

УДК 001.83:661.5

Отраслевая наука в азотной промышленности

А. М. Алексеев

АРКАДИЙ МЕФОДЬЕВИЧ АЛЕКСЕЕВ — кандидат технических наук, доцент, лауреат премии Совета Министров СССР, почетный химик. Область научных интересов: технология неорганических веществ; химическая кинетика и катализ гетерогенных процессов в производствах технического водорода, аммиака, азотной кислоты, метанола; физико-химические свойства катализаторов; плазмохимия; композиционные материалы.

109028 Москва, ул. Земляной вал, д.50А/8, ОАО «ГИАП», тел. (095)916-98-70.

Одним из важнейших направлений развития химической индустрии является создание азотной промышленности и в первую очередь — производства синтетического аммиака.

Исключительное значение этого производства обусловлено тем, что оно является мощным сырьевым источником связанного азота для получения самых разнообразных неорганических (прежде всего, азотной кислоты и минеральных удобрений) и органических азотосодержащих соединений.

С 1965 г. и до настоящего времени автору этой статьи пришлось непосредственно участвовать, возглавляя большие коллективы, в разработке агрегатов для производства аммиака мощностью 600 и 1360 т в сутки; в создании технологии и организации производств катализаторов, плазмохимических процессов, а также в решении других научно-технических проблем, стоящих в этот период перед отраслью.

Развитие производства синтетического аммиака в прошлом столетии явилось первым примером практического объединения трех направлений физической химии — термодинамики, кинетики и катализа. Одновременно с решением комплексной теоретической проблемы осуществлялась разработка технологии, оборудования, средств автоматизации, систем управления сложными строительными и монтажными работами и даже транспортировка крупногабаритного оборудования.

Первое производство синтетического аммиака в СССР было построено в 1928 г. на Чернореченском химическом заводе мощностью 8 тыс. т в год, позднее его мощность возросла до 20 тыс. т в год. Синтез аммиака осуществлялся при давлении 60 МПа по способу фирмы «Казале» (Италия) из водорода, получаемого железо-паровым способом, и азота, получаемого разделением

воздуха. До начала Великой Отечественной войны были также построены производства аммиака по способу американской фирмы «Найтроджен» на Новомосковском, Березниковском и Днепродзержинском химических заводах. Получение водорода базировалось на газификации твердого топлива, что позволило довести общий объем производства аммиака в стране в 1940 г. до 338 тыс. т.

Не углубляясь в историю, все же следует остановиться на особо важных моментах развития азотной промышленности, которому способствовали научные и технические разработки ГИАП.

Бурное развитие отрасли в послевоенные годы сопровождалось разработкой и внедрением новых технологических решений, базирующихся на переводе производства аммиака с твердого топлива на природный газ. Это была не только простая замена сырья, т.к. за этим последовала коренная смена технологии и аппаратного оформления.

По проектам ГИАП в 1959—1965 гг. построены и пущены новые предприятия, где были использованы новейшие достижения того времени. Необходимо отметить, что с 1959 г. все производства аммиака были переведены на использование в качестве сырья природного газа.

Начиная с середины 1960-х гг. технологии для производства аммиака с использованием в качестве сырья природного газа и нефти разрабатывали во всем мире, в том числе и в СССР, по энерготехнологическому принципу.

В энерготехнологической схеме в большинстве случаев высоко-, средне- и низкопотенциальное тепло технологических процессов используется с целью выработки пара энергетических параметров для привода технологических компрессоров, которые предназначены для синтез-газа, воздуха, природного газа и т.д.

Для замыкания парового баланса агрегата установлен вспомогательный паровой котел, обеспечивающий устойчивость работы агрегата в переменных нагрузках.

Основной целью данного направления являлась экономия энергоресурсов за счет совершенствования технологических стадий, использования высокоактивных катализаторов, повышения параметров энергетического пара, что при взаимном сочетании всех усовершенствований позволяет снизить расходные коэффициенты на единицу продукции. Снижение расходных коэффициентов неразрывно связано с повышением надежности работы механического оборудования, системы автоматизации, с увеличением срока службы катализаторов. Например, на стадии синтеза аммиака расход азотоводородной смеси (приведенный к нормальным условиям) в м³ на одну тонну NH₃ составляет: в отечественных агрегатах — 2800, по проекту фирмы «Келлог» (США) — 2819, фирмы «Хемика» (США) — 2832, фирмы «ЭНСА» (Франция) — 2852. Необходимо также отметить, что на технико-экономические показатели работы высокопроизводительных агрегатов аммиака в значительной мере влияет степень использования мощности. От этого показателя зависит мировая оценка уровня годовой прибыли: при 95%-ом использовании мощности крупнотоннажных агрегатов прибыль составляет 8,164 млн долл; при 85%-ом — 4,488 млн долл; при 75%-ом — 0,809 млн долл.

