого столетия, когда надо было в спешке готовить на рабфаках технических специалистов вместо погибших и уехавших в Гражданскую войну, а также репрессированных. Нужны хорошие

полновесные инженеры, каких готовил Ипатьев, преподавая в военных училищах.

Разумеется, организация фундаментальной и прикладной науки в новых условиях не могла оставаться прежней, ее реформирование после распада СССР было неизбежным. Но произошедшее масштабное разрушение системы отраслевых НИИ, пусть излишне крупных и несколько неповоротливых, но служивших естественным звеном в цепи наука—производство, нельзя оправдать соображениями, что за границей таковых нет, а перевод открытий в технологии обеспечивают научные фирмы при частных компаниях. Возможно, когда-нибудь подобная структура сформируется и у нас, но для этого необходимы организации, заинтересованные в стратегических горизонтах, а не в извлечении сиюминутной прибыли. И ориентация экономики не на трех сырьевых китов — две трубы (газовую и нефтяную) и лесоповал, а на подлинные, не просто декларируемые, инновации. С чем дело у нас пока обстоит не очень хорошо, и вот итог: сегодня в России большинство промышленных установок, на которых, в частности, производятся стратегически важные моторные топлива и крупнотоннажные продукты нефтехимии, базируются на зарубежных технологиях и импортных катализаторах. Так, катализаторы синтеза аммиака (ранее выпускавшиеся на заводах в Кемерове, Гродно, Чирчике, Северодонецке, Калуге, Новомосковске) в настоящее время у нас не производятся. И это разработанные еще в СССР катализаторы мирового уровня, потребности в которых полностью покрывались отечественными заводами!

А ведь Ипатьев еще в 1921 г. говорил: «Прочным и устойчивым может считаться лишь то производство, для которого все без исключения сырые материалы могут быть разысканы внутри страны, а само производство обслуживается русским техническим персоналом». Не правда ли, знакомый нам сегодня призыв, в частности применительно к стратегически важным катализаторам, хотя и без использования слова «импортозамещение»? Особо подчеркнем, что количество стран, которые владеют полным комплексом технологий производства катализаторов, меньше, чем число государств, обладающих технологиями производства атомного оружия.

Есть ли какие-то проблески надежды в сложившейся чрезвычайной, кризисной ситуации?

Мечта Ипатьева — институт катализа

Ученик Ипатьева М.В.Рысаков рассказывал, что Владимир Николаевич, мечтая вернуться на родину, думал о создании там института промышленного катализа. Отчасти, наверное, его идея воплотилась в Государственном институте азотной промышленности и продуктов органического синтеза (ГИАП) и его филиалах, тематика большинства из которых была связана с катализом. ГИАП был образован в 1943 г. слиянием двух организаций, созданных ранее, в 1931 и 1932 гг.: Государственного института азота и Государственного института по проектированию азотных производств. Ему в 30-х годах были переданы начатые ГИВД разработки по аммиачной тематике под руководством ученика Ипатьева А.В.Фроста. ГИАП стремительно развивался. Были созданы уникальная научная база, опытный завод в Подмосковье (г. Видное), крупнейшие установки по испытанию катализаторов (в Черкассах и Щекине). В период с 1950 по 1975 г. по всей стране были образованы девять филиалов, четыре из которых имели и опытные производства: Северодонецкий, Дзержинский, Днепродзержинский, Новомосковский. Это был один из самых крупных мировых НИИ (с численностью сотрудников более 12 тыс.), проводивший исследования в области проектирования технологий для производства аммиака, азотной кислоты, метанола, ацетилена, водорода, азотных удобрений, адипиновой кислоты, капролактама, бутиловых спиртов, тяжелой воды и др. На основе разработок ГИАП и филиалов были созданы сотни промышленных катализаторов. Основными их производителями стали Северодонецкий, Кемеровский, Ангарский, Гродненский химкомбинаты и Чирчикский завод «Электрохимпром».

После распада СССР ряд филиалов в сокращенном виде продолжил работу на территориях Украины, Белоруссии, Узбекистана. Остальные стали самостоятельными организациями. В головном же институте сохранилась только небольшая проектная часть и не осталось ни одного научного специалиста и ни одной установки.

