13

ПРОИЗВОДСТВО МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Всеволод Михайлович Лапушкин
РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, доцент, кандидат биологических наук

Константин Васильевич Аксенчик
Череповецкий государственный университет, доцент,
кандидат технических наук

Андрей Станиславович Малявин
Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
зам. начальника отдела химической и нефтехимической промышленности,
кандидат технических наук

ВВЕДЕНИЕ

Отрасль минеральных удобрений в России является системообразующей для российского химического комплекса. Отрасль включает производство всех видов агрохимического сырья (апатитовые концентраты, фосфориты, хлористый калий) и полного ассортимента минеральных удобрений — односторонних азотных и калийных, сложных и комплексных удобрений, в том числе органоминеральных удобрений и удобрений с микроэлементами.

В настоящее время в России имеются мощности по производству около 25 млн т минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ).

Российские компании полностью обеспечены основным сырьем для производства всех видов минеральных удобрений, таким как природный газ, сера, апатитовый концентрат и хлористый калий. В 2017 г. объем выпуска минеральных удобрений составил 22,54 млн т питательных веществ. Это четвертый показатель в мире. На экспорт приходится около 70% этого объема, что составляет до 5% всего несырьевого неэнергетического экспорта России и 30% экспортной выручки российского химпрома.

СТРУКТУРА ОТРАСЛИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В современном понимании отрасль минеральных удобрений состоит из следующих производств:

– добыча и обогащение фосфатного сырья;
– добыча и обогащение калийного сырья;
– производство аммиака;
– производство неорганических кислот, использующихся в производстве минеральных удобрений (серная, ортофосфорная, азотная);
– производство минеральных удобрений (азотных, фосфорных, калийных, смешанных, органоминеральных).

Также к отрасли удобрений причисляют производства сопутствующих продуктов: производство кормовых и технических фосфатов, очищенных кислот.

На рис. 13.1 показана структура отрасли минеральных удобрений, потоки сырьевых ресурсов и полупродуктов, взаимосвязь с другими отраслями и сырьевыми ресурсами (серым прямоугольником обозначены производства отрасли минеральных удобрений).

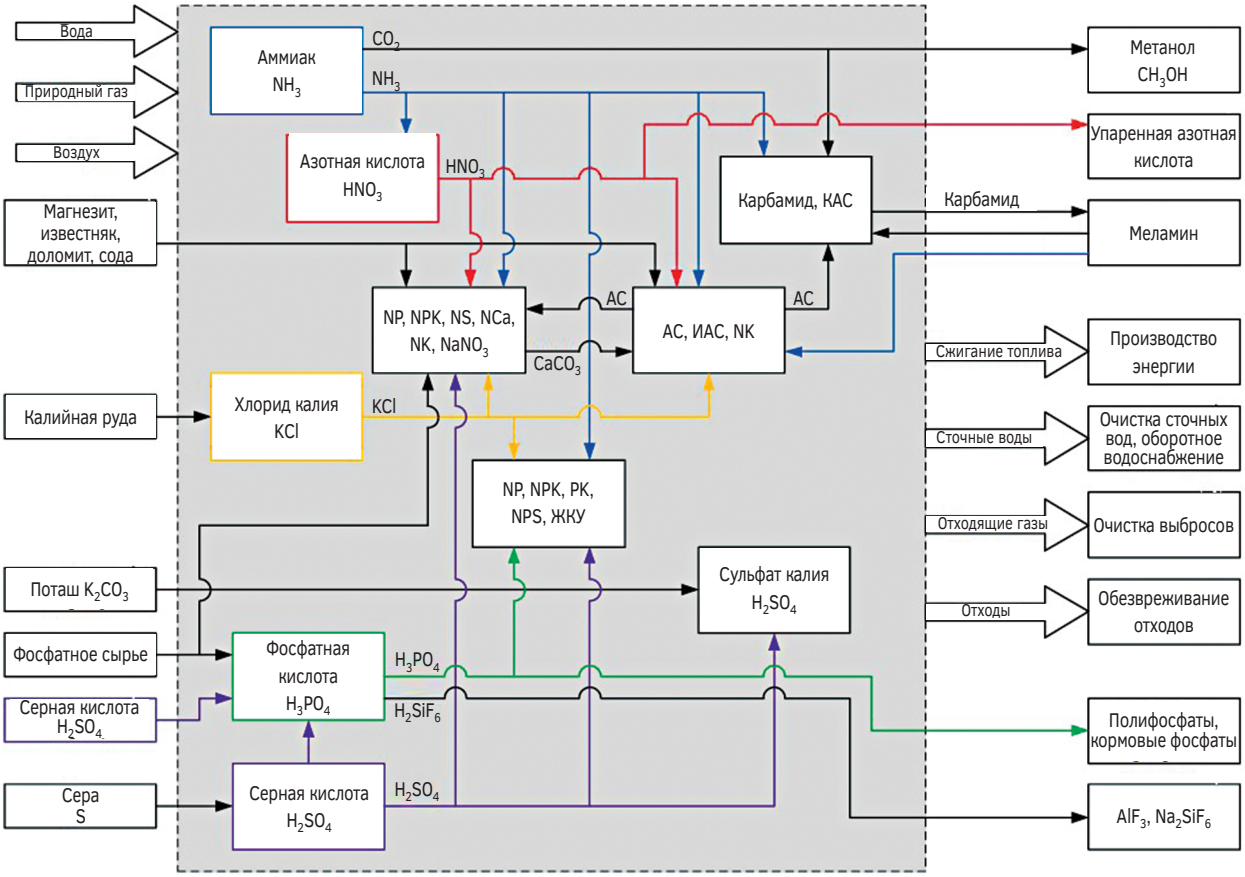


Рис. 13.1. Структура отрасли минеральных удобрений

ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ОТРАСЛИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Зарождение отрасли минеральных удобрений в мире

Представления о плодородии почвы и использовании различных приемов его сохранения и повышения зародились задолго до появления агрохимии как самостоятельной науки. С древних времен человек применял такие удобрения, как навоз, зола, известь, сидераты, гуано, но более детально к изучению вопроса питания растений человек подошел только в эпоху Возрождения.

В 1563 г. французский ученый Бернар Палисси писал: «Соль есть основа жизни и роста всех посевов. Навоз, который вывозят на поля, не имел бы никакого значения, если бы не содержал соли, которая остается от разложения сена и соломы. Если кто засевает поле несколько лет подряд, не унаваживая его, то посевы извлекают из земли соль, необходимую для своего роста; земля, таким образом, обедняется солями и отказывается давать урожай. Разве вам не доводилось видеть, как некоторые земледельцы, перед тем как засевать тоже поле пшеницей на второй год, сжигают неизрасходованную солому, снятую ими с поля? В золе окажется та соль, которую солома поглотила из почвы: вернуть ее обратно — значит улучшить почву».

Первый вегетационный опыт по изучению питания растений был проведен в Брюсселе Яном Баптистом ван Гельмонтом около 1629 г. Высушенную в печке почву массой 200 фунтов он поместил в глиняный сосуд и посадил в нее ивовую ветвь весом 5 фунтов. В течение пяти лет Ван Гельмонт поливал сосуд с ивой дождевой или дистиллированной водой. По окончании опыта он снова высушил почву, взвесил и получил практически те же 200 фунтов, с которыми начинал опыт. В результате ван Гельмонт пришел к совершенно неверному выводу, что 169 фунтов, которые весили дерево, кора и корни, образовались из воды.

Таблица 13.1. Основные предприятия отрасли минеральных удобрений Российской Федерации

Номер на карте	Регион Российской Федерации	Город (населенный пункт)	Наименование организации	Наименование группы, ассоциации, холдинга	Производство
1	Республика Крым	Армянск	Титановые инвестиции, ООО — Армянский филиал	—	серная кислота; фосфорная кислота; NP/NPS-удобрения на основе сернокислотной переработки фосфатного сырья
2	Краснодарский край	Белореченск	ЕвроХим — Белореченские Минудобрения, ООО	МХК ЕвроХим, АО	серная кислота, фосфорная кислота; NP/NPS-удобрения на основе сернокислотной переработки фосфатного сырья
3	Калининградская область	Черняховск	Арви НПК, ООО	—	тройные удобрения NPK
4	Ставропольский край	Невинномысск	Невинномысский Азот, АО	МХК ЕвроХим, АО	аммиак жидкий технический; азотная кислота; NP/NPK-удобрения на основе сернокислотной переработки фосфатного сырья; аммиачная селитра; NK-удобрения; карбамид; КАС
		Лермонтов	Гидрометаллургический завод, АО	—	фосфорная кислота; моноаммонийфосфат (MAP); диаммонийфосфат (DAP), фосфат калия
5	Воронежская область	Россошь	Минудобрения, АО г. Россошь	—	аммиак жидкий технический; азотная кислота; NP/NPK-удобрения на основе азотнокислотной переработки фосфатного сырья; аммиачная селитра.
6	Волгоградская область	Котельниково	«ЕвроХим — ВолгаКалий»	МХК ЕвроХим, АО	хлористый калий (производство не освоено)
7	Смоленская область	Верхне-днепровский	Дорогобуж, ПАО	Акрон, ОАО	аммиак жидкий технический; азотная кислота; NP/NPK-удобрения на основе азотнокислотной переработки фосфатного сырья; аммиачная селитра

Таблица 13.1 (продолжение)

Номер на карте	Регион Российской Федерации	Город (населенный пункт)	Наименование организации	Наименование группы, ассоциации, холдинга	Производство
8	Тульская область	Новомосковск	Новомосковская акционерная компания «Азот», АО	МХК ЕвроХим, АО	аммиак жидкий технический; азотная кислота; аммиачная селитра; известково-аммиачная селитра; карбамид; КАС
		Первомайский	Щекиноазот, ОАО	ОХК Щекиноазот, ООО	аммиак жидкий технический
		Ефремов	Щекиноазот, ОАО — Ефремовский филиал	ОХК Щекиноазот, ООО	серная кислота; сульфат аммония
9	Московская область	Воскресенск	Воскресенские минеральные удобрения, АО	ОХК Уралхим, АО	серная кислота; фосфорная кислота; NP/NPS/NPK-удобрения на основе сернокислотной переработки фосфатного сырья, в т. ч. очищенный фосфат аммония
10	Новгородская область	Великий Новгород	Акрон, ПАО	Акрон, ОАО	аммиак жидкий технический; азотная кислота; NP/NPK-удобрения на основе азотнокислотной переработки фосфатного сырья; аммиачная селитра; карбамид
11	Саратовская область	Балаково	Балаковский филиал АО «Апатит»	ПАО ФосАгро	минеральные удобрения: двойные — аммофос (MAP), диаммонийфосфат (DAP), сульфоаммофос (NPS) — различных марок; кормовые добавки: монокальцийфосфат; кислоты: серная кислота различных марок, олеум, осветленная фосфорная кислота; прочая продукция: кремнефтористый натрий для промышленности строительных материалов, фторирования питьевой воды; фосфогипс для сельского хозяйства и строительства