Начиная с 1960-х гг. ГИАП провел интенсивные научно-исследовательские, конструкторские и проектные работы по созданию крупных агрегатов ряда производств и, в первую очередь, производства аммиака.

Если перед Второй мировой войной производительность колонны синтеза аммиака составляла около 30 т в сутки, то в конце 1950-х гг. — 100, в конце 1960-х — 300—600 т в сутки. В 1969 г. ГИАП разработал проект нового агрегата для производства аммиака мощностью 1500 т в сутки. Однако из-за невозможности создания в то время в СССР трубчатых печей для такой производительности и центробежных компрессоров для сжатия азото-водородной смеси производительность агрегатов аммиака составляет в сутки 1360 т или в год — 450 тыс. т. Модификациями такого агрегата были АМ-70, АМ-76, АМ-80, АМ-85, которые в 1970—1980-ые и последующие годы составляли основу производства аммиака в СССР.

В эти же годы разработаны и построены крупнотоннажные производства неконцентрированной азотной кислоты УКЛ-7 мощностью 120 тыс. т в год и АК-72 с единичной мощностью 360—380 тыс. т в год, агрегаты для получения

концентрированной азотной кислоты заданной мощности, аммиачной селитры с годовой производительностью 450—500 тыс. т, карбамида — 330 тыс. т, метанола — мощностью 100 и 300 тыс. т, капролактама 50—60 тыс. т, бутиловых спиртов — 30 тыс. т.

ГИАП совместно с филиалами в эти же годы разработали и организовали крупное производство катализаторов для всех технологических стадий аммиака, азотной кислоты, метанола, капролактама, бутиловых спиртов общей мощностью 29,3 тыс. т, из них в Российской Федерации — 19,5 тыс. т.

По разработанным технологиям и рабочим проектам на их основе к 1985 г. в СССР были созданы в промышленном масштабе мощности по ежегодному производству (млн т): аммиака — 27 (13,8 — в РФ), неконцентрированной азотной кислоты — 22 (12 — в РФ), аммиачной селитры — 18 (10 — в РФ), карбамида — 10 (5,9 — в РФ), нитроаммофоски — 2,7 (1,5 — в РФ), капролактама — 0,64 (0,5 — в РФ), метанола — 2,6 в РФ; производство жидкого водорода осталось в Узбекистане и Украине. Для транспортировки жидкого аммиака на экспорт в 1979—1981 г. был введен в эксплуатацию (I и II очереди), по разработкам ГИАП со смежными организациями, крупнейший в Европе магистральный трубопровод Тольятти—Одесса протяженностью 2417 км. По проектам ГИАП были построены установки по производству аммиака и азотных удобрений в КНР, Болгарии, Венгрии, Афганистане, Сирии, ГДР, Кубе; циклогексана — в Румынии.

В период 1985—1990 гг. строительство предприятий азотной промышленности в СССР практически прекратилось.

После распада СССР в Российской Федерации объем производства аммиака как основного сырья для азотных удобрений, начиная с 1991 г., снижался и в 2000 г. достиг объема 10,6 млн т. Поставки удобрений всех видов отечественным сельхозпроизводителям по данным ЗАО «Росхимнефть» составляют лишь 10,7% от общего объема их производства, что недостаточно для сохранения плодородия почв России. Так, в начале 1990-х гг. на 1 га пашни вносилось 110 кг минеральных удобрений, а в 1999 г. — всего 11 кг, т.е. в 10 раз меньше, а это означает начало развития процесса убывания плодородия почвы; 10 млн т минеральных удобрений в 2000 г. поставлялось на экспорт. Острейшая проблема производителей минеральных удобрений — низкий платежеспособный спрос на их продукцию на внутреннем рынке. Тем не менее, в период с 1998 по 2000 г. поставки минеральных удобрений сельскому хозяйству России несколько возросли с 1,08 до 1,32 млн т, в том числе азотных удоб-

рений — с 0,8 до 0,9 млн т, при потребности не менее 19 млн т в год.