Новомосковский филиал ГИАП был создан в 1958 г.; тогда в его состав входила научная часть, опытный завод (ныне катализаторное производство), проектная часть; в общей сложности там работало 1800 специалистов. Филиал ГИАП возник в городе с гигантскими химическими заводами — химкомбинатом (ныне НАК «Азот»), заводом бытовой химии (ныне «Проктер энд Гембл»), заводом органического синтеза (ныне «Полипласт») и др. Почти одновременно с созданием филиала в городе появилось и отделение Московского химико-технологического института (ныне университета) имени Д.И.Менделеева, в котором в период расцвета обучалось 5000 студентов. Оно стало поставщиком кадров для предприятий и НИИ Новомосковска и всей страны. В течение нескольких лет были построены здание для проектировщиков, корпуса научной части и опытного завода (катализаторного производства), которые оснащались современными приборами и установками. Коллектив ежегодно пополняли сотни молодых специалистов. Мощности катализаторного производства позволяли проводить не только отработ-

Различные формы выпускаемых катализаторов (таблетки, цилиндры с семью отверстиями, кольца, экструдаты).

ку опытно-промышленных партий, но и получение сотен тонн катализаторов для всех каталитических стадий агрегатов производства аммиака и иных продуктов в химической, нефтехимической, металлургической, машиностроительной, оборонной, атомной, пищевой промышленности на свыше чем 200 предприятиях. Среди более чем 500 промышленных катализаторов, используемых в химии, нефтехимии, металлургии и других отраслях экономики России для широкого круга процессов неорганического, органического и экологического катализа, несколько десятков — это разработки Новомосковского филиала.

Особо необходимо отметить создание Новомосковским филиалом ГИАП и головным институтом крупнейшей в Европе катализаторной фабрики в г.Дорогобуже. Первая очередь была введена в эксплуатацию в 1972 г., вторая — в 1981 г. Подобные предприятия в стране рождались весьма быстро и эффективно благодаря объединению в одной организации научной и проектной частей и катализаторного производства: промышленная технология катализаторов для фабрики, предложенная научными специалистами, отрабатывалась в опытных (от десятков килограммов до 1–2 т) партиях на своем заводе, а проект самой фабрики в Дорогобуже был подготовлен своими же проектировщиками.

К сожалению, разрушение отраслевых институтов не минуло и Новомосковское подразделение ГИАП. Произошло резкое сокращение численности сотрудников, проектная часть стала отдельной организацией — НИАП, а научная часть и катализаторное производство — Новомосковским институтом азотной промышленности (ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР»). Но все-таки, в отличие от тысяч отраслевых НИИ и КБ, организация устояла после штормов и ликвидаций.

«НИАП-КАТАЛИЗАТОР» продолжает модернизацию катализаторов и поставляет промышленности России, СНГ и дальнего зарубежья сотни тонн модифицированной продукции. Конечно, возможности Новомосковского НИИ сильно сократились по сравнению с периодом расцвета, как и практически во всей недофинансируемой науке. Проедается старый багаж наработок. И все же ряд выпускаемых катализаторов признаны в числе лучших в России и в мире — благодаря тому, что они постоянно усовершенствуются. Прежде всего это относится к катализаторам (партии от десятков и сотен килограмм до десятков тонн) для процессов метанирования, конверсии углеводородных газов, сероочистки, получения защитных (контролируемых) атмосфер, катализаторам лобового слоя низкотемпературной конверсии оксида углерода, к ряду катализаторов очистки технологических и выбросных газов. Часть их синтезирована на основе разработанного нами направления — химии приготовления оксидных и металлоксидных смешанных цементсодержащих катализаторов.

Так, наши специалисты впервые в мире предложили технологию получения носителей для катализаторов методом шликерного литья под давлением. Сама технология шликерного литья широко используется для получения различных керамических изделий, однако применение ее в катализаторной промышленности уникально. Она не просто расширила спектр возможных геометрических форм носителей — стало возможным производить катализатор оптимизированной формы (в виде цилиндров, шаров с семью отверстиями). Это позволяет снизить газодинамическое сопротивление слоя катализаторов и увеличить их активную поверхность, а также уменьшить температуру стенки дорогостоящих реакционных труб. Катализаторы были внедрены на ряде агрегатов синтеза аммиака с рекордно длительным сроком эксплуатации. Эта серия промышленных катализаторов эксплуатируется в России и на производствах метанола, и в водородных установках и т.д.

