

*А.П. Ильин, А.А. Ильин*

***СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ***

*Учебное пособие*

ИВАНОВО  
2011

Министерство образования и науки Российской Федерации

Ивановский государственный химико-технологический университет

А.П. Ильин, А.А. Ильин

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Учебное пособие

Иваново 2011

УДК 661:546

Ильин, А.П. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ: учеб. пособие / А.П. Ильин, А.А. Ильин; Иван. гос. хим.- технол. ун-т. – Иваново, 2011. 133 с.

В учебном пособии представлены материалы, необходимые для изучения курса «Современные проблемы химической технологии неорганических веществ» в соответствии с требованиями учебной программы по направлению 240100 «Химическая технология и биотехнология» магистерской программы «Химическая технология неорганических веществ и материалов». Подробно обсуждены современное состояние, проблемы технического развития азотной промышленности, тенденции и прогнозы совершенствования производства минеральных удобрений, сырьевой базы, инновационные процессы на предприятиях отрасли, а также ситуация на товарных рынках и мероприятия по ликвидации последствий мирового кризиса.

Пособие предназначено для аспирантов, магистрантов и студентов по специальности 240100 «Химическая технология неорганических веществ».

Табл.22. Ил.40. Библиогр.: 12 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра общей и неорганической химии Московского государственного открытого университета (филиал в г. Воскресенске)

доктор технических наук, профессор А. В. Балмасов (Ивановский государственный химико-технологический университет)

© Ильин А.П., Ильин А.А., 2011

© Ивановский государственный  
химико-технологический  
университет, 2011

## Оглавление

1.	Основные направления технического прогресса в азотной промышленности.	4
1.1.	Основные проблемы технического развития в азотной промышленности	6
1.2.	Технический прогресс в производстве аммиака	7
1.3.	Обзор современных технологий производства аммиака	12
1.4.	Современные тенденции в производстве метанола	23
2.	Тенденции и прогнозы развития производства минеральных удобрений	38
2.1.	Тенденции развития производства фосфорсодержащих удобрений	38
2.2.	Перспективные направления развития производства комплексных удобрений	45
2.3.	Получение концентрированных марок аммофоса	
2.4.	Производство сложных карбамидно-фосфатных удобрений	68
2.5.	Проблемы использования низкосортных фосфатов для получения РК – удобрений	79
2.6.	О состоянии и перспективах производства смешанных минеральных удобрений (тукосмесей) в России	84
2.7.	Инновационные процессы на предприятиях по производству минеральных удобрений	100
3.	Финансовый кризис и его влияние на ситуацию на товарных рынках	113
3.1.	Роль и перспективы серы как питательного элемента для растений	113
3.2.	Ситуация на товарных рынках и мероприятия по ликвидации последствий мирового кризиса	118
3.3.	Динамика изменения цен на сырье и продукцию в 2007-2009 г.г.	125

## 1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В АЗОТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Переход от центрально-планируемой к рыночной экономике нам понадобился для того, чтобы резко повысить ее эффективность, другими словами, повысить производительность труда за счет преимуществ рыночной экономики. К сожалению, наши успехи в этой части пока более чем скромные. Если в доперестроечное время производительность труда России отставала от США примерно в 4 раза, то сегодня - почти в 7 раз [1].

Как видно из *таблицы 1*, производительность труда у наших основных западных конкурентов на порядок выше, чем на предприятиях самых крупных наших холдингов — «ФосАгро» и «ЕвроХим».

Конечно, нельзя слишком строго подходить к цифрам, приведенным в таблице 1. Дело в том, что западным фирмам свойственна, с одной стороны, узкая специализация, с другой стороны, кооперация. На многих наших химических предприятиях существуют крупные ремонтно-механические цеха, собственный ремонтный персонал, занимающийся капитальным ремонтом цехов, транспортные цеха, цеха озеленения и т.д., что не свойственно западным фирмам. Для выполнения подобных работ у них привлекаются специализированные организации. Кроме того, ввиду низкой зарплаты сотрудников наши предприятия содержат подсобные сельскохозяйственные предприятия (для обеспечения дешевым продовольствием столовых сотрудников), дома отдыха, санатории, спортивные базы, а то — и жилой фонд. В былые времена в штат производственных цехов зачислялись и те, кто играет в футбол, хоккей, пляшет и поет.