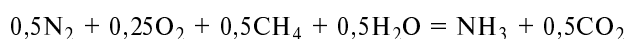
К настоящему времени агрегаты для производства аммиака мощностью 600 и 1360 т в сутки, а также установки других важнейших продуктов азотной промышленности Российской Федерации, введенные в эксплуатацию в период 1970—1980 гг. практически выработали нормативные сроки эксплуатации, которые составляют от 17 до 25 лет с учетом внесения затрат на поддержание их в работоспособном состоянии. В отдельных случаях работают при пониженных степенях использования мощности, что приводит к перерасходу энергоматериальных ресурсов. Произошло также значительное повышение цен на энергоносители (природный газ и электроэнергия), повысились тарифы на транспортировку готовой продукции. Создавшееся положение привело к росту цен и снижению конкурентоспособности аммиака и азотных удобрений отечественного производства на мировом рынке, резко ограничило возможности их использования в сельском хозяйстве на внутреннем рынке.

Лучшие показатели энергопотребления годовых расходных норм основного сырья (природного газа) в агрегатах мощностью 1360 т в сутки (450 тыс. т в год) при высоких процентах использования мощности представлены в таблице.

Общий расход энергопотребления на 1 т NH₃ не превышает 10,0 Гкал.

При снижении производительности агрегатов на 10% издержки производства аммиака повышаются на 7%, при снижении на 20% — издержки увеличиваются на 16%.

Теоретический анализ процесса получения аммиака по суммарной реакции:



показывает, что при 100% превращении исходных компонентов в конечные продукты и полном использовании энергии экзотермических и эндотермических реакций и фазовых превращений в стандартных условиях (1 атм., 298,15 К) на образование одной тонны аммиака требуется 658,8 м³ метана — основного энергоматериального компонента. В пересчете на природный газ с содержанием 95% метана расход его, приведенный к нормальным условиям, составит 693,5 м³ на 1 т NH₃.

Снижение потребления природного газа — одна из главных проблем при повышении эффективности производств. Указанное выше количество природного газа с учетом его определенной теплотворной способности вносит с собой 5,3 Гкал энергии на одну тонну аммиака. Таким образом, разница между практическим и теоретически возможным потреблением энергии составляет: 10 — 5,3 = 4,7 Гкал.

Основные потери энергии в эксплуатируемых высокопроизводительных агрегатах аммиака распределяются следующим образом: паровая конверсия природного газа — 43%; очистка конвертированного газа от диоксида углерода — 12%; компрессия и синтез аммиака — 17%. Повышенные эффективности работы прежде всего на этих стадиях и является предметом изучения.

В последние годы появился ряд патентов, публикаций, рекламных проспектов ведущих фирм: «Келлог» (США), «Ай-Си-Ай» (Великобритания), «Снампроджетти» (Италия) и других, предлагающих синтез аммиака при пониженных давлениях (5,0—12,0 МПа). Интерес представляет проект LGA фирмы «Ай-Си-Ай» с расходом на производство 1 т NH₃ природного газа 795,1 м³ и общим расходом энергии 7,02 Гкал, а также проект АМ-98, предложенный ГИАП, — 6,64 Гкал.

Таблица

Предприятие	План производства, т	Фактическая выработка, т	Выполнение плана, %	Степень использования мощности, %	Расход природного газа на 1 т NH ₃ , м ³	
					план	факт
Гродненское ПО «Азот»	436850	436850	100,0	97,1	1150	1148
Новгородское АО «Акрон»	486580	489391	100,6	108,8	1175	1162
Одесский припортовый завод	500000	537775	107,6	119,5	1220	1154
Невинномысское АО «Азот»	426500	471821	110,6	104,8	1223	1131
Гродненское ПО «Азот»	450227	450227	100,0	100,0	1180	1169

Государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза — ГИАП — был создан на основе ГИА (Государственный научно-исследовательский институт азота) и Гипроазотмаш (Государственный институт проектирования азотного машиностроения) распоряжением Совета Народных Комиссаров СССР от 28 апреля 1943 года за № 8623-р и непосредственно подчинялся сначала Наркомату боеприпасов, затем до 1982 г. — Министерству химической промышленности, с 1982 по 1990 гг. — Министерству по производству минеральных удобрений. В настоящее время ГИАП является открытым акционерным обществом ОАО «ГИАП» и подчиняется Министерству промышленности, науки и технологий.