12	Ленинградская область	Волхов	Волховский филиал АО «Апатит»	ПАО ФосАгро	минеральные удобрения PK, NPK, сульфат калия, калимаг; триполифосфат натрия (порошок, гранулы, окрашенный); кислоты — серная кислота, фосфорная; сульфат алюминия жидкий
		Кингисепп	Промышленная группа «Фосфорит», ООО	МХК ЕвроХим, АО	аммиак жидкий технический (строительство); серная кислота, фосфорная кислота; NP/NPS-удобрения на основе сернокислотной переработки фосфатного сырья
13	Самарская область	Тольятти	КуйбышевАзот, ПАО	—	аммиак жидкий технический; азотная кислота; аммиачная селитра; карбамид; сульфат аммония
		Тольятти	ТольяттиАзот, ПАО	—	аммиак жидкий технический; карбамид
14	Вологодская область	Череповец	АО «Апатит» (Вологодская область)	ПАО ФосАгро	кислоты: серная, фосфорная, азотная; аммиак жидкий технический; минеральные удобрения: двойные удобрения NP — аммофос (MAP); диаммонийфосфат (DAP); сульфоаммофос различных марок, тройные удобрения — диаммофоска (10:26:26), NPK 13–19–19, NPK 15–15–15, NPK 10–20–20 и другие марки; жидкие комплексные удобрения 11–37, аммиачная селитра (AN), сложное азотно-фосфорное (САФУ) NP 32–5; карбамид; фторид алюминия (AlF_3)
15	Костромская область	Буй	«Буйский химический завод» ОАО		смешанные двойные, тройные и органоминеральные удобрения различных марок, в т. ч. с микроэлементами
16	Республика Татарстан	Менделеевск	АО «Аммоний»	—	аммиак жидкий технический; азотная кислота; аммиачная селитра; карбамид

Таблица 13.1 (окончание)

Номер на карте	Регион Российской Федерации	Город (населенный пункт)	Наименование организации	Наименование группы, ассоциации, холдинга	Производство
17	Республика Башкортостан	Салават	Газпром нефтехим Салават, ООО	Газпром, ПАО	аммиак жидкий технический; карбамид
		Мелеуз	Мелеузовские минеральные удобрения, АО	—	азотная кислота; аммиачная селитра
18	Кировская область	Кирово-Чепецк	Филиал «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Кирово-Чепецке	ОХК Уралхим, АО	аммиак жидкий технический; азотная кислота; NP/NPK-удобрения на основе азотнокислотной переработки фосфатного сырья; нитрат кальция; аммиачная селитра; известково-аммиачная селитра; азотосульфат; кальций азотосульфат
19	Мурманская область	Кировск	Кировский филиал АО «Апатит»	ПАО ФосАгро	апатитовый концентрат с содержанием P_2O_5 не менее 39,0; нефелиновый концентрат с содержанием Al_2O_3 не менее 28,0% (28,5 ± 0,5%); сиенитовый алюмощелочной концентрат с содержанием Al_2O_3 не менее 26,0%; сфеновый концентрат; эгириновый концентрат; титаномагнетитовый концентрат; алюмокремниевый коагулянт-флокулянт (АККФ); дубитель для кож титановый; сорбент титано-фосфатный
		Ковдор	ОАО «Ковдорский ГОК»	МХК ЕвроХим, АО	апатитовый концентрат; бадделеитовый порошок; железорудный концентрат
		Кировск	АО «Северо-Западная Фосфорная Компания»	Акрон, ОАО	апатитовый концентрат

20	Пермский край	Березники	Филиал «Азот» АО «ОХК «УРАЛХИМ»	ОХК Уралхим, АО	аммиак жидкий технический; азотная кислота; аммиачная селитра, в т. ч. пористая; NK-удобрения; карбамид
		Пермь	Филиал «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Перми	ОХК Уралхим, АО	аммиак жидкий технический; карбамид
		Березники	Уралкалий, ПАО	Уралкалий, ПАО	хлористый калий; хлористый натрий
		Усолье	Усольский калийный комбинат	МХК ЕвроХим, АО	хлористый калий (освоение производства); хлористый натрий
		Березники	ЗАО «Верхнекамская Калийная Компания»		хлористый калий (производство не освоено); хлористый натрий
21	Кемеровская область	Кемерово	Азот, Кемеровское АО	СДС Азот, АО	аммиак жидкий технический; серная кислота; азотная кислота; аммиачная селитра; карбамид
		Кемерово	Капролактам Кемерово, ЗАО	СДС Азот, АО	серная кислота; сульфат аммония
22	Красноярский край	Ачинск	РУСАЛ Ачинский глиноземный комбинат, ОАО*	РУСАЛ	сульфат калия
23	Иркутская область	Ангарск	Ангарский азотно-туковый завод, ООО	СДС Азот, АО	аммиак жидкий технический; азотная кислота; аммиачная селитра

* Сопутствующее производство.

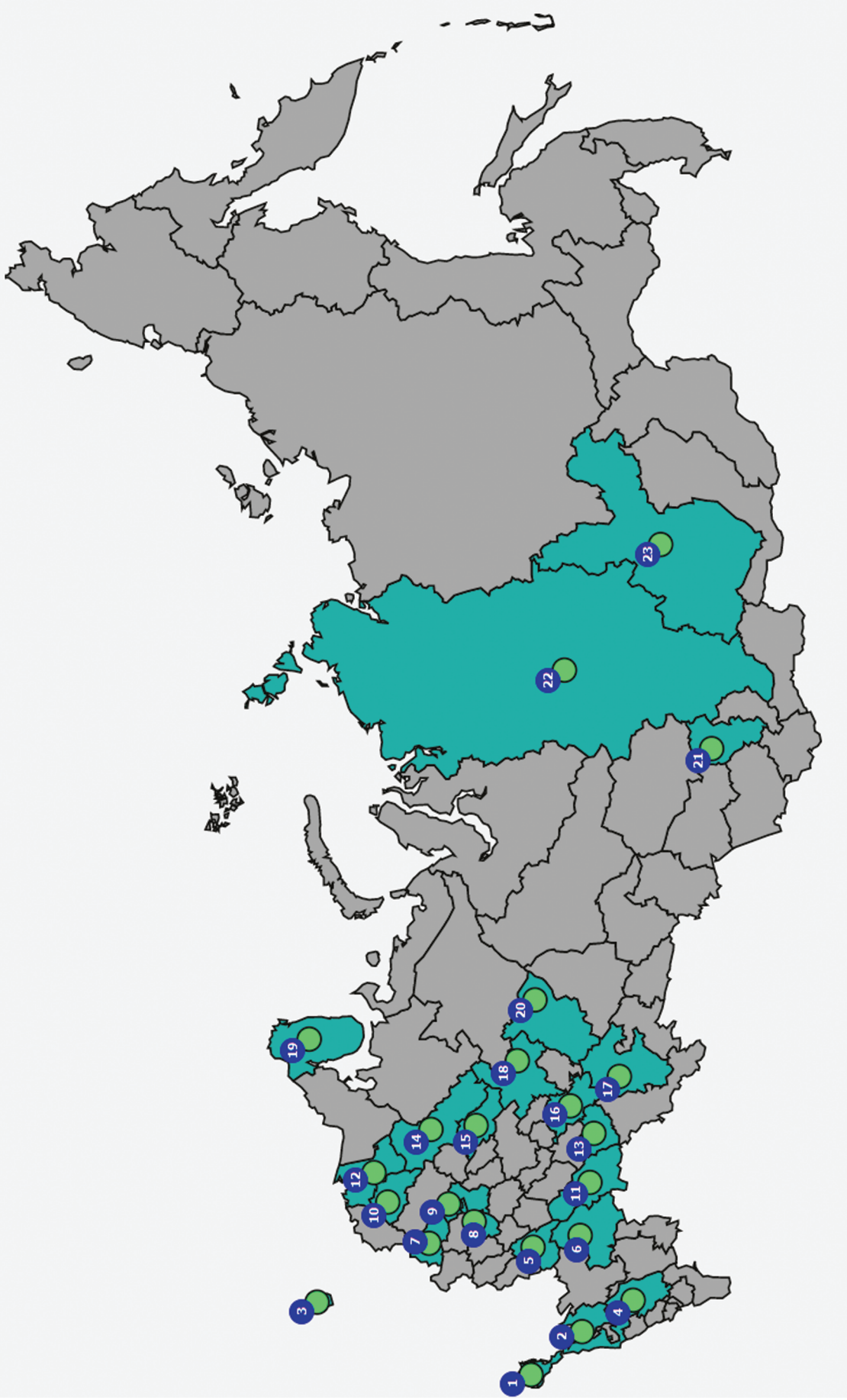


Рис. 13.2. Карта-схема расположения производств минеральных удобрений Российской Федерации

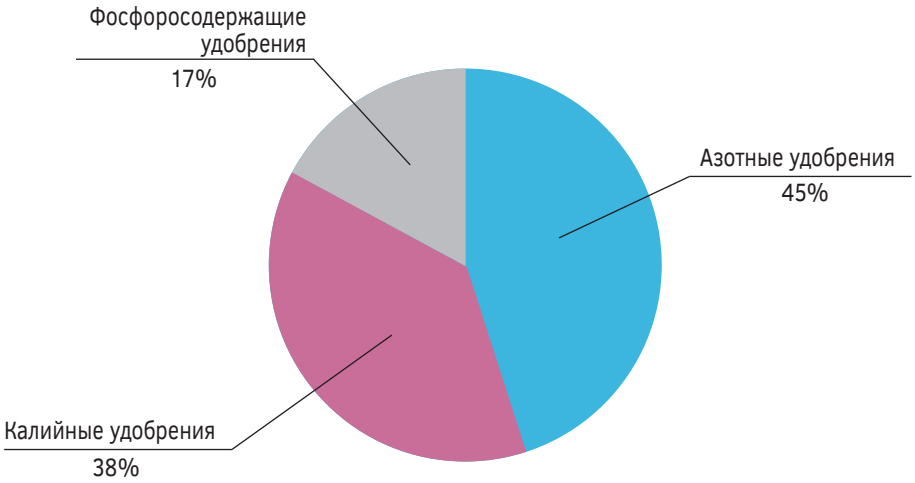


Рис. 13.3. Структура производства минеральных удобрений

К аналогичному выводу пришел и известный английский ученый Роберт Бойль, повторивший опыт ван Гельмонта с тыквой: «Вещества, образующиеся в процессе роста, растение создает само внутри своего тела загадочной и мистической “силой жизни”, вложенной в него творцом».