Узел формования катализаторов в форме экструдатов. Производство катализаторов такого вида повышает производительность их наработки по сравнению с выпуском катализаторов в форме таблеток и колец с помощью таблетмашин. Катализаторы-экструдаты применяются в различных реакторах.

Разработанные катализаторы для получения защитных атмосфер путем диссоциации аммиака, которые используются для предотвращения окисления и изменения поверхности металлов, практически удовлетворили потребность в них на всех производствах страны. Их срок службы (как говорят, пробега) составляет не менее 15 лет.

На Магнитогорском металлургическом комбинате недавно введен в эксплуатацию катализатор очистки коксовых газов, содержащих синильную кислоту, бензол, сероводород, аммиак, воду при весьма высоких температурах (1150–1200°С). При столь жестких условиях работы активность нового катализатора превысила показатели ранее работавшего там катализатора немецкой фирмы.

Впервые в мировой промышленной практике в метанатор агрегата производства аммиака Ровенского ПО «Азот» был загружен цементсодержащий катализатор метанирования (очистки синтезированного газа от оксидов углерода) кольцевидной формы, что позволило снизить газодинамическое сопротивление метанатора и достичь экономии по природному газу для одного агрегата аммиака до 250 тыс. м^3/год

Созданные катализаторы метанирования демонстрируют фантастический срок службы. Первоначально предполагаемое время эксплуатации изделий серии НИАП-07, которые загружались и загружаются в метанаторы 37 агрегатов синтеза аммиака РФ и СНГ, а также поставлялись на заводы Кубы, Румынии, Болгарии, Ирана, оценивалось максимум в 5–7 лет, но постоянная модернизация позволила продлить их реальную работу до 15 лет и более. Рекорды эксплуатации одной из модификаций составляет 22 года («Гродно Азот») и около

Уникальная термическая печь для прокаливания носителей катализаторов при температурах до 1500°С. Керамические носители нужны для получения термостабильных, механически прочных катализаторов, работающих при высоких температурах (в процессах конверсии углеводородных газов, получения защитных атмосфер и др.).

Исследование катализаторов, сырьевых компонентов, носителей с применением рентгеновского дифрактометра. Рентгеновский метод — один из самых информативных для наших целей: с его помощью определяется фазовый состав и степень дисперсности компонентов катализаторов.

Установка для определения температуры разложения компонентов катализаторов на воздухе и в восстановительных средах (в водороде). Эти исследования позволяют решать вопросы выбора температур прокаливания и активации катализаторов.

25 лет («Невинномысский Азот», «Тольяттиазот»). Можно отметить, что перезагрузка катализаторов метанирования на заводах была связана не со снижением эффективности их работы, а с проверкой работоспособности самих метанаторов или с их капитальным ремонтом. В ближайшее время будет испытываться новый катализатор со сниженной температурой активации. Такая продукция требуется, прежде всего из-за изменения теплового баланса агрегатов аммиака в связи с увеличением их производительности (с 1350 т до 1750 т в сутки).

Значительное увеличение срока службы высокоэффективных катализаторов (конверсии углеводородов, защитных атмосфер и ряда других), созданных в ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР», позволило предприятиям только за счет сокращения перезагрузок катализаторов получать сотни миллионов рублей экономии. Суммарный же экономический эффект от внедрения только катализаторов метанирования во всех метанаторах, где они эксплуатировались, за счет увеличения сроков пробега составил 2.5 млрд руб.