Головной, центральный институт ГИАП находится в Москве. До 1985 г. в его состав входили восемь филиалов, расположенных на площадках крупнейших предприятий азотной промышленности: Новомосковский на базе Новомосковской АК «Азот» (Россия), Северодонецкий на базе Северодонецкого государственного объединения «Азот» (Украина), Дзержинский на базе ОАО «Корунд» (Россия), Чирчикский на базе Чирчикского ПО «Электрохимпром» им П.А. Константинова (Узбекистан), Днепродзержинский на базе Днепродзержинского ПО «Азот» (Украина), Кемеровский на базе Кемеровского ОАО «Азот» (Россия), Тольятинский на базе ОАО «Тольяттиазот» (Россия) и Гродненский на базе ГПО «Азот» (Белоруссия).

С 1982 г. и последующие годы, особенно после распада СССР, из состава ГИАП вышли все вышеуказанные филиалы. Из них в ранге государственных институтов остались: Северодонецкий филиал, Днепродзержинский (Украина), Чирчикский (Узбекистан) и Гродненский (Белоруссия).

В период 1991—1992 гг. головной ГИАП потерял опытную базу в г. Видное Московской обл. и опытные установки в филиалах и на предприятиях азотной промышленности. После приватизации центрального ГИАП в 1994 г. и последующие годы из него начался массовый уход сотрудников высокой квалификации и научной молодежи в связи с низким уровнем заработной платы. С 1991 г. началось разрушение сначала инфраструктурных подразделений института (закрылись стеклодувная, механические мастерские, ликвидированы отдел контрольно-измерительных приборов и отдел научно-технической информации), а с 1995 г. стали разрушаться технологические, физико-химические и аналитический отделы. К настоящему времени практически ликвидирована научно-производственная база для проведения иссле-

довательских и опытных работ. В период бурного развития азотной промышленности в СССР (1960—1980 гг.) общая численность ГИАП, например в 1982 г., вместе с филиалами составляла 9366 человек, из них научная часть составляла — 2928 человек, проектная — 5083, опытное производство — 1355 человек. В том числе численность головного московского института составляла — 2894 человека (из них на научную часть приходилось 1756 человек, на проектную — 1138 человек). В институте работало девять докторов наук и 240 кандидатов наук. В филиалах — 1 доктор и 71 кандидат наук. В конце 1990-х гг. в московском ГИАП общая численность сотрудников составляла 220 человек, из них 25 человек высокой квалификации.

ГИАП как комплексная научно-исследовательская и проектная организация вел генеральное проектирование заводов, осуществлял научно-техническую деятельность в области технологий азотной промышленности, органического синтеза и создания продукции для обороны страны. ГИАП являлся головной организацией по разработке и проектированию производства аммиака, технического водорода, азотных удобрений и других продуктов переработки аммиака (азотной кислоты — неконцентрированной и концентрированной), капролактама, изоциантов, оксоспиртов, всех типов катализаторов для азотной промышленности и других отраслей (машиностроительная, автомобильная, металлургическая, тонкий органический синтез, нефтехимическая, пищевая и т.д.), жидкого водорода и окислителей для ракетной и космической техники.

ГИАП комплексно решал задачи, связанные с проведением перспективных научно-исследовательских работ, генеральным и техническим проектированием предприятий азотной промышленности, комплектацией оборудования, принимал непосредственное участие в строительстве, монтаже и освоении промышленных производств, а также в оказании технической помощи предприятиям, проводил технико-экономический анализ их деятельности.

Для выполнения возложенных задач институт осуществлял следующие основные функции:

— проводил научно-исследовательские работы по получению новых видов химических продуктов и по организации их производства на предприятиях отрасли;

— направлял, координировал и проводил совместные научно-исследовательские работы по развитию отрасли с институтами АН СССР, кафедрами и проблемными лабораториями вузов и центральными лабораториями предприятий азотной промышленности;

— вел разработку более эффективных, по сравнению с действующими, процессов произ-

водства азотосодержащих соединений, мономеров, новых видов катализаторов, материалов, сырья на основе последних достижений науки и техники, а также предлагал мероприятия и выдавал новые технические решения по интенсификации действующих технологических процессов с разработкой нового и совершенствованием существующего оборудования;

— осуществлял научно-техническое сотрудничество со странами бывшего СЭВ и фирмами капиталистических стран;

— готовил высококвалифицированные кадры — научные и в том числе для предприятий;

— контролировал соблюдение основных показателей технологических процессов по важнейшим производствам отрасли;

— проводил работы по технике безопасности при эксплуатации оборудования на предприятиях и т.д.

