

УДК 658.336.3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ И ПРОИЗВОДСТВА

Из опыта сотрудничества
ОАО «Нижнекамскнефтехим»
и ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский)
федеральный университет»

© 2012 г. **И.Р. Гафуров**¹,
В.М. Бусыгин²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

² ОАО «Нижнекамскнефтехим», г. Нижнекамск

*Чтобы стоять на месте, нужно бежать,
а вот чтобы двигаться вперед, нужно бежать в два раза быстрее.*

Льюис Кэрролл («Алиса в стране чудес»)

Инновационное развитие страны в значительной степени определяется эффективностью взаимодействия университетской науки и производства. Исчезновение отраслевых институтов с их опытными заводами и полупромышленными установками серьезно осложнило продвижение научных разработок в сектор реальной экономики.

Научные институты системы Академии наук специализируются, как правило, на решении фундаментальных задач, имеют достаточно устойчивое финансирование по грантам Академии наук и инофирм. В хорошо оснащенных современных лабораториях работают высококлассные специалисты, услуги которых высоко котируются на международном рынке. Работа с частными предприятиями, где деньги выплачиваются только при условии промышленной реализации разработки, которой предшествуют стадии опытно-промышленных испытаний, участие в проектировании производства (разработка технического задания для проектантов), обучение персонала и сопровождение разработанной технологии после ее реализации слишком обременительна и нехарактерна для академических вузов. Например: разработка новой технологии в нефтехимии, где 90 % процессов — каталитические, подразумевает не только создание нефтехимичес-

кой технологии с заказом специфического оборудования, компоновкой технологической схемы, создание предпроектной документации и разработку технологических регламентов и технических условий, но и реализацию всего перечисленного цикла для создания каталитической базы этого производства. Необходимо знать реальные возможности отечественных каталитических производств, создавать технологические регламенты промышленных каталитических систем для разработанной нефтехимической технологии.

Другое дело «вузовская наука» — она стоит ближе к реальному сектору экономики, готовит для него инженерные, технологические кадры и не избалована большими деньгами.

Сегодняшнее деление университетов на федеральные и национально-исследовательские вызвало к жизни парадигму их специализации. Опыт работы предприятия показывает, что выпускники технологических вузов, получившие обширные знания (сопромат, детали машин, оборудование производства и т.д.), хорошо работают на технологических и инженерных должностях предприятия; грамотно осуществляют технологические процессы, поддерживают производственные стандарты и необходимый уровень техники безопасности на производстве.

Выпускники федеральных (классических) университетов, как правило, имеют более глубокие знания в области естественных наук и уходят преимущественно в академические институты, а те, которые приходят на производство, эффективнее

Гафуров И.Р. — д-р эконом. наук, проф., канд. физ.-мат. наук, ректор КФУ (420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18).

Бусыгин В.М. — д-р эконом. наук, канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «Нижнекамскнефтехим» (423574, г. Нижнекамск, ОАО «Нижнекамскнефтехим»)

Таблица 1

Эксплуатационные показатели катализаторов дегидрирования изопарафинов

Показатели	Лабораторные показатели			Промышленные показатели		
	КДИ	АОК-73-21	ИМ-2201	КДИ	АОК-73-21	ИМ-2201
Выход изобутилена на пропущенный изобутан (ВП), мас. %	49	45	47	32	31	30
Выход изобутилена на разложенный изобутан (ВР), мас. %	89	86	88	88	87	88
Температура, °С		570			550	560–570
Объемная скорость, ч ⁻¹		400			176	183
Стойкость к истиранию, %	90	88	75	–	–	–
Абразивность, г/м ² ·ч	0,12	0,41	0,11	–	–	–
Норма расхода катализатора на 1 т изобутилена, кг	–	–	–	6	8	25

Таблица 2

Эксплуатационные показатели катализаторов дегидрирования изоамиленов в изопрен

Показатели	Лабораторные показатели			Промышленные показатели		
	КДОМ-08	ЖКД-3	BASF S 6-34	КДОМ-08	ЖКД-3	BASF S 6-34
Нагрузка по сырью, т/ч на 1 т кат-ра	0,54	0,54	0,54	0,12	0,18	0,16
Разбавление сырья паром, т/т	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Температура, °С	600	600	600	625	625	621
Активность, %	50,2	50,1	42,8	29,3	32,7	30,6
Селективность, %	86,8	92,2	88,7	85,3	86,5	84,9

проявляют себя в научно-технологических центрах (заводских лабораториях), технологических отделах. Как правило, именно такие специалисты способны к созданию новых прорывных технологий.