Есть и другие примеры создания и практического применения высококлассных катализаторов. Это, конечно, разработки Технологического института сверхтвердых и новых углеродных материалов в г.Троицке, Института нефтехимического синтеза РАН, химического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Института органической химии имени Н.Д.Зелинского РАН и, разумеется, Института катализа СО РАН. Создание последнего в 1958 г. в Академгородке тоже, безусловно, можно назвать воплощением мечты Ипатьева о каталитическом институте. Его первым директором стал выдающийся ученый и организатор науки академик Г.К.Боресков, а сейчас им руководит академик В.И.Бухтияров. Пожалуй, среди химических институтов в России именно этот располагает лучшей научной базой и опытными установками, имея еще одно несомненное преимущество — превосходный контакт с Новосибирским университетом, постоянное пополнение талантливыми выпускниками вуза. Многие из них уже со студенческой скамьи работают в лабораториях института, где под научным руководством академика В.Н.Пармона (директора с 1995 по 2014 г.) собралась целая плеяда блестящих каталитиков — профессоров, докторов и кандидатов наук. Их глубо-

кие фундаментальные исследования воплотились в создание промышленных катализаторов, в первую очередь для процессов нефтепереработки.

И все же эти прекрасные академические институты и вузы не могут в полной мере заменить каталитические прикладные отраслевые институты. Нужны, как были там, крупные опытные установки с объемом реакторов для испытания катализаторов не менее 100–200 л и расходом заводских газов от нескольких тысяч до десятков тысяч кубометров, которые должны работать круглосуточно, длительное время и на реальном сырье. С учетом возможных вредных выбросов установки непременно должны располагаться на промышленных площадках вдали от жилых кварталов. Необходимы и высококвалифицированные специалисты по загрузкам и пускам промышленных агрегатов, где будет происходить внедрение разработанных каталитических процессов.

И только при таком масштабировании, после таких испытаний можно практически безошибочно рекомендовать промышленности разработки как самих отраслевых НИИ, так и академических институтов и вузов. Полагаем, что подобный подход имел в виду, об этом мечтал замечательный химик-технолог Ипатьев.

Перекличка премий

Мало кто из российских ученых в 20-м столетии удостаивался стольких почетных наград и званий. Ипатьев был избран академиком различных иностранных академий наук, стал кавалером медалей Лавуазье, Бертло, Гиббса и др. Американские историки науки утверждают, что Россия дала миру трех величайших химиков: в XVIII в. — М.В.Ломоносова, в XIX в. — Д.И.Менделеева, в XX в. — В.Н.Ипатьева. Владимир Николаевич был назван в 1937 г. в США Человеком года, будучи выбранным из более чем 1000 претендентов. Г.Эглоф, директор исследовательского отдела фирмы UOP, говорил, что Ипатьев служил связующим звеном между американской и российской наукой.

Исключительное отношение американского научного сообщества к выдающимся заслугам академика Ипатьева выразилось и в том, что Американское химическое общество (ACS) еще при жизни Владимира Николаевича, начиная с 1947 г., стало проводить награждение премией его имени. Согласно положению конкурса, премия присуждается раз в три года за выдающиеся экспериментальные работы в области катализа и химии процессов при высоких давлениях. Первым Ипатьевскую премию получил Л.Шмерлинг молодой коллега Ипатьева, ставший в дальнейшем известнейшим нефтехимиком.

Упомянем еще несколько лауреатов более поздних лет. В 1983 г. за одно из первых исследований хемосорбции и каталитических реакций на очищенных поверхностях им стал Д.Гудман. В работе были применены самые современные методы исследований того времени. В 1986 г. премии был удостоен Р.Хэйзен — за изучение неявных зависимостей между кристаллической структурой и физическими свойствами. Были разработаны несколько методик исследований при высоких давлениях и температурах. А в 1989 г. премию получил наш соотечественник, выпускник (1974) МГУ, эмигрировавший в 1977 г. в США, А.Клибанов. Его научные интересы включали биотехнологию, различные новые материалы; он организовал ряд компаний. Еще через три года лауреатом стал М.Дэвис, работавший в Калифорнии, где проводил исследования катализаторов при высоком давлении, а также биоматериалов.

В 1995 г. был премирован М.Барто — исследователь в области изучения механизма реакций и активных центров на поверхности катализаторов — металлов и оксидов. Используя фотоэлектронную спектроскопию, он успешно идентифицировал активные центры на поверхности оксидов и описал характеристики, влияющие на изменение активности. Полученные данные способствовали созданию новых катализаторов и установлению новых тенденций в изучении реакций на поверхности как парадигмы в развитии новых каталитических технологий. Следующим получил премию А.Геллман — за глубокие исследования химических процессов, которые протекают на поверхности, специально разработанными для этого новыми методиками.