В последнее время наиболее крупные проблемные работы в области аммиака и фиксации азота, которые проводил ГИАП, следующие:

— разработка совместно с Институтом атомной энергии им. И.В. Курчатова энергосберегающей технологии аммиака большой единичной мощности (500 тыс. т в год) с использованием на стадии паровой конверсии природного газа тепловой энергии высокотемпературного контура атомного реактора типа ВГ-400 с целью снижения расхода природного газа;

— создание двухстадийного процесса термохимического разложения воды с использованием цикла диссоциации диоксида углерода до CO и O₂ в СВЧ-разряде и последующей конверсии оксида углерода с водяным паром для получения водорода (также совместно с Институтом атомной энергии им. И.В. Курчатова);

— разработка технологии плазмохимической фиксации атмосферного азота с целью исключения использования аммиака в качестве сырья для получения азотной кислоты и соответствующей экономии природного газа (совместно с НИИХИММАШе);

— разработка технологии принципиально нового процесса фиксации атмосферного азота каталитическим окислением кислородными соединениями азота. Данное направление являлось наиболее перспективным и развивалось в последнее время в Институте. Процесс фиксации атмосферного азота осуществляется на специально разработанном катализаторе в температурной области 500—700 °С при атмосферном или низком давлении, т.е. в условиях вполне реализуемых в химической технологии. Затраты энергии на получение одной тонны связанного азота в виде оксида (NO), по мнению разработчиков, в 1,87 раза меньше затрат энергии, требующейся

для получения одной тонны связанного азота в виде аммиака.

Это позволяет разработать принципиально новую, экономически выгодную, упрощенную по сравнению с существующей технологию получения водорода и аммиака. Ниже приведены некоторые результаты поиска альтернативных путей получения водорода и аммиака:

1. Основная технологическая стадия — получение водорода в промышленной технологии в настоящее время осуществляется паровой каталитической конверсией углеводородов природного газа, идущей с поглощением тепла и требующей, из-за незначительной величины константы равновесия, высоких температур (810—820 °С) и трех—пятикратного избытка водяного пара по сравнению со стехиометрией. Практическая степень превращения исходного сырья в водород не превышает 62%. Строительство трубчатой печи связано с высокими капитальными вложениями и энергетическими затратами. Расход природного газа при нормальном технологическом режиме на получение 1000 м³ водорода составляет 571 м³, суммарный расход энергоресурсов достигает 4,8 Гкал.

В новом способе получения газообразного водорода может быть использовано каталитическое окисление углеводородов природного газа кислородными соединениями азота, получаемыми, например, при разложении 53,7%-й азотной кислоты, выпускаемой промышленностью, или кислородными соединениями азота, получаемыми при окислительном способе фиксации атмосферного азота. Процесс окисления углеводородов протекает с выделением тепла, имеет высокие значения констант равновесия в диапазоне температур 300—600 °С, высокую степень превращения (не ниже 95%) и может быть осуществлен при давлении от 1,0 до 5,0 МПа.

Суммарный расход энергоматериальных ресурсов оценивается в 3,8 Гкал для получения 1000 м³ водорода.

2. Теоретическими и технологическими исследованиями химических процессов на стадии получения аммиака каталитическим восстановлением кислородных соединений азота водородом и углеводородами природного газа установлена возможность снижения давления при синтезе аммиака с 8—32 до 3—4 МПа с осуществлением процесса в температурном интервале 250—350 °С со степенью превращения исходного сырья в аммиак до 95—98%.

3. Анализ полученных расходных коэффициентов показывает возможность достижения суммарного расхода энергоматериальных ресурсов на 1 т аммиака 5,9—6,0 Гкал и значительного сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду.

4. Техничко-экономическая оценка новой энерготехнологической схемы получения аммиака с меньшим числом технологических стадий по сравнению с традиционной схемой показывает, что существенно снижается как себестоимость готовой продукции, так и капиталовложения. В дальнейшем крайне необходимы исследования по разработке новых катализаторов для каталитических стадий получения водорода и аммиака по новой технологии, а также каталитических реакторов с возможностью утилизации большого количества тепловой энергии.

Но в связи с тем, что в период с 1985 г. и по настоящее время строительство предприятий азотной промышленности как в России, так и странах СНГ практически прекратилось, то ГИАП и его филиалы при сокращении финансирования начали терять большую часть функций по поддержанию предприятий отрасли на должном уровне. Научно-исследовательские работы практически не финансируются, и при ликвидации их научно-производственной базы, а также отсутствии молодых кадров поставленные проблемные задачи вряд ли могут быть реализованы в ближайшее время.