Положительный опыт взаимодействия лаборатории адсорбционных и каталитических процессов Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ) и ОАО «Нижнекамскнефтехим» подтверждает это. За время сотрудничества были разработаны и внедрены в промышленную практику следующие катализаторы:

— дегидрирования изопарафинов C₃–C₄ (КДИ) (сравнительные данные по эксплуатационным показателям процесса с использованием КДИ и его промышленных аналогов приведены в табл. 1);

— дегидрирования изоамиленов в изопрен (КДОМ, ЖКД) (сравнительные данные — в табл. 2) и этилбензола в стирол (КДЭС).

Катализатор дегидрирования изопарафинов КДИ в объеме 100 т/мес производят на ОАО «Химзавод им. Л.Я. Карпова» по лицензионному соглашению. Однако для удовлетворения потребностей объединения этого количества явно недостаточно. Поэтому было принято решение об организации

производства более эффективного катализатора КДИ-М в объеме 200 т/мес на свободных площадях катализаторной фабрики II промышленной зоны ОАО «Нижнекамскнефтехим». Финансирование этого проекта уже началось.

Производство железокалиевого катализатора дегидрирования изоамиленов в изопрен (КДОМ) организовано на названной фабрике в 2003 г. В настоящее время проводится его модернизация в рамках постановления Правительства РФ № 218 с объемом государственной субсидии 250 млн руб. Разработан более эффективный катализатор (ЖКД) и начата его промышленная эксплуатация. Вдвое (до 60 т/мес) будет увеличена производственная мощность катализаторной фабрики, что позволит производить на ней катализатор дегидрирования этилбензола в стирол для завода СПС ОАО «Нижнекамскнефтехим» в объеме 60 т/год.

Выделенное финансирование с лихвой покрыло затраты университета на разработку катализаторов дегидрирования, позволило переоснастить каталитическую лабораторию, закупить научно-исследовательское оборудование на сумму более 120 млн руб. (в том числе из фонда Программы развития

КФУ), что дало новый импульс в развитии этого направления.

Планируется создание мобильной пилотной установки для проведения опытно-промышленных испытаний катализаторов в условиях производства. В рамках проведения работ созданы совместные творческие коллективы с участием разных кафедр университета. Так, при сотрудничестве с кафедрой геохимии проводятся магнитохимические исследования железокалиевых и алюмохромовых каталитических систем. Кооперация с кафедрой аэрогидромеханики механико-математического факультета позволила разработать адекватную математическую модель дегидрирования изоамиленов на железокалиевых катализаторах. На основании этой модели оптимизированы условия проведения промышленного процесса, модернизированы промышленные реакторы и определено направление дальнейшего совершенствования катализатора. Полученные результаты неоднократно обсуждались на научно-технических совещаниях предприятия и получили высокую оценку его ведущих специалистов.

В настоящее время разрабатывается математическая модель «работы» катализаторов дегидрирования изобутиленов в кипящем слое, которая позволит получить рекомендации по модернизации существующих реакторов и разрабатываемых катализаторов.

В рамках выполнения работ по данному проекту углубляется интеграция КФУ и объединения: создан научно-образовательный центр «Нефтехимия и катализ»; в КФУ открыта магистратура с таким же названием и производится первый набор магистрантов на обучение, в том числе по направлению ОАО «Нижнекамскнефтехим» на контрактной основе. Основные программные дисциплины и объем их преподавания согласованы с руководством объединения, ведущие сотрудники которого будут привлекаться к преподавательской деятельности.

Создаваемые каталитические системы должны соответствовать лучшим мировым образцам, поэтому в качестве базы сравнения для селективного гидрирования взяты G-58E, G-55B, G-63C, LD-265, для дегидрирования — S6-34 (BASF), Fl. Gold («Shell»), для изомеризации бутиленов — Al 3945 $\frac{1}{2}$ («Engelhard»).

Ряд разработанных катализаторов успешно прошел стадии опытно-промышленных испытаний на заводе «Этилен» и готовится их промышленное внедрение. Это катализаторы:

— селективного гидрирования ацетиленов в этан-этиленовой фракции;

— гидрирование ацетиленовых и олефиновых углеводородов в пиробензине;

— селективного гидрирования метилацетилена и пропадиена в пропан-пропиленовой фракции.