Победителем конкурса 2001 г. выбрали профессора Дж.Бреннеске за исследования при высоком давлении локальных молекулярных структур в надкритических растворах. В 2004 г. премии удостоился Р.Лобо, исследования которого были направлены на изучение цеолитных катализаторов. А последним лауреатом в 2016 г. был назван А.Бхан — за выдающийся вклад в гетерогенный катализ посредством детальных кинетических исследований и развитие способов конверсии метанольного сырья.

Российская академия наук по понятным причинам смогла пополнить свой перечень химических наград премией в области технической химии имени В.Н.Ипатьева лишь в 90-х годах прошлого века. С 1994 г. по настоящее время (конкурсы проводятся, как и в Америке, один раз в три года, и при представлении работ выдвигаются лишь ведущие авторы, причем не более трех человек) победителями признаны 16 авторов восьми конкурсных работ.

Первыми победителями престижного конкурса в 1994 г. стали ученые из Института нефтехимического синтеза имени А.В.Топчиева РАН доктора химических наук Е.В.Сливинский, С.М.Локтев, Г.А.Корнеева — за цикл работ «Разработка научных основ и технологии получения кислородсодержащих продуктов гидроформилирова-

нием непредельных соединений на родиевых катализаторах под давлением»; последними, в 2015 г., — член-корреспондент РАН доктор химических наук У.М.Джемилев (Институт нефтехимии и катализа РАН) и доктора технических наук В.М.Капустин. («ВНИПИнефть») и В.А.Хавкин («ВНИИ НП») — за работу «Каталитические процессы для получения продуктов нефтехимии и моторных топлив».

Масштабность и научно-техническую значимость работ, представляемых на конкурс имени Ипатьева, покажем на примере одной из них. В 2009 г. премия была присуждена за цикл работ «Физико-химические основы промышленной технологии производства водостойких катализаторов очистки газов от озона» академику, декану химфака МГУ В.В.Лунину, профессору химфака МГУ С.Н.Ткаченко и одному из авторов данной статьи. Многолетними усилиями многих специалистов химфака, научно-внедренческой фирмы «ТИМИС» и «НИАП КАТАЛИЗАТОР» созданы высокоэффективные, водостойкие, механически прочные промышленные катализаторы разложения озона; их производство освоено в «НИАП-КАТАЛИЗАТОР».

Благодаря своим окислительным и бактерицидным свойствам озон используется довольно широко — как сильный, универсальный окислитель; в очистных комплексах химических производств; при дезинфекции и осветлении воды; при устранении запахов; в технологии уничтожения отработанных автомобильных покрышек; при создании полупроводников, жидких кристаллов; при заживлении ран, лечении заболеваний крови, стерилизации медицинских инструментов; для создания комфортной атмосферы в помещениях и для их дезинфекции; при хранении продуктов; на оборонных предприятиях для утилизации различных химических загрязнений, например радиоактивного кобальта и компонентов ракетных топлив.

Часто спрашивают, зачем нужно разлагать озон. У многих представление о нем ограничено приятным запахом после грозы. При очень низких концентрациях озон действительно ощущается как приятная свежесть, но с ростом концентрации становится неприятным для обоняния (а начиная с определенного уровня — даже взрывоопасным). Более того, озон — токсичное вещество первого класса опасности с предельно допустимой концентрацией всего 0.1 мг/м^3. Раздражающий запах и токсичность делает актуальной проблему деструкции остаточного газа, который после технологических процессов необходимо превращать в безопасный кислород.

Самый оптимальный с точки зрения экономической эффективности и простоты аппаратурного оформления технологический процесс — каталитическое разложение озона. Однако ряд пригодных для этой цели российских и иностранных катализаторов имеют серьезные недостатки: или недостаточно высокую активность, или низкую механическую прочность, или короткий срок пробега (особенно при работе во влажном газе). Применение катализаторов на основе драгметаллов ограничено из-за высокой стоимости.