Если освободиться от всего этого, то показатель производительности труда на наших предприятиях заметно повысится (но, конечно же, не на порядок). Но беда в том, что при нашей нищенской зарплате наши предприятия просто не могут от всего этого отказаться. А обеспечить такую же зарплату, как в западных странах, они не могут ввиду низкой производительности труда.

Известно, что количество персонала на многих предприятиях сохранилось практически на доперестроечном уровне. Учитывая, что за последние 15-20 лет ассортимент продукции на рассмотренных предприятиях не претерпел значительных изменений, а объем выпуска продукции несколько сократился, то следует говорить не о росте, а о снижении производительности труда в отрасли.

Между тем, на родственном нам предприятии по производству минеральных удобрений АО «Лифоса» (Холдинг «ЕвроХим») в бывшей братской республике Литва за период рыночных реформ численность персонала

Таблица 1

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА У ОСНОВНЫХ КОНКУРЕНТОВ РОССИЙСКИХ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Наименование показателя	Един. измер.	ФосАгро Россия	ЕвроХим, Россия	YARA, Норвегия	Kemira, Финляндия	PCS, США	IMC, США	Agnium, США	Cargill, США
Ассортимент выпускаемой продукции		Фосфорсодержащие удобрения кормовые фосфаты	Азотные, фосфорсодержащие удобрения кормовые фосфаты	Азотные фосфорсодержащие удобрения	Фосфорсодержащие удобрения, кормовые фосфаты	Азотные, фосфорсодержащие калийные удобрения кормовые фосфаты	Фосфорсодержащие удобрения, кормовые фосфаты	Азотные, фосфорсодержащие калийные удобрения	Азотные, фосфорсодержащие удобрения, кормовые фосфаты
Объем выпуска товарной продукции, 2003 г.	Тыс. тонн	3540	5220	16700	5000	15066	14616	8142	7250
Численность производственного персонала	Чел.	30000	30000	7500	3130	4904	5017	4667	3200
Выработка на одного рабочего	Тыс.т/чел	0,12	0,17	2,23	1,79	3,07	2,91	1,74	2,27

сократилась с 2000 до 1053 человек, а выпуск продукции вырос от 250 тыс.т/год аммофоса до 850 тыс.т/год.

Весьма важным аспектом повышения производительности труда и конкурентоспособности предприятия является непрерывная модернизация производства. Технический прогресс в сфере материального производства не является самоцелью. Он является единственным неисчерпаемым источником снижения издержек производства, совершенствования ассортимента и повышения качества продукции, а также роста производительности труда, как на данном предприятии, так и в смежных отраслях (например, через ассортимент и качество удобрений — в сельском хозяйстве) и в экономике страны в целом.

### ***1.1. Основные проблемы технического развития в азотной промышленности***

В области производства аммиака основными направлениями технического прогресса являются:

- разработка энергосберегающих агрегатов (прежде всего, направленных на экономию природного газа) в широком диапазоне удобных для продуцента мощностей;
- разработка гигантских агрегатов мощностью миллион тонн аммиака в год и выше, так называемых «мега» или «джамбо» агрегатов (с целью экономии на удельных капитальных вложениях и на условно-постоянных расходах);
- модернизация действующих производств.

Проблема энергосбережения приобретает особую актуальность в связи с возможностью либерализации цен на природный газ для промышленных целей.

В области производства твердых одинарных азотных удобрений направлением технического прогресса является переход от производства приллированных удобрений к производству гранулированных удобрений.