В 1699 г. Джон Вудворд сделал доклад о своих опытах с мятой, которую он выращивал в дождевой, речной и сточной воде. Масса мяты, выращенной на дождевой воде, составила 17 г, на речной — 139 г и на сточной — 284 г. На основе полученных результатов он сделал правильный вывод, что растение образуется не из воды, как думал ван Гельмонт, а из «особого землистого вещества». Это был первый точный опыт, в котором было доказано значение зольных веществ для развития растений.

Об удобрительном свойстве селитры говорил немецкий химик Иоганн Глаубер: «Селитра есть основа роста всех растений». Он рекомендовал вносить ее в почву под виноградники и смачивать раствором селитры посевное зерно для увеличения урожая.

Серьезный вклад в начальное развитие агрохимии внес французский химик Антуан Лавуазье. Однако его работы по питанию растений были обнаружены лишь спустя полвека после смерти ученого. В них уже начала формироваться теория минерального питания растений: «Животные питаются растениями или другими животными, которые, в свою очередь, питались растениями, так, что вещества, из которых они состоят, всегда почерпнуты из воздуха и из минерального царства, а брожение, гниение и горение постоянно возвращают атмосфере и минеральному царству те элементы, которые растения и животные из него заимствовали».

В 1761 г. Юхан Валлериус в книге «Основы земледельческой химии» дал понятие о гумусе как разложившемся органическом веществе. Связал продуктивность посевов с содержанием органического вещества в почве. Он заложил основы теории гумусового питания растений, ошибочно полагая, что растения синтезируют необходимые им вещества из гумуса, воды и воздуха. Минеральные же соли, в том числе селитра, по мнению Валлериуса, играют лишь второстепенную роль в качестве «растворителя» гумуса.

Важное значение теории гумусового питания придавал в своей книге «Химические исследования жизнедеятельности растений» швейцарский ученый Николо де Соссюр. Несмотря на явное заблуждение в источниках питания растений, ему принадлежит особая роль в разработке учения о воздушном питании растений. Он впервые установил, что в темноте растения поглощают кислород, выделяя углекислый газ, а на свету усваивают углерод углекислоты с выделением кислорода, и доказал тем самым, что не почва, а воздух является источником углерода для растений.

Ярым сторонником теории гумусового питания был немецкий ученый Альбрехт Тэер. Он писал: «Плодородие почвы зависит, собственно, целиком от гумуса, так как кроме воды он представляет единственное вещество почвы, могущее служить питанием растениям». Своим авторитетом он более 60 лет тормозил развитие вопроса о питании растений. Теория гумусового питания растений господствовала в Европе до 1840 г.

Немецкий ученый Карл Шпренгель в своих книгах «Учение о почве» (1837), «Учение о пашне» (1838) и «Учение об удобрении» (1839) довольно верно изложил свои представления о минеральном питании растений и применении удобрений. «Растения из неорганических веществ, получаемых ими из почвы и воздуха, образуют тела органические с помощью света, тепла, электричества и влаги...» «Воздух остается всегда одинаковым по своему составу, но нельзя сказать того же о почве; поэтому необходимо возмещение утраченного ею, причем нужно обращать внимание на так называемые минеральные вещества, чем на кислород, углерод и водород, т. к. эти последние растения находят в воздухе; что же касается азота, то он должен быть также внесен в связанной форме, т. к. большинство растений не имеет способности притягивать достаточно азота листьями...»

В конце 30-х гг. XIX в. гумусовая теория питания была подвергнута жесткой критике со стороны двух основателей современной агрохимии — Ж. Б. Буссенго во Франции и Ю. Либиха в Германии.

Юстус фон Либих ввел новые методы анализа органических веществ, методы сжигания, усовершенствовал и упростил лабораторное оборудование. Проводил исследования белковых веществ, органических кислот, алкалоидов, жиров. Внедрил метод гидролиза сложных молекул.

Важное значение имеют синтезированные Либихом органические вещества, поскольку ранее это считалось невозможным: «Природа создает, химия разрушает». Особый вклад Ю. Либих внес в развитие применения удобрений.

В своей книге «Химия в приложении к земледелию и физиологии растений» (1840) Либих писал: «Придет время, когда каждое поле сообразно с растением, какое на нем имеют в виду разводить, будет удобряться свойственным удобрением, приготовленным на химических заводах, тогда удобрение будет состоять только из тех веществ, которые нужны для питания растений».

Основной заслугой Ю. Либиха в агрохимии является разработка учения о минеральном питании растений:

- Пищей всех растений являются неорганические (минеральные) вещества.
- Растения питаются аммиаком, углекислотой, азотной кислотой, водой, фосфорной и серной кислотой, кремнекислотой, известью, магнезией, калием, натрием, железом, некоторые растения нуждаются в поваренной соли.
- Перегной является источником углекислоты, которая ускоряет процесс выветривания силикатов и подготавливает минеральную пищу для растений.
- Навоз и другие органические удобрения не являются пищей для растений, а оказывают свое действие косвенно, благодаря содержащимся в них элементам питания, освобождающимся после гниения.
- Ни одно растение не обогащает почву элементами питания, а истощает ее. Современное земледелие грабительское, грабительские хозяйства, грабительские крестьяне.
- Чередование культур только замедляет истощение почвы, позволяет более равномерно использовать запасы питательных веществ в ней.
- Для систематического получения хороших урожаев необходимо возвращать элементы питания в почву.
- Нельзя заменить элементы питания друг другом.
- Урожайность растений определяется элементом питания, находящимся в минимуме.
- Если почва подходящая, если она содержит достаточное количество щелочей, фосфатов и сульфатов, то ничего больше не требуется. Растения будут готовы извлекать нужный им аммиак из атмосферы так же, как они берут углекислоту.

С большой энергией Либих настаивал на необходимости возврата минеральных веществ в почву и приписывал этому большое историческое значение: «Причина возникновения и падения наций лежит в одном и том же. Расхищение плодородия почвы обуславливает их гибель; поддержание этого плодородия — их жизнь, богатство и могущество». В качестве примера он указывал на судьбу Греции и Рима, пришедших к упадку из-за незнания законов природы. Теми же последствиями Либих грозил и современному обществу, если оно не прекратит расхищение питательных веществ почвы.

Совершенно точно охарактеризовав значение фосфора, калия и других зольных элементов, Либих не уделял должного внимания азотным удобрениям. Ему, конечно, было известно о роли азота в формировании белковых соединений, но он полагал, что для нормального обеспечения растений азотом достаточно содержания аммиака в воздухе (в виде углекислой и других солей). В связи этим он считал приобретение натриевой селитры и аммонийных солей пустой тратой денег.

Одним из основоположников агрохимии как самостоятельной науки наряду с Либихом считается профессор Лионского университета Жан Батист Буссенго. В отличие от Либиха, Буссенго непосредственно проводил вегетационные и полевые опыты и в 1837–1838 гг. показал, что «наибольшее действие оказывают те удобрения, которые содержат больше азота». Пренебрежительное отношение Либиха к азотным удобрениям вызывало у Буссенго глубокое возражение. В 1851 г. в опытах по выращиванию растений в стеклянных сосудах в атмосфере без азота он наглядно показал, что воздух не может быть источником этого элемента для питания растений, которые требуют наличия в почве минерального азота. Ж. Б. Буссенго впервые ввел в агрономию количественные методы химического анализа, что дало возможность изучать содержание, баланс и круговорот элементов питания в земледелии и строго подойти к оценке почвенного плодородия. Еще в 1836–1840 гг. он начал изучать баланс элементов питания в севообороте.

В своих опытах с зерновыми и бобовыми культурами Буссенго установил, что бобовые культуры не способствуют накоплению азота в стерильных условиях.

Лишь в 1886 г. немецкому ученому Герману Гельригелю после проведения многочисленных опытов удалось сделать вывод, что на развитие бобовых культур оказывают влияние содержащиеся в почве бактерии, и бобовые растения, заражаясь ими в молодом возрасте, образуют клубеньки и получают возможность усваивать молекулярный азот атмосферы.

Зарождение отрасли минеральных удобрений в России

В России развитие естествознания в целом тесно связано с именем М. В. Ломоносова. В 1753 г. в своей работе «Слово о явлениях воздушных» он писал: «Преизобильное ращение тучных дерев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листами жирный тук из воздуха впитывают». В книге «О слоях земных» он писал о происхождении гумуса почвы: «Нет сомнения, что чернозем не первообразная и не первозданная материя, но произошел от согнития животных и растущих тел со временем».

М. В. Ломоносов первым применил микроскоп для изучения растений. Определил химический состав отдельных лекарственных растений, изучал вопросы физиологии растений. Выступал против господствующей в то время водной теории питания растений. По настоянию Ломоносова, в год его смерти, в 1765 г., Екатерина II утвердила образование Вольного экономического общества, которое стало первой в России добровольной научно-хозяйственной организацией, объединявшей ученых в области естествознания, сельского хозяйства и других наук и в течение 150 лет играло большую роль в развитии агрономии в России.

В 1766 г. был организован журнал «Труды ВЭО», в котором публиковались работы по плодородию почв, питанию растений и применению органических удобрений. На его страницах А. Т. Болотов писал о необходимости внедрения севооборотов и применения всех

видов органических удобрений, в том числе на черноземах, описал основы минерального питания растений.

Большое значение применению навоза, компостов и известкованию почв придавал И. М. Комов: «Известь глинистую почву делает не только рыхлой, но и всякую кислоту, в глинистой по большей части земле находящуюся, истребляет». Задолго до работ Тэера он описал основы гумусовой теории питания растений, говорил о роли воздушного питания.

Опередив Ю. Либиха, в 1809 г. А. П. Пошман писал в своей книге «Наставление о приготовлении сухих и влажных туков, служащих к удобрению наших полей»: «В удобрении действующим началом являются щелочно-солевые вещества, содержащиеся в навозе и золе, т. е. минеральные вещества служат пищей для растений».

Первым русским агрохимиком можно считать А. Н. Энгельгардта, которым в 1866 г. были проведены исследования залежей фосфоритов в различных губерниях Российской империи и возможности их применения в качестве фосфорных удобрений.

Первые полевые опыты с удобрениями были заложены под руководством Д. И. Менделеева в Смоленской, Петербургской, Московской и Симбирской губерниях. В 1866 г. была опубликована его работа «Об организации сельскохозяйственных опытов при Вольном Экономическом обществе», а уже в 1872 г. — «Отчет о сельскохозяйственных опытах 1867–1869 гг.». По результатам опытов, Менделеев указывал на необходимость известкования кислых почв, применения фосфоритной муки, суперфосфата, азотных и калийных удобрений совместно с навозом.