Промышленное внедрение последнего в условиях действующего производства планируется осуществить в 2012—2013 гг.

На заводе по производству синтетических каучуков «СК» ОАО «Нижнекамскнефтехим» идет подготовка к опытно-промышленным испытаниям катализатора селективного гидрирования бутинов и пентинов в изоамиленовой фракции.

На заводах «Этилен», «Дивинил» ОАО «Нижнекамскнефтехим» в процессе производства 1,3-бутадиена образуются побочные продукты — отдувочные газы ацетиленового концентрата (этил-винилацетиленовая фракция) в количестве 11200 т/год, которая содержит до 57,0 мас. % 1,3-бутадиена. Ввиду повышенной концентрации винилацетилена и отсутствия процесса переработки данной фракции, отдувочные газы сжигаются на факеле. В лаборатории разработан катализатор гидрирования винилацетилена, который успешно прошел опытно-промышленные испытания на ОАО «Нижнекамскнефтехим». Промышленная реализация данной разработки позволит получить, т/год:

1,3-бутадиена	до 3600
бутинов.....	до 9400
бутана	до 11500

Проектная документация находится на стадии завершения, стоимость реализации проекта — 200 млн руб., срок окупаемости — 2 года. Принятое решение о наращивании мощности ОАО «Нижнекамскнефтехим» по этилену до 1 млн т/год делает реализацию этой разработки еще более привлекательной.

Не все получается сразу. Так, при разработке катализатора изомеризации бутилена был получен лабораторный образец (АКИБ), который по эксплуатационным характеристикам превосходил импортный аналог (Al 3945 $\frac{1}{2}$ («Engelhard»)). Отработка производства этого катализатора на одном из отечественных катализаторных заводов после предварительной наработки опытно-промышленных образцов также вселяла уверенность в достижении заданных показателей. Однако в процессе наработки промышленной партии производитель сменил прокаливающее оборудование без уведомления раз-

работчиков, и часть катализатора оказалась недопрокаленной. Следствием этого явилось снижение эксплуатационных показателей в процессе опытно-промышленных испытаний. Данный случай послужил нам хорошим уроком. Сегодня промышленные наработки всех партий вновь разработанных катализаторов проводятся под нашим контролем.

Работы в этом направлении продолжаются, и сегодня тестируется лабораторный образец катализатора следующего поколения (табл. 3).

Для нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий характерно высокое потребление адсорбентов для осушки и селективной очистки углеводородных потоков. В лаборатории была разработана технология получения цеолитсодержащих адсорбентов на основе каолиновых глин, промышленное испытание которых проводится в настоящее время (табл. 4). Образцы характеризуются оптимальным соотношением цена/качество.

Оптимизация рецептуры и технологии производства катализатора дегидратации *трет*-бутилового спирта (КУ-2ФПП) для завода «Бутилкаучук» проведена на катализаторной фабрике I промышленной зоны ОАО «Нижекамскнефтехим». Результат проведенной работы — увеличение каталитической активности с 57—60 до 68—70 % (по данным промышленных испытаний).

Практически все разработанные технологии и катализаторы защищены авторскими свидетельствами и патентами РФ.

ОАО «Нижекамскнефтехим» во главе с генеральным директором д-ром хим. наук В.М. Бусыгиным и главным инженером д-ром техн. наук Х.Х. Гильмановым поддерживает университет во всех его начинаниях. Часть простаивающего в объединении оборудования была реконструирована в пилотные установки путем уменьшения внутренних объемов. Так, в реакторах дегидрирования изоамиленов после уменьшения их объемов с 25 до 8 т (по катализатору) проводятся опытно-промышленные испытания катализаторов и модернизация внутреннего устройства реакторов. Практически все работы проходят в тесном сотрудничестве с техническим управлением (главный технолог канд. хим. наук А.Г. Сахабутдинов) и научно-технологическим центром (директор В.П. Погребцов). Длительные испытания катализаторов на реальных сырьевых потоках, их «доводка» и мониторинг в процессе эксплуатации были бы невозможны без их участия. Проведение совместных опытно-промышленных испытаний катализаторов на заводах многому учит сотрудников университета, а заключение договоров НИР позволяет точнее определять направление научно-исследовательских и фундаментальных работ в части практической значимости.