Здесь следует сделать некоторые объяснения. Дело в том, что для крупных хозяйств, характерных для США и Франции, а также типа бывших наших колхозов и совхозов, самыми прогрессивными являются жидкие удобрения. Однако, жидкие удобрения пока не завоевали повсеместного признания и нашли широкое применение только в Северной Америке и некоторых странах Западной Европы (преимущественно, во Франции). Несмотря на огромную работу, проведенную по популяризации жидких удобрений в последние годы существования СССР, с началом реформ их использование в России практически прекратилось. Что же касается твердых удобрений, то в развитых странах (сначала в Северной Америке, а затем и в Западной Европе) все более широким

спросом стали пользоваться сухие тукосмеси.

Для высококачественных сухих тукосмесей предпочтительнее использовать гранулированные, а не приллированные удобрения (технологический процесс производства гранулированных удобрений позволяет регулировать размер гранул, гранула обладает большей прочностью), что предотвращает сегрегацию гранул в процессе транспортировки удобрений, сокращает образование пыли, позволяет более равномерно распределять компоненты смеси по обрабатываемой площади при внесении удобрений с помощью дисковых разбрасывателей. Учитывая, что в обозримой перспективе, ввиду неразвитости внутреннего рынка удобрений и жестокого кризиса сельского хозяйства страны, основная масса выпускаемых удобрений будет направляться на экспорт, наши требования к удобрениям должны, прежде всего, учитывать требования международного рынка. Наши жидкие азотные удобрения (растворы КАС) сегодня полностью удовлетворяют требованиям этого рынка. Наши приллированные удобрения также вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к приллированным удобрениям. Но с каждым годом все большую долю в общем спросе на азотные удобрения на мировом рынке занимают гранулированные удобрения. Наши основные конкуренты по экспорту уже почувствовали эти перемены и принимают соответствующие меры. Наша реакция опаздывает.

Естественно, мы должны считаться с консервативностью мышления и поведения крестьянина. Приллированные удобрения еще долго будут пользоваться преимущественным спросом в тех странах, где пока не развивается сухое тукосмешение. Но будущее за гранулированными удобрениями. И пусть вас не смущает тот факт, что сегодня нынешние цены на гранулированные удобрения далеко не всегда отражают этот очевидный факт. Всему свое время.

Конечно, и в производстве карбамида и аммиачной селитры еще не исчерпаны возможности сокращения издержек производства, как за счет снижения энергопотребления, так и увеличения мощностей агрегатов. Первые, так называемые “мега” агрегаты карбамида, или уже пущены в эксплуатацию, или строятся, по крайней мере, в странах Ближнего Востока.

## ***1.2. Технический прогресс в производстве аммиака***

### **Энергосберегающие агрегаты**

К началу 70-х годов прошлого столетия все широко известные фирмы - разработчики агрегатов производства аммиака располагали технологией мощностью 900-1350 т/сутки, работающих на природном газе с использованием



центробежных компрессоров. Энергоемкость этих энергетически автономных агрегатов составляла порядка 10,0—10,2 Гкал на тонну аммиака [1].

После энергетического кризиса 1973-1974 гг. практически все фирмы-разработчики агрегатов аммиака незамедлительно приступили к разработке энергосберегающих технологических процессов, позволяющих существенно снизить расход энергии (природного газа). Работа велась в двух направлениях. Прежде всего - в части сокращения потерь энергии в традиционных технологических схемах, а также в части создания принципиально новых, энергосберегающих технологических процессов.

Одним из знаковых событий явился пуск нового крупного агрегата фирмы Wгаun в 1982 году в Западной Германии в г. Людвигсгафен. Энергоемкость этого агрегата при гарантийных испытаниях составила 6,5 Гкал/т, т.е. на 35% ниже, чем у агрегатов, разрабатывавшихся до энергетического кризиса. Мощность этого агрегата — 1300 т/сутки. Однако у этого агрегата была одна особенность - он выдавал на сторону очень большое количество пара, т.е. для реализации его преимуществ на той же площадке нужен был крупный потребитель пара. Вариант этого агрегата, но уже без выдачи пара на сторону, был реализован в Нидерландах, г. Слуискил, в 1984 году. Мощность агрегата - 1700 т/сутки. При гарантийных испытаниях он продемонстрировал энергоемкость 7,5 Гкал/т. Этот показатель был заметно выше, чем продемонстрированный в Германии, но все же на 25% ниже, чем на традиционных крупнотоннажных агрегатах аммиака. Некоторые эксперты отмечали, что существенным недостатком технологического процесса, разработанного фирмой Wгаun, является использование в качестве двигателя для компримирования воздуха газовой турбины, что усложняет эксплуатацию агрегата.