Основоположником отечественной агрохимической школы по праву считается Д. Н. Прянишников. В 1892 г. им была сформулирована и доказана научно обоснованная теория азотного питания растений, основанная на вегетационных опытах и химических анализах. По инициативе Д. Н. Прянишникова в России начали организовывать агрохимические опытные станции, научно-исследовательские институты и самостоятельные кафедры агрохимии, начала свое развитие туковая промышленность. Начиная с 1927 г. под руководством Прянишникова в 300 пунктах нашей страны было проведено более 3800 опытов с удобрениями.

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

При описании развития человечества переход от собирательства и охоты к целенаправленному земледелию выделен как основной цикл становления современной цивилизации. В плане умения собирать пропитание и охотиться человек мало отличается от животного, а вот умение целенаправленно выращивать необходимые культуры легло в основу развития человеческого общества: закрепило отдельные племена на ограниченных территориях, явилось основой создания определенных общественных структур, ремесел, развития орудий труда и т. д. Умение возделывать почву и ее плодородие являлись основными факторами успешности отдельных поселений.

С самых ранних пор земледелия стали развиваться и методы повышения урожайности: выбор и подготовка почвы для посева (целенаправленное сжигание леса кроме расчистки посевных площадей давал также определенный эффект повышения урожайности за счет получающейся золы), рыхление, полив, чередование посевных площадей и т. д.

Во второй половине XIX в. были разработаны системы классификации почв по их плодородию, а также установлено, что производительность почв зависит как от природных свойств почв, так и от вложенного труда. Агрохимические опыты подтверждали вынос определенного количества вещества из почвы с сельскохозяйственной продукцией. Как только были определены эти вещества (преимущественно азот, фосфор, калий), начались попытки восполнить их содержание в почве внесением извне. Этот момент можно считать началом производства удобрений.

В первом цикле в качестве удобрений использовали природное минеральное сырье: чилийскую селитру (нитрат натрия), фосфоритную муку (фосфаты кальция), калимагнезию, страссфуртские съемочные соли (калийсодержащие соли) и вторичные / побочные продукты других производств — томасшлак (фосфаты), сульфат аммония (от металлургических производств), золу и др. Производство и применение данных видов удобрений активно развивалось в XIX в. и характеризовалось относительно простыми методами добычи и получения товарных форм: открытая добыча, растворение — кристаллизация (для чилийской селитры), помол (для фосфоритной муки) и использование необработанных вторичных ресурсов.

Таким образом, сырьевые ресурсы производства удобрений и ассортимент были достаточно ограниченными, монополизированными с сильной географической неравномерностью.

Дальнейшее развитие производства удобрений было обусловлено поиском доступных удобрений, необходимостью увеличения их эффективности (растворимости, содержание основного вещества), расширения ассортимента и сырьевой базы удобрений.

Второй цикл развития производств удобрений характеризуется использованием целенаправленного химического синтеза минеральных удобрений, а также методов обогащения / облагораживания сырья. Формируется отрасль *производства* минеральных удобрений: для увеличения доступности фосфора используют сернокислотное разложение фосфатного сырья с получением простого суперфосфата; в результате поиска доступного источника азота в 1907–1909 гг. открыт метод связывания атмосферного азота с получением аммиака и уже в 1913 г. в Германии пущено первое производство аммиака (в России — в 1927 г.), а затем и аммиачной селитры. В начале XX в. на территории России открыты крупные месторождения фосфатного сырья (1921 г. — апатитовые руды в Хибинах) и калийных руд (1925 г. — верхнекамское месторождение калийных руд).

Эти и другие открытия сделали удобрения более доступными для широкого круга потребителей. Агрохимические исследования подтверждали высокую эффективность применения удобрений, было установлено положительное влияние совместного применения различных питательных веществ.

Дальнейшие исследования, обусловленные прежде всего агрохимическими потребностями, были направлены на увеличение содержания питательных веществ и получение комплексных удобрений с содержанием двух или трех питательных веществ в одной грануле (**третий цикл**):

- с развитием технологий производства фосфорной кислоты вместо простого суперфосфата, содержащего 15–20% P_2O_5 усв., начали разрабатываться технологии фосфорнокислотного разложения фосфатного сырья с получением двойного суперфосфата с содержанием 42–49% P_2O_5 усв.;
- широкое развитие технологий производства экстракционной фосфорной кислоты и аммиака привели к распространению производств NP-удобрений — аммофоса (производство освоено в 1963 г. в Джамбуле, Казахстан), сульфоаммофоса, диаммонийфосфата, а затем и тройных NPK-удобрений широкого ассортиментного ряда. Со временем цеха двойного суперфосфата модернизируют под производство аммофоса и диаммонийфосфата (более технологичные азотно-фосфорные удобрения, содержащие большее количество питательных веществ, чем двойной суперфосфат);
- наряду с сернокислотным разложением начинается применение азотнокислотного разложения фосфатного сырья, позволяющего получать широкий ассортиментный ряд NP/NPK-удобрений, содержащих две формы азота (аммонийную и нитратную). Реализуются процессы с применением совместной нейтрализации смеси азотной и фосфорной кислот с получением NP/NPK-продуктов (первое в СССР производство нитрофоски в 1962 г. нитроаммофоски в 1970 г.).

Развитие производства удобрений в России показано на рис. 13.4.

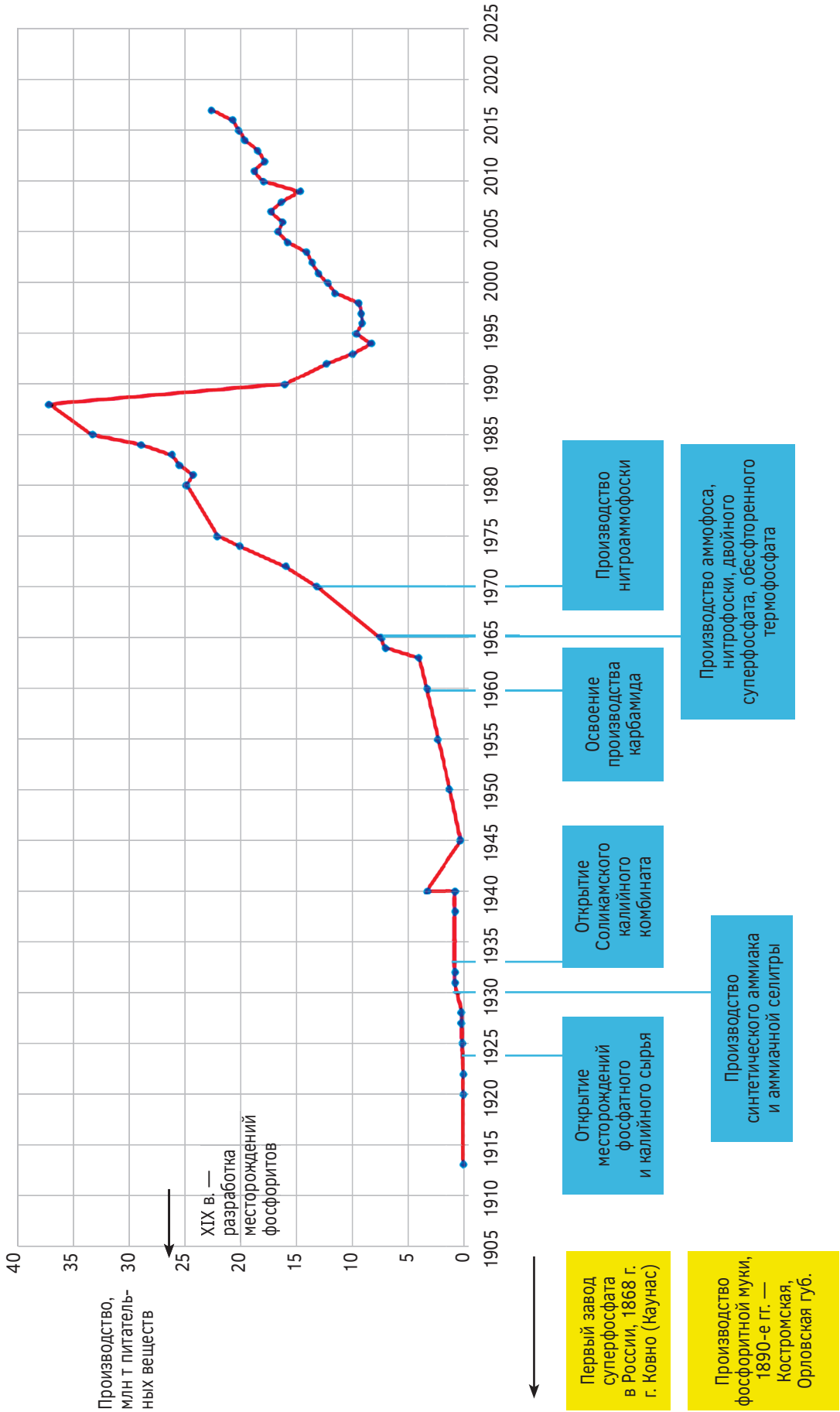


Рис. 13.4. Развитие производств удобрений в России

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Обозначенные на момент 70–80 гг. XX в. тенденции исчерпания природных ресурсов, удорожания энергоносителей и ужесточения требований к охране окружающей среды коснулись и отрасли удобрений. Дополнительными факторами явились глобализация и развитие международной торговли удобрениями, а следовательно, на первый план вышли вопросы эффективности производства. При этом экономическая эффективность (необходимая для успешной конкуренции) дополняется ресурсоэффективностью, энергоэффективностью, и экологической эффективностью (имеющими как экономический, так и социальный и экологический аспекты) (**четвертый цикл развития**).

В рыночных условиях географическое расположение производств, наличие сырьевой базы, эффективность использования ресурсов при производстве и потреблении удобрений, гибкость технологических схем, широкий ассортиментный ряд и другие факторы определяют основные конкурентные преимущества производителей удобрений.