В отмеченной премией работе была разработана серия высокоэффективных катализаторов разложения озона на основе оксидов переходных металлов и специальных высокоглиноземистых цементов. Для этого пришлось приготовить и изучить более 500 составов новых цементсодержащих катализаторов с различным соотношением компонентов. Созданные катализаторы по своим характеристикам не уступают лучшим мировым аналогам, причем они оказались эффективными и в реакциях очистки различных органических соединений.

Катализаторы марки ГТ и ГТТ синтезированы и внедрены в промышленность на более чем 50 предприятиях России, СНГ и дальнего зарубежья. Первым крупным внедрением стали их промышленные испытания на Днепровской водопроводной станции (г.Киев). А в настоящее время эти катализаторы эффективно работают в озонаторных установках ГНЦ «Курчатовский институт», ракетно-космического завода ГКНПЦ имени М.В.Хруничева, АО «Мосводоканал», Кольской атомной станции (г.Полярные Зори), Невинномысском ПО «Азот» и во многих других организациях, в том числе только на медицинских установках фирмы «Медозон» для разложения озона этими катализаторами загружено более 500 установок. Для очистки отходящих газов пищевых предприятий на установках фирмы «Ятаган» также используются катализаторы в нескольких сотнях установок. А на заводе компании «Ok Rubber» (Таиланд) катализаторы применяются при переработке изношенных шин по озонной технологии. Есть у них и совсем неожиданные применения. Так, для исследований на пучке Большого адронного коллайдера (CERN, Швейцария) Научно-исследовательским институтом ядерной физики МГУ и др. был создан крупнейший комплекс аппаратуры, который включает в себя 350 тыс. дрейфовых детекторов. Образующийся в системе озон отрицательно влияет на материалы детектора. Примененный катализатор ГТТ полностью устраняет озон и уже восемь лет надежно защищает дрейфовые детекторы, а также устраняет органические и силиконовые примеси в газовой смеси. Крупное внедрение катализаторов осуществлено на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства — Западной водопроводной станции г.Москвы (240 тыс. м^3 воды в сутки) и спортивных сооружениях (бассейнах). Начато использование катализаторов и на Рублевской водопроводной станции г. Москва (320 тыс. м^3 воды в сутки), и в ГУП Водоканал (г.Санкт-Петербург).

Суммарный экономический эффект от внедрения катализаторов на нескольких десятках предприятий составил несколько сотен миллионов рублей.

Итоги следующего престижного российского конкурса на соискание премии имени В.Н.Ипатьева будут подведены в конце 2018 г., американского — в 2019 г.

Возвращение забытого гения

Имя Владимира Николаевича после многих лет забвения заняло достойное место в ареопаге российской науки. Несомненно, вклад Ипатьева как ученого, изобретателя, создателя новых исследовательских институтов, организатора химического производства можно сравнить с многосторонней деятельностью великих ученых и руководителей гигантских проектов — академиков И.В.Курчатова и С.П.Королева. Конечно, столь замечательная дата, его 150-летие, не остается незамеченной в России и в мире: проводятся конференции, выходят статьи. Один из круглых столов памяти академика состоялся еще в начале года в Доме русского зарубежья, рядом с которым завершается строительство здания музея, где разместится галерея выдающихся деятелей русской эмиграции, и в том числе постоянно действующая выставка, посвященная Владимиру Николаевичу.

Что же касается практической части наследия Ипатьева, то стране еще предстоит справиться с тяжелыми последствиями своего рода «репрессий производств», которые, в какой-то степени аналогично человеческим репрессиям, нагрянули в постпереломную эпоху. Конечно, трудно рассчитывать, что все руководители министерств и ведущих компаний будут иметь организационный талант уровня академика Ипатьева, но ожидать от них стратегической ориентированности на развитие научного потенциала и высокотехнологической экономики России мы вправе.

И за прошедшие в XXI в. годы уже имеются обнадеживающие примеры строительства у нас новых насыщенных каталитическими процессами нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Это крупные НПЗ в Татарстане и Тюменской обл., строящиеся нефтехимический комбинат в Тобольске, Приморский НПЗ и Амурский ГПЗ.