Еще одним крупным событием был удачный пуск в Канаде в 1985 году крупного агрегата аммиака (без газовой турбины), разработанного фирмой ICI, с показателем энергоемкости порядка 7,0 Гкал/ т. Мощность — 1300 т/сутки. Одновременно эта же фирма работала над созданием агрегатов существенно меньшей мощности, но с таким же низким потреблением энергии на тонну аммиака. Вскоре такой агрегат мощностью 450 т/сутки был введен в эксплуатацию в Греции, а затем еще два таких агрегата были введены в эксплуатацию в Англии, г. Севернсайд.

Разумеется, что во всех вышеперечисленных случаях цифра энергопотребления не включает энергию, затрачиваемую на компримирование природного газа до давления стадии конверсии. При дорогом природном газе редуцирование его от давления в магистральном газопроводе (-40 атм.) до давления в местной распределительной сети и затем компримирование до

давления -40 атм. является непозволительной роскошью. Другими словами, агрегат аммиака подсоединяется напрямую к магистральному газопроводу. При этом отметим, что в России даже крупнейшее в мире предприятие по производству аммиака, ТООЗ, в те времена не было подключено напрямую к магистральному газопроводу.

Таким образом, уже только эти две фирмы-лицензиары могли обеспечить рынок энергосберегающими агрегатами аммиака нового поколения с использованием центробежных компрессоров в широком диапазоне мощностей — от 450 т/сутки до 1700 т/сутки. Но к этому времени с разработкой подобных энергосберегающих агрегатов аммиака подоспели и другие широко известные фирмы-разработчики технологических процессов аммиака (Kellogg, Haldor Topsoe, Uhde, Humphreys, Glasgow и др.)

Интересно отметить, что установленный в начале 80-х годов прошлого столетия рубеж 6,5 - 7,5 Гкал/т аммиака практически не превзойден и до настоящего времени, несмотря на использование фирмами-лицензиарами в своих разработках целого ряда принципиально новых технических решений. Так, например, в Индии для фирмы “GSFC” по схеме LAC фирмы Линде А.Г. в 1999 году была пущена в эксплуатацию установка аммиака мощностью 1350 т/сутки. В схеме применяется колонна аммиака с радиально-осевым потоком газа и тремя слоями катализатора, разработанная фирмой “Ammonia Casale”. Синтез аммиака осуществляют по технологии КААР (Kellogg Advanced Ammonia Process) на высокоактивном рутениевом катализаторе при давлении 9 МПа. Суммарный расход сырья и топлива в процессе составляет 29,2 ГДж на 1 т аммиака, т.е. все те же 7,0 Гкал. Еще две установки с использованием той же технологии, но меньшей мощности (230 и 600 т/сутки) были пущены в Австралии год спустя. Принципиальная схема установки приведена в журнале “Научно-технические новости“, Инфохим, № 4 (16) 2004.

Условно принимаем, что начиная с 1986 года в мире (за исключением СССР) вводились в эксплуатацию только «энергосберегающие» агрегаты (т.е. с энергоемкостью 6,5 - 7,5 Гкал), до 1986 года вводились в эксплуатацию «традиционные» агрегаты (с энергоемкостью около 10 Гкал/т аммиака). Условность, с одной стороны, обусловлена тем обстоятельством, что агрегаты фирмы Вгаун, даже построенные в 70-е годы, отличались очень низкой энергоемкостью, с другой стороны, все фирмы-лицензиары непрерывно заметно модернизировали свои агрегаты, так что агрегаты, построенные в конце 70-х — начале 80-х годов отличались заметно меньшим энергопотреблением, чем агрегаты десятилетней давности. Кроме того, и не все агрегаты, введенные в 1986 году или после были, строго говоря,