В сложившейся ситуации ключевыми показателями становятся ресурсоэффективность и экологическая эффективность производства и применения удобрений:

– ресурсоэффективность производства определяется комплексным использованием сырья с точки зрения расширения ассортиментного ряда не только удобрений, но и смежных продуктов (тепловая и электрическая энергия, технические и пищевые фосфаты, фториды и кремнефториды, соли и кислоты улучшенного качества, технические газы, строительные материалы, редкоземельные элементы и др.); снижением потерь сырья и продуктов в процессе производства, транспортировки и потребления; большее значение приобретают такие качественные характеристики удобрений, как гранулометрический состав, прочность гранул, растворимость, слеживаемость, пылимость, и т. д.;
– ресурсоэффективность применения удобрений заключается в оптимизации процессов минерального питания растений (дозы и технические способы внесения удобрений), использовании более эффективных форм удобрений (двойные и тройные удобрения с микро- и мезоэлементами, стимуляторами роста, биоудобрения, удобрения пролонгированного действия, жидкие удобрения, водорастворимые удобрения для гидропоники и т. д.) с достижением необходимого результата при меньшей затрате сырьевых ресурсов;
– снижение негативного воздействия на окружающую среду при производстве и потреблении удобрений определяет **экологическую эффективность**. Экологическая эффективность применения удобрений обусловлена как положительными, так и отрицательными факторами:
– отрицательные факторы применения удобрений могут быть обусловлены несовершенством технологии транспортировки и хранения, тукосмешения и внесения удобрений; нарушением агрономической технологии применения под различные культуры, несовершенством свойств удобрений (содержание вредных веществ, пылимость, растворимость и вымываемость компонентов из плодородного слоя), изменением свойств почвы и ухудшением свойств сельскохозяйственной продукции при неправильном внесении;
– положительными факторами применения удобрений являются воспроизводство плодородия почв, улучшение ее характеристик, получение сельскохозяйственной продукции оптимальной по химическому составу и питательной ценности;
– **энергоэффективность** (как часть ресурсоэффективности) заключается в эффективном использовании энергоресурсов, в том числе вторичных, в производстве удобрений: использовании тепла производственных процессов: сжигание серы и утилизация тепла абсорбции в производстве серной кислоты, использование тепла реакции нейтрализации для удаления влаги в производстве аммиачной селитры и фосфатов аммония, оптимизация процессов сушки с целью снижения потребления природного газа и др.

Схематично циклы развития технологий удобрений показаны на рис. 13.5.

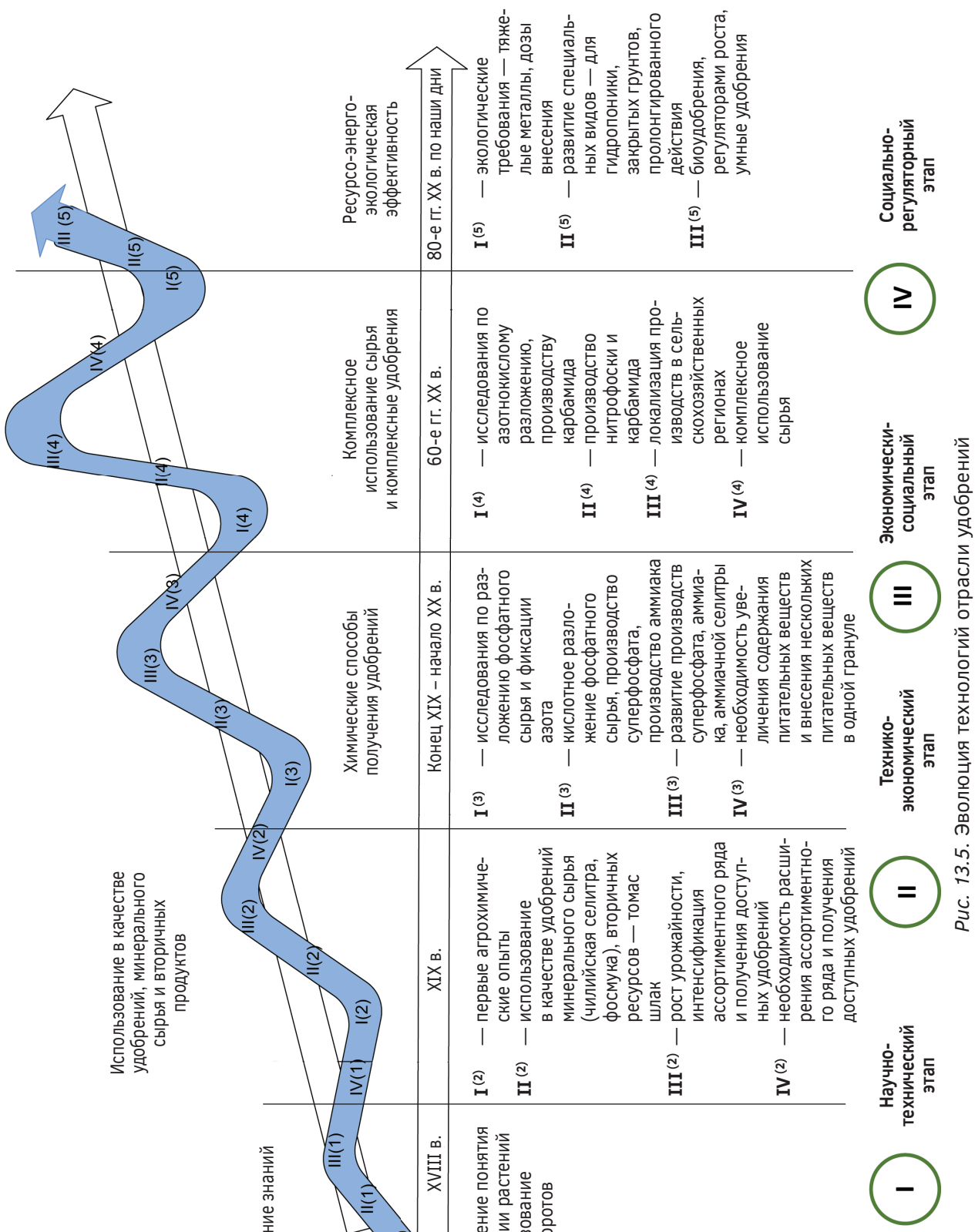


Рис. 13.5. Эволюция технологий отрасли удобрений

Условно развитие отрасли удобрений можно разбить на следующие циклы:

– **предварительный цикл** — накопление знаний;
– **первый цикл** — использование в качестве удобрений минерального сырья и вторичных ресурсов;
– **второй цикл** — химические способы получения удобрений;
– **третий цикл** — комплексное использование сырья и комплексные удобрения;
– **четвертый цикл** — ресурсо-, энерго- и экологическая эффективность производства и применения минеральных удобрений.

Чередование данных циклов можно представить в виде спирального развития с циклическим прохождением следующих этапов: научно-технического, технико-экономического, экономически-социального, социально-регуляторного, и далее цикл повторяется.

Движущими силами выделенных этапов являются внутренние (внутриотраслевые) и внешние факторы (рис. 13.6).

Рис. 13.6. Основные этапы технологических циклов развития отрасли минеральных удобрений

1. Фактором развития научно-технического этапа является необходимость удовлетворения потребности в техническом и технологическом развитии производства (потребность в новых видах удобрений, технике и технологиях). Внешними факторами при этом являются необходимость обеспечения продовольствием, агрохимическая потребность, уровень развития науки и техники. Результатами ее реализации является разработка новой техники и технологий.

2. Внедрение в промышленности результатов научно-технического этапа (новой техники и технологий) определяет технико-экономический этап. Внутренними факторами развития является последовательное улучшение (достижение лучших показателей энергоэффективности, ресурсоэффективности); расширение ассортиментного ряда; создание «гибких» технологических схем; расширение сырьевой базы. Извне на данный этап влияют уровень развития смежных отраслей (машиностроения, приборостроения, конструкционных материалов — стали и сплавы, композиты и полимеры и т. д.), появление новых видов сырьевых ресурсов. Результатом является внедрение новой техники или технологии с получением технической и/или экономической выгоды.

3. Дальнейшее освоение новых технологий и их повсеместное использование оказывает влияние не только на экономическую, но и на социальную сферу предприятия, региона, государства, тем самым определяя экономически-социальный этап развития.

Так, например, широкое распространение средств химизации сельского хозяйства является одним из определяющих факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур и в то же время служит стимулом развития научно-технической базы, машиностроения, приборостроения, логистики, инфраструктуры, торговли и т. д.

Рыночная среда и механизмы, обеспеченность ресурсами, общественная значимость и общественное внимание также оказывают влияние на развитие данного этапа.

4. Социально-регуляторный этап реализуется под действием международного, национального, общественного регуляторных механизмов. Основными факторами, влияющими на развитие производства на данном этапе, являются повышение экологической эффективности технологий; необходимость улучшения качества и потребительских свойств удобрений; имиджевая составляющая (популяризация экологически чистых, бесхлорных удобрений, органоминеральных, с микроэлементами, регуляторами роста и биоудобрения), повышение промышленной безопасности. Реализация социально-регуляторного этапа заканчивается формированием запроса на создание новых технологий.

Примерами влияния регуляторных механизмов на развитие отрасли удобрений можно считать: ужесточение требований к содержанию тяжелых металлов, радионуклидов и других загрязняющих веществ, постоянное ужесточение требований к энергоэффективности, ресурсоэффективности и экологической эффективности при разработке новых и модернизации существующих производств, формирование требований к качеству удобрений и др.

Таким образом, стремление предприятий соответствовать вновь сформированному запросу общества ведет к необходимости запуска нового цикла развития.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАСЛИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Существующие в Российской Федерации технологии производства удобрений можно разделить по видам производимой продукции:

1. Односторонние удобрения:
- *азотные*: аммиачная селитра, известково-аммиачная селитра, карбамид, карбамидно-аммиачная смесь (КАС), сульфат аммония, нитрат кальция, азотосульфат, кальцийазотосульфата;
- *фосфатные*: фосфоритная мука, простой суперфосфат, двойной суперфосфат, термические фосфаты;
- *калийные*: хлористый калий, сульфат калия;

2. Комплексные удобрения:
- *на основе сернокислотной переработки фосфатного сырья*: производство NP/NPS-удобрений — аммофос, диаммонийфосфат, сульфоаммофос; производство PK/NPK-удобрений, жидких комплексных удобрений (ЖКУ);
- *на основе азотнокислотной переработки фосфатного сырья*: NP/NPK-удобрения — нитрофоска, нитроаммофоска, азофоска;
- *на основе обменных процессов*: азотно-калийные удобрения.

Различие в технологиях производства удобрений определяется применением различных способов:
- обогащение (фосфоритная мука, хлористый калий);
- кислотное разложение фосфатного сырья (сернокислотное — простой суперфосфат; фосфорнокислотное — двойной суперфосфат, азотнокислотное — NP/NPK-удобрения, нитрат кальция);
- кислотное разложение калийного сырья (сернокислотное разложение — сульфат калия; фосфорнокислотное — фосфат калия);
- нейтрализация кислот или продуктов кислотного разложения фосфатного сырья (аммофос, диаммонийфосфат, NP/NPK/PK-удобрения, аммиачная селитра, сульфат аммония, сульфат калия);
- обменные / конверсионные процессы: нитрат калия, NK-удобрения, сульфат аммония,
- синтез: производство карбамида.