Новые катализаторы и процессы, превосходящие зарубежные аналоги, успешно реализованы

Блок риформинга (показана секция комбинированной установки производства моторных топлив Сургутского завода стабилизации газоконденсата(РП)). Блок каталитического риформинга бензиновой фракции вырабатывает базовый высокооктановый компонент бензина (около 1 млн т в год) с пониженным содержанием вредных ароматических углеводородов на цеолитсодержащих катализаторах серии ГПС, разработанных в ООО «НПФ "ОЛКАТ"».

также по разработкам «осколков» бывшего ВНИИНефтехима, юридически ликвидированного в 2015 г. Это технология жидкофазного синтеза изопрена, созданная в НПО «ЕВРОХИМ» (Санкт-Петербург), которая с 2006 года применяется в ПАО «Нижнекамскнефтехим». Мощность действующего производства изопрена составляет 190 тыс. т в год. А сульфатциркониевый катализатор и технология изомеризации легких углеводородных фракций, разработанные в НПП «Нефтехим» (бывшем Краснодарском филиале ВНИИНефтехима) уже используются на ряде заводов в России, а также в Индии и Китае: создание и широкомасштабное внедрение российской конкурентоспособной технологии для крупнотоннажного производства автобензинов, соответствующих требованиям европейских стандартов, отмечено премией Правительства РФ. ЗАО «НПО «Ленкор» продолжает работы, начатые В.В.Ипатьевым. Эта организация в настоящее время — одна из ведущих в стране в области технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности.

В 2015 г. ряд российских ученых и инженеров были отмечены премией Правительства РФ в области науки и техники за разработку и промышленное освоение инновационной, энерго- и ресурсосберегающей технологии производства высокооктановых автомобильных бензинов с улучшенными экологическими свойствами. В их числе бывшие сотрудники ВНИИНефтехима, работающие в ООО «НПФ “ОЛКАТ”» (Санкт-Петербург), в том числе один из авторов статьи, которые участвуют в промышленном освоении принципиально нового цеолитсодержащего катализатора риформинга, а также в разработке технологии гидроизомеризации бензолсодержащих фракций. Всего на катализаторах этой фирмы производится около 10% объема российского автомобильного бензина.

Постараемся же руководствоваться словами Владимира Николаевича Ипатьева, написанными им еще в 1923 г.: «Никакие потрясения государств, никакие разрухи промышленно-хозяйственной жизни не страшны для государств, если только не пропала охота к производительному труду. Если не угас дух мысли и творчества, представляющий собой ценнейший народный капитал — капитал науки»!

The legacy of the great chemist — are we able to keep it?

E.Z.Golosman[1], P.N.Borutskii[2]
[1] *“NIAP/KATALIZATOR” (Novomoskovsk, Russia)*
[2] *“OLKAT” Research and Production Firm (Saint Petersburg, Russia)*

November 21, 2017 in Russia and in the world the 150th anniversary of the birth of the great chemist-technologist, Academician V.N.Ipatieff, will be celebrated. Special events include publications, round tables, exhibitions, and scientific conferences. But was the return of the Russian genius to his native land fully realized after many years of oblivion? How did Russia manage his heritage? In addition to a diverse scientific contribution, Ipatieff headded a number of research institutes in the country, created the Russian chemical industry. And over the past 25 years, more than 5000 research institutes from the 6000 in this field in Russia have disappeared. «Father of heterogeneous catalysis», Ipatieff dreamed of returning to the USSR and organizing here an institute for industrial catalysis; to some extent this dream of Vladimir Nikolaevich fulfilled in several institutes. Despite all the complexities of the modern turning period, the development and introduction of industrial catalysts is continued by Boreskov Institute of Catalysis (Novosibirsk), NIAP-KATALIZATOR (Novomoskovsk), OLKAT (St. Petersburg), the N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry (Moscow), Lomonosov Moscow State University, etc. The attitude of the world community to the merits of Ipatieff was expressed in the creation of a prestigious awards (American (since 1947)) and Russian (since 1994)). But it is very important that in his homeland, his business will be fully preserved.

Keywords: V.N.Ipatiev, heterogeneous catalysis, industrial catalysts.