Таблица 3

Эксплуатационные показатели катализаторов скелетной изомеризации *n*-бутенов

Катализатор	Температура, °С	В лабораторных условиях		В промышленных условиях	
		активность, %	селективность, %	активность, %	селективность, %
«Engelhard» Al 3945 S	540	27	87	28	85
АКИБ	540	30	88	27	86
Экспериментальный образец	480	34	90	—	—

Таблица 4

Характеристика цеолитсодержащих адсорбентов

Показатель	Цеолит NaA			Цеолит KA		
	Опытный образец	ООО «ТД Реалсорб»	«Grace Davison»	Опытный образец	ООО «ТД Реалсорб»	«Grace Davison»
Размер гранул по среднему диаметру, мм	2,7	3,1	3,2	2,7	3,0	3,1
Насыпная плотность, г/см ³	0,87	0,80	0,73	0,90	0,82	0,72
Механическая прочность на раздавливание, кг/мм ²	4,0	2,4	1,1	3,5	2,9	1,8
Динамическая активность по парам воды, мг/см ³	125	127	104	120	155	92
Цена за 1 кг, руб. (с НДС)	100	120	140	120	140	170

Не все разработки доведены до промышленной реализации. Иногда это связано с изменением экономической конъюнктуры, обуславливающей спрос на ту или иную нефтехимическую продукцию. В частности, снижение спроса на оксид этилена привело к остановке работ по разработке импортозамещающего катализатора парциального окисления этилена в тот момент, когда уже был разработан конкурентоспособный лабораторный образец катализатора. В ряде случаев останавливает высокий риск промышленной реализации. Так, селективное гидрирование ацетилена в этан-этиленовой фракции и гидрирование пиробензина проводят в одном реакторе, и недостижение эксплуатационных показателей при переходе на новый катализатор могло бы привести к остановке нескольких заводов, стоящих в дальнейшей технологической цепочке. Разработка микросферического катализатора дегидрирования пропана была остановлена из-за высоких затрат на модернизацию систем разделения пропан-пропиленовой фракции. Но во всех случаях исследователи приобретали бесценный опыт и новые знания, которые были использованы для разработки других каталитических систем.

В заключение хочется отметить несколько аспектов, которые необходимо учитывать исследователям при разработке катализаторов.

1. Важно как можно точнее оценивать термодинамические параметры каталитического процесса. В условиях лаборатории при разработке и тестировании катализаторов чаще всего используют проточные трубчатые изотермические реакторы с небольшим (до 10 см³) объемом загрузки катализатора. В промышленности эксплуатация катализатора в большинстве случаев проводится в адиабатических реакторах с большим объемом катализатора. Если тепловые эффекты протекания процесса значительны, следует предусматривать подвод или отвод тепла путем использования технологических теплоносителей и учитывать температурное воздействие

на катализатор. В противном случае лабораторные данные будут существенно отличаться от промышленных результатов.

2. Параллельно с разработкой катализатора желательно создавать математическую модель технологического процесса применительно к реально действующему производству. Это позволит выделить наиболее значимые параметры, влияющие на протекание процесса, оптимизировать его газодинамические режимы и точнее формулировать оптимальные требования к структуре катализатора.

3. Эксплуатация катализаторов в промышленных условиях осуществляется, как правило, в реакторах с большим объемом загрузки катализатора, поэтому промышленная технология производства катализатора должна обеспечивать соответствующие физико-механические характеристики и форму катализаторных экструдатов, что достигается путем разработки необходимой реологии и условий формирования катализаторной пасты.

4. Важно знать возможности существующих катализаторных производств и их технологические особенности, чтобы после создания лабораторного образца иметь реальную возможность организовать его промышленное производство.

5. В условиях жесткой конкуренции нельзя останавливаться. Однажды созданный катализатор требует постоянного мониторинга и модернизации. Даже в стране чудес «Чтобы стоять на месте, нужно бежать, а вот чтобы двигаться вперед, нужно бежать в два раза быстрее» (Льюис Кэрролл). Разработка катализаторов — не хобби, это основная сфера деятельности, требующая знаний, времени и энергии. Но, вероятно, это и есть самое интересное в химии.

В завершение пожелаем всем исследователям университета и заводским специалистам плодотворной совместной работы на благо процветания ОАО «Нижекамскнефтехим».

Работа выполнена при поддержке Министерства Российской Федерации (Минобрнауки).