Основные стадии производства минеральных удобрений приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Стадии получения основных видов минеральных удобрений, производящихся в Российской Федерации

Основные виды минеральных удобрений	Добыча сырья	Обогащение	Взаимодействие реагентов	Разделение фаз	Нагревание, охлаждение	Кристаллизация	Выпаривание	Гранулирование	Сушка	Прокалка	Абсорбция	Измельчение, классификация	Смешивание
Фосфорные*													
Фосфоритная мука*	+	+ -							+		+	+	
Простой суперфосфат, двойной суперфосфат*			+					+ -	+ -		+	+	
Термические фосфаты										+	+	+	+
Комплексные фосфорсодержащие на основе сернокислотного разложения фосфатного сырья													
На основе сернокислотного разложения NP-, NPS-, NPK-, PK-удобрения			+		+		+ -	+	+		+	+	
Жидкие комплексные удобрения			+		+		+				+		
Комплексные фосфорсодержащие и азотные на основе азотнокислотного разложения фосфатного сырья													
NP-, NPK-удобрения на основе азотнокислотного разложения			+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Производство кальцийазотосульфата			+		+		+	+	+		+	+	+
Производство азотосульфата			+		+		+	+	+		+	+	+
Производство нитрата кальция			+	+	+	+	+	+	+		+	+	
Азотные удобрения на основе переработки аммиака и/или азотной кислоты													
Аммиачная селитра, известково-аммиачная селитра			+				+	+			+	+	+
Карбамид и КАС			+		+		+	+			+	+	
NK-удобрения			+	+	+	+	+		+		+		
Азотные удобрения на основе переработки серной кислоты и аммиака (или вторичный продукт производства капролактама)													
Сульфат аммония			+				+	+	+		+	+	
Калийные удобрения													
Хлористый калий		+		+				+	+		+	+	
Сульфат калия			+					+	+		+	+	

* В данный момент не производятся.

Основное используемое оборудование в производстве комплексных удобрений представлено в виде групп, определяемых конструкцией аппаратов:

– реакторы-нейтрализаторы;
– выпарные аппараты;
– оборудование для гранулирования-сушки;
– оборудование узлов рассева-дробления;
– оборудование для охлаждения и кондиционирования продукта;
– газоочистное оборудование;
– прочее оборудование.

Группа реакторов представлена нейтрализаторами различных конструкций.

Аммонизация смеси кислот

– емкостные аппараты с перемешивающими устройствами (или каскады реакторов-смесителей);
– аппарат САИ — скоростной аммонизатор-испаритель;
– струйные / трубчатые реакторы (ТР).

Выбор типа аппарата зависит от нескольких факторов:

– исходное сырье: концентрация фосфорной кислоты (смеси кислот); характеристики используемых добавок (необходимость использования плава аммиачной селитры и его концентрация, магнезиальная добавка); наличие на промплощадке газообразного или жидкого аммиака;
– ассортиментный ряд продукции;
– аппаратурное оформление остальных стадий процесса (гранулирования и сушки, абсорбции);
– требуемая производительность технологической системы.

Емкостные аппараты с перемешивающими устройствами

Емкостные аппараты с перемешивающими устройствами (или каскады реакторов-смесителей) обычно представляют собой каскад из 2–3 нейтрализаторов-смесителей, в которых нейтрализация смеси кислот происходит газообразным (или жидким) аммиаком, подаваемым через барботажные трубы. Для лучшего осуществления процесса смешивания компонентов смесители оборудованы перемешивающими устройствами.

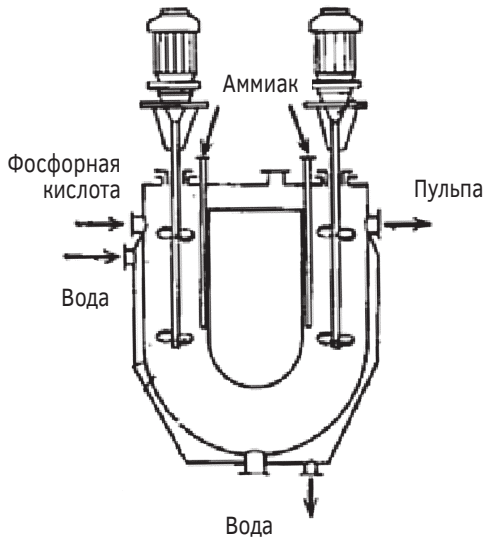


Рис. 13.7. U-образный реактор

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Скоростной аммонизатор-испаритель (САИ)

САИ состоит из циркуляционного контура, включающего реакционную камеру и циркуляционную трубу, соединенные с центробежным сепаратором. Интенсивное перемешивание пульпы в САИ обеспечивается без использования механических устройств за счет энергии химической реакции, однако при использовании слабой ЭФК возможно применение циркуляционного насоса. Аммонизация в САИ очень концентрированных кислот затруднена из-за потери текучести пульпы.

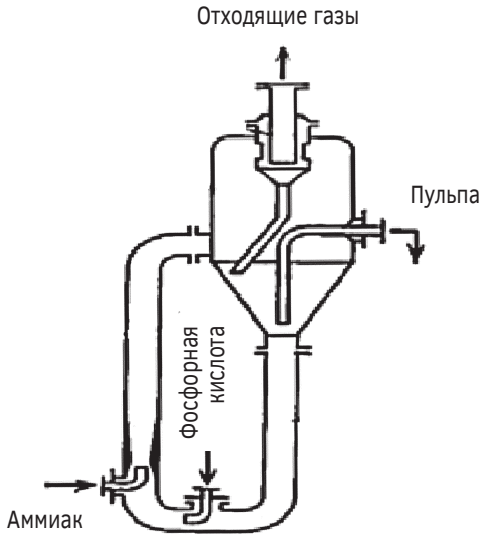


Рис. 13.8. Скоростной аммонизатор-испаритель (САИ)

Трубчатый реактор (ТР)

Трубчатый реактор (ТР) применяется для аммонизации смеси кислот повышенной концентрации (43–52% P_2O_5). Он состоит из камеры смешения и реакционной камеры. В камере смешения расположены сопло для введения аммиака и патрубок для подачи смеси кислот (возможна организация подачи и третьего потока в ТР — серной кислоты или абсорбционных сточных вод). Процесс аммонизации протекает с большой интенсивностью и сопровождается значительным увеличением температуры и давления внутри реактора. Образующиеся в камере пульпа, пары воды, а также непрореагировавший аммиак выбрасываются через форсунку наружу со скоростью до 30 м/с. За счет резкого падения давления происходит интенсивное самоиспарение влаги из пульпы. Это дает возможность получать после реактора продукт, содержащий всего 2–6% влаги, а в некоторых случаях получать удобрения практически без сушки.

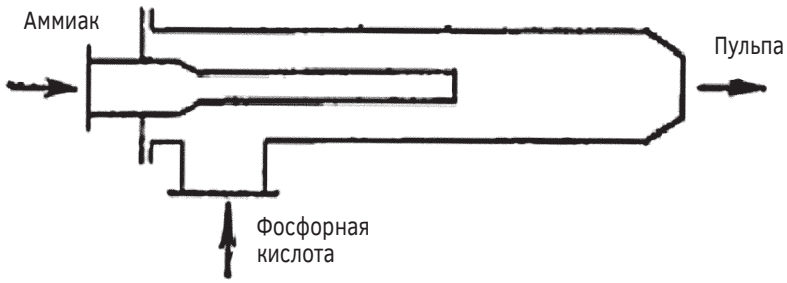


Рис. 13.9. Трубчатый аммонизатор кислот

Выпарные аппараты

В некоторых производствах для концентрирования аммонизированных пульп используют выпарные установки.

Наибольшее распространение получили установки, работающие под вакуумом с использованием пара в качестве теплоносителя (рис. 13.10). Сохранились также установки, работающие при атмосферном давлении, которые используют тепло сгорания природного газа (выпарной аппарат с погружной горелкой; рис. 13.11).

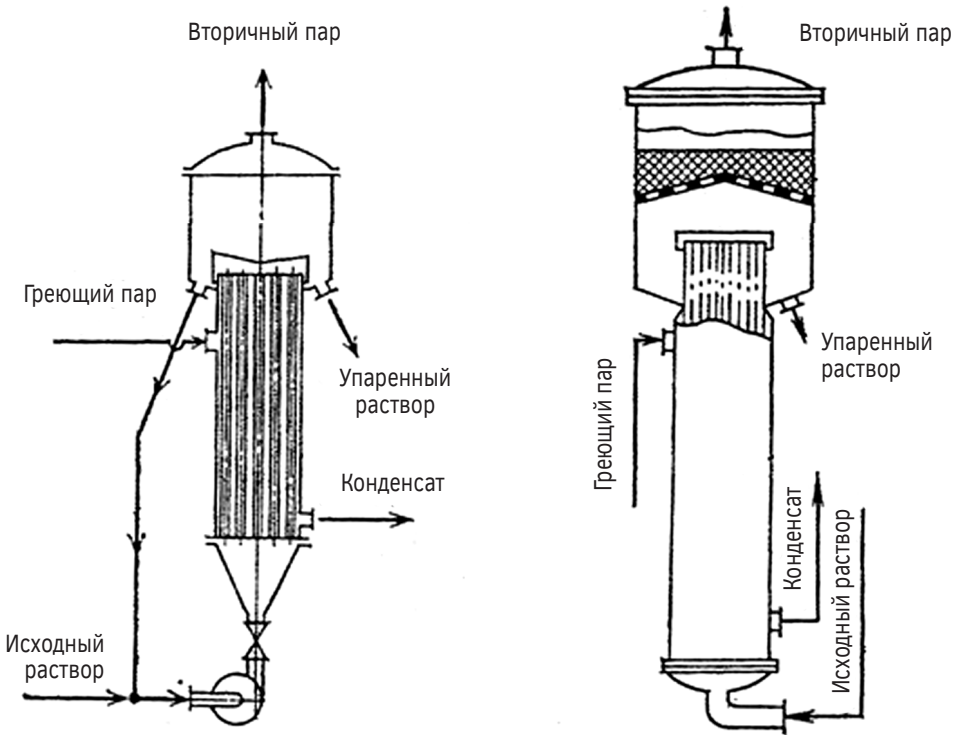


Рис. 13.10. Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией

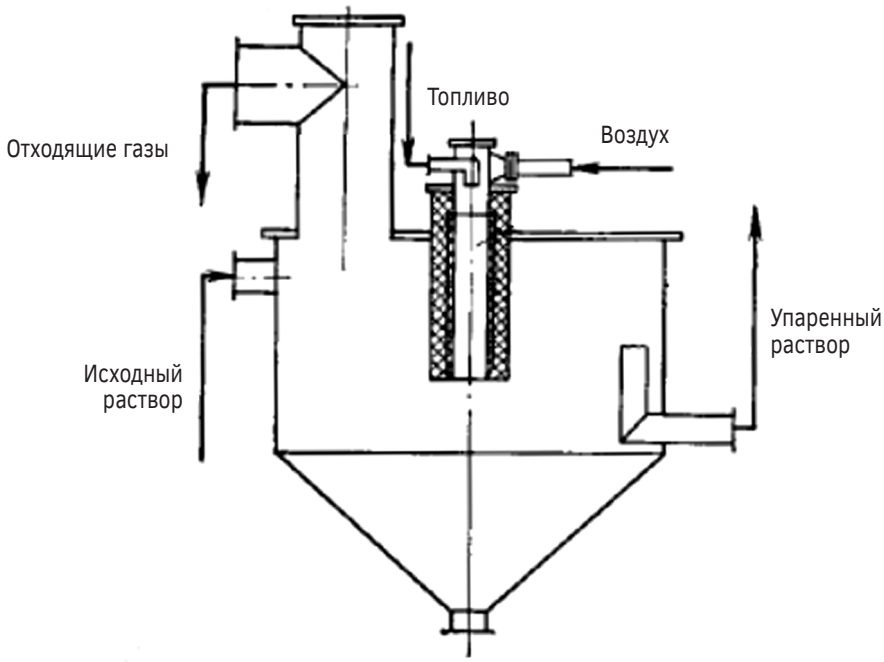


Рис. 13.11. Выпарной аппарат с погружной горелкой

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Оборудование для гранулирования-сушки

Выбор метода гранулирования зависит от агрегатного состояния и физических свойств исходных веществ.

В настоящее время в производстве удобрений реализованы три принципиальных схемы производства гранулированного продукта: с аппаратом БГС, схема с АГ — СБ, схема с грануляционной башней, основанные на следующих методах гранулирования:

– распыливания (диспергирования) пульп на поверхность частиц падающего слоя с одновременной сушкой продукта до требуемой влажности;
– окатывания;
– гранулирование из расплавов с кристаллизацией в твердые гранулы в процессе свободного падения в восходящем потоке охлаждающего воздуха.

Барабанный гранулятор-сушилка

Принцип работы БГС заключается в наслаивании тонких пленок жидкости на гранулы продукта (завесу) с одновременной сушкой. Внутрь барабана на завесу направлен факел распыла перерабатываемой пульпы. Пульпа диспергируется форсунками. Параллельно факелу распыла в головную часть барабана подают топочные газы. При нанесении пульпы на частицы завесы происходит образование гранул, которые затем досушиваются до требуемой влажности.

В настоящее время на многих производствах непосредственно перед БГС установлены трубчатые реакторы.

Установка в этой конструкции вместо форсунки пульпы ТР позволяет осуществить принципиально новый процесс аммонизации кислоты и гранулирования продукта без дополнительного подвода тепла (или существенно его снизив).

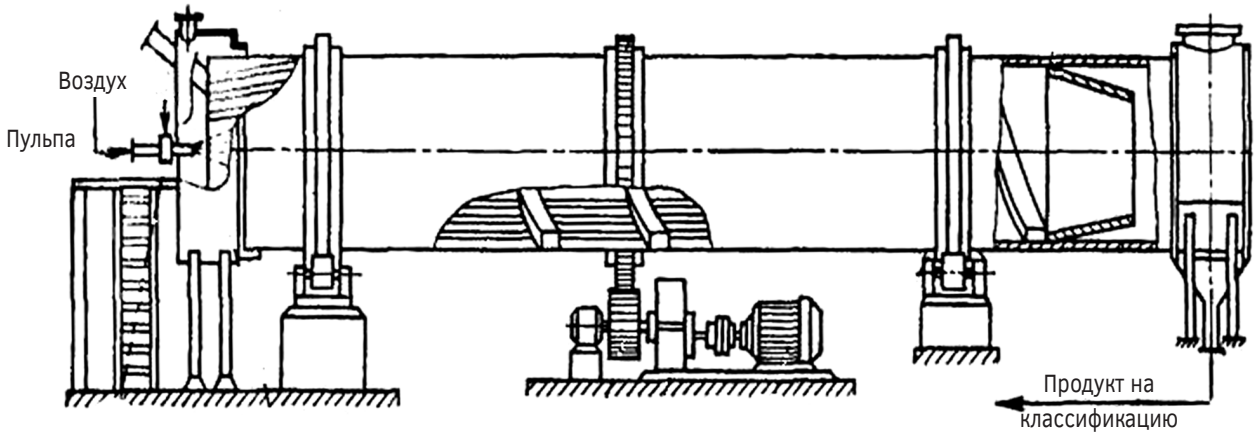


Рис. 13.12. Барабанный гранулятор-смеситель

Аммонизатор-гранулятор (АГ) — сушильный барабан (СБ)

Два барабанных аппарата, установленные последовательно и имеющие свое назначение: АГ предназначен для получения гранул методом окатывания, СБ — для их сушки.

АГ позволяет совместить в одном аппарате процессы смешения, нейтрализации и гранулирования, что дает возможность уменьшить материало- и энергоемкость процесса, упростить технологическую схему, так как за счет тепла, выделяющегося при взаимодействии аммиака с кислотами в АГ, происходит подсушивание материала.

Процесс аммонизации при одновременном гранулировании наиболее эффективен, поскольку тепло реакции выделяется равномерно по всему объему материала в момент

воздействия динамических нагрузок, что исключает локальные перегревы и потери тепла. При гранулировании орошение жидкостью ведут по поверхности гранул при достаточной влажности, поэтому реакция ее аммонизации проходит практически мгновенно.

Такая организация процесса позволяет ввести в удобрение значительное количество азота и других питательных компонентов (хлористого калия, сульфата аммония и др.).

Использование аппаратов АГ возможно только при применении концентрированных кислот, в противном случае резко возрастает ретурность процесса и, соответственно, расход энергоресурсов.

Технология позволяет получать широкий ассортимент удобрений с использованием только концентрированной кислоты.

Грануляционная башня

Грануляционная башня представляет собой железобетонный корпус диаметром 10–20 м и высотой до 120 м, в котором наверху размещено оборудование, необходимое для приема плава NP пульпы и хлорида калия (или других добавок), их смешения и разбрызгивания, а также аппаратура для улавливания пыли и вредных примесей из отходящих газов, а внизу — окна для забора воздуха и устройство для выгрузки гранул. Воздух протягивается вентиляторами, установленными в аппаратурной части, через нижние заборные окна.

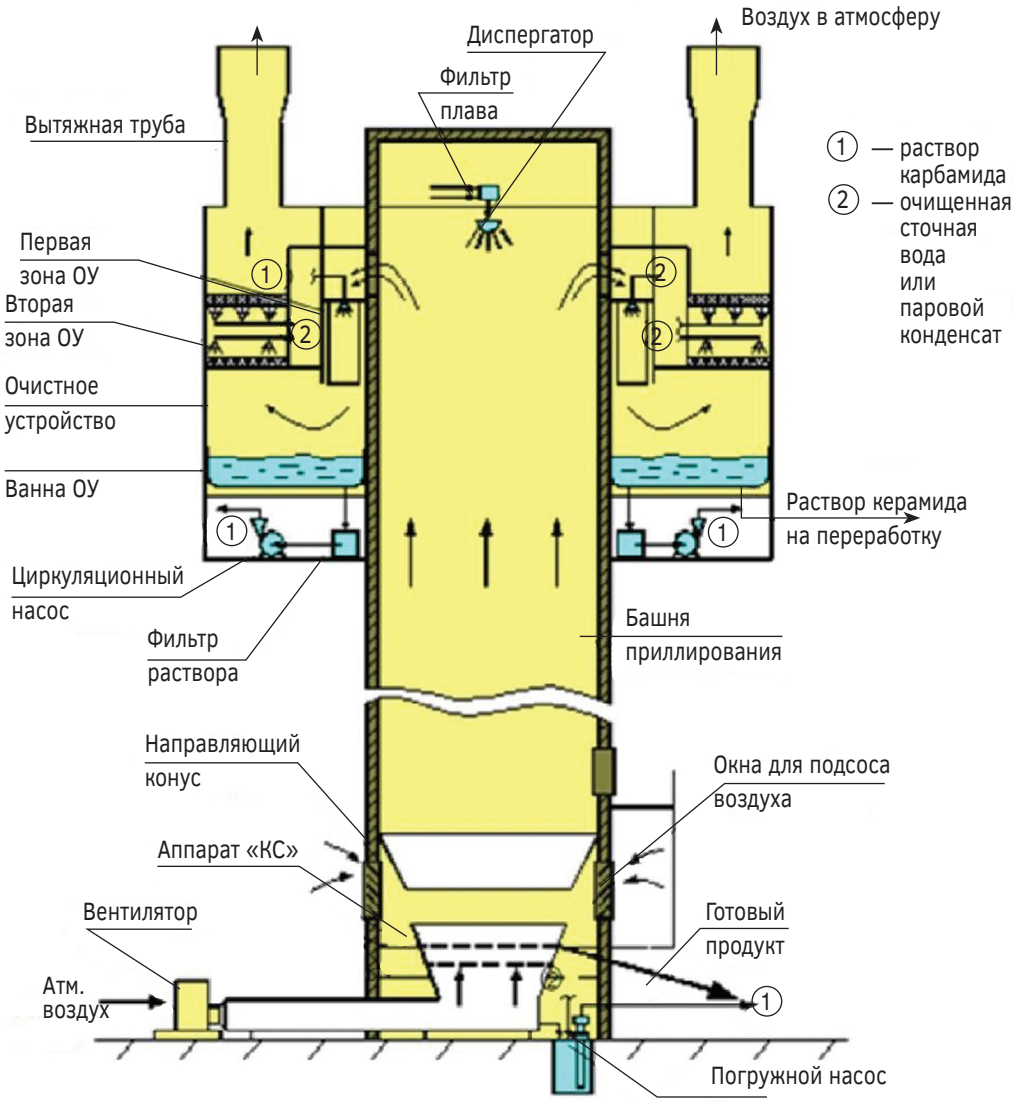


Рис. 13.13. Грануляционная башня

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Затвердевшие гранулы падают на поворотное днище и выводятся через выгрузочное окно.

Необходимость работы с плавами требует поддержания их температуры при транспортировке и смешении с другими компонентами, в связи с чем необходим дополнительный расход энергоресурсов — пара.

Технология отработана при получении N, NP, NPK-удобрений и известково-аммиачной селитры. Ограничением является необходимость использования расплавов с четко определенной температурой плавления и относительно низкой вязкостью.

Оборудование для охлаждения и кондиционирования продукта

Охлаждение минеральных удобрений проводят не только для формирования гранул, но и для сохранения их физических свойств. Для снижения температуры сыпучих материалов до 40–50° С применяются различные методы, в том числе конвективный, кондуктивный и смешанный теплообмен. Применение того или иного способа охлаждения зависит от свойств продукта и размера частиц.

Конвективные аппараты

Конструктивное оформление таких холодильников может быть различным. В промышленности фосфорсодержащих удобрений наиболее часто применяют вращающиеся барабаны, что объясняется модернизацией старых схем производства с высвобождением таких аппаратов и приспособлением их для охлаждения продукта.

Более глубокое охлаждение достигается в противоточных барабанных холодильниках, снабженных в хвостовой части секторной насадкой, обеспечивающей большую поверхность контакта в зоне наиболее низких температур продукта.

Холодильники с кипящим слоем (КС) также широко используются в технологии минеральных удобрений. Конструктивно они различаются количеством и расположением секций, формой корпуса: цилиндрическая, коническая, цилиндроконическая; с круглым, квадратным или прямоугольным сечением.

Преимущества конвективных холодильников в высоком коэффициенте теплопередачи и возможности одновременного обеспыливания. Однако для промышленных площадок с жарким и влажным климатом атмосферный воздух перед подачей в аппарат необходимо охлаждать за счет тепла испарения аммиака, используемого в технологии, и осушать.

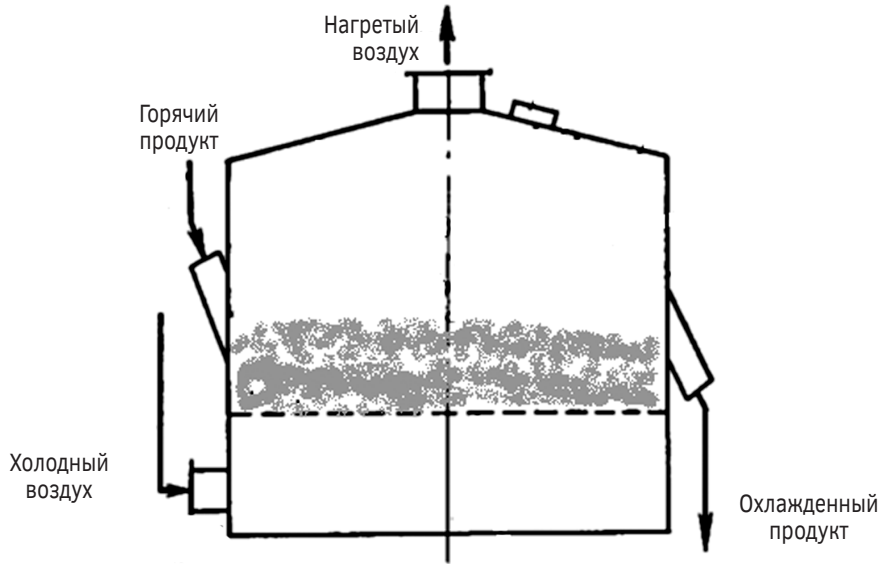


Рис. 13.14. Холодильник «кипящего слоя»

Обеспыливание на стадии охлаждения улучшает свойства продукта и предотвращает пыление при транспортировке, хранении и пересыпке.

Кондуктивные аппараты

Кондуктивные аппараты включают охлаждающие элементы из нержавеющей стали в виде вертикальных гофрированных пластин или горизонтальных труб ромбического сечения. Внутри этих элементов проходит охлаждающая жидкость, а между ними самотеком поступает охлаждаемый продукт. Элементы объединены в секции, скомпонованные по вертикали. Число секций и количество охлаждающих элементов в каждой из них зависят от производительности и свойств продукта. Высушенный материал, поступающий на охлаждение, несет с собой влажный воздух из сушилки и продолжает обезвоживаться. При понижении температуры испаренная влага насыщает воздух в порах между частицами слоя и может конденсироваться, что чревато налипанием продукта на теплообменную поверхность. Для устранения этого явления аппарат продувают осушенным воздухом и поддерживают перепад температур между теплоносителем и продуктом не более 10–15° С.

В процессе охлаждения не происходит удаление пыли, поэтому оно должно быть предусмотрено на других стадиях процесса.

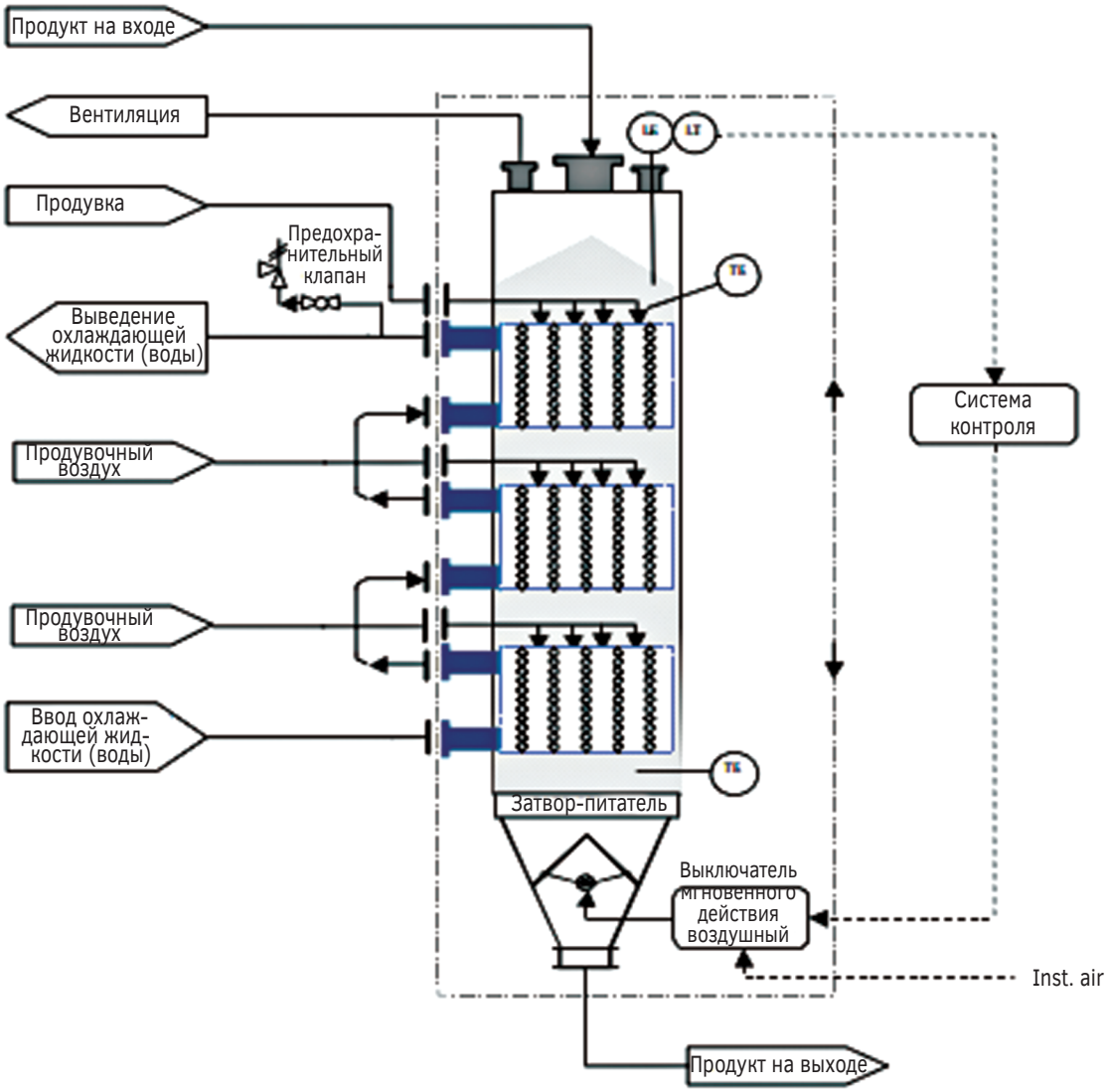


Рис. 13.15. Кондуктивный холодильник (расположение потоков)

Очистка отходящих газов

В производстве комплексных удобрений очистка отходящих газов может быть организована в одну или несколько стадий с использованием различных аппаратов (в зависимости от состава, характеристик и количества отходящих газов), таких как:

– циклоны (для запыленных, относительно сухих газов);
– полые абсорберы (для запыленных газов);
– абсорберы Вентури;
– абсорберы АПС (аппараты пенного слоя);
– брызгоуловители;
– рукавные фильтры (для сухих газов с небольшой запыленностью).

При наличии нескольких газовых потоков и сильном различии свойств очищаемых газов используют их раздельную очистку с индивидуальным набором газоочистного оборудования.

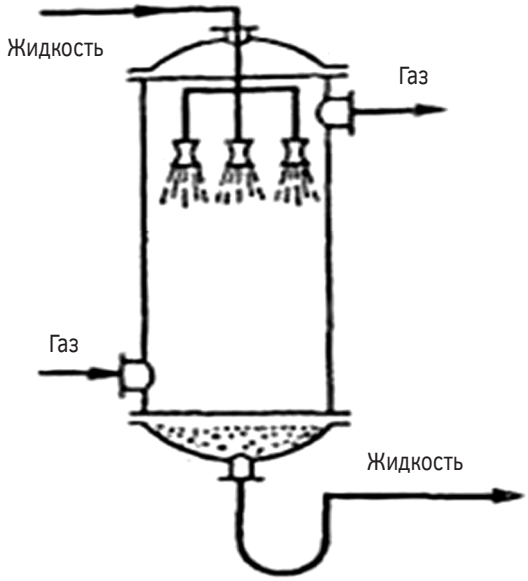


Рис. 13.16. Полый абсорбер

Аппарат использования тепла нейтрализации (ИТН) — вертикальный цилиндрический, работает под атмосферным давлением, состоит из двух частей: реакционной и сепарационной. Распределители аммиака и азотной кислоты выполнены в виде барботеров. Барботер азотной кислоты выполнен из титана для защиты от коррозии. Тепло реакции между азотной кислотой и аммиаком используется для выпаривания воды из раствора аммиачной селитры. Сепарационная часть снабжена четырьмя колпачковыми тарелками для промывки сокового пара и снятия тепла его перегрева.

Донейтрализатор предназначен для донейтрализации газообразным аммиаком избыточной кислотности раствора аммиачной селитры, непрерывно поступающего из аппарата ИТН. Раствор вводят в нижнюю часть аппарата, газообразный аммиак по центральной трубе сверху. Нейтрализация избыточной кислоты происходит в реакционной вставке.

Выпарные аппараты

Выпарной аппарат (в агрегатах АС-72, АС-72М, АС-67) предназначен для выпарки растворов аммиачной селитры под атмосферным давлением. В верхней части аппарата расположены две промывные ситчатые тарелки для промывки паровоздушной смеси, выходящей из аппарата. Средняя часть — вертикальный кожухотрубчатый теплообменник с падающей пленкой. В межтрубное пространство теплообменника подается греющий пар, раствор

равномерно распределяется на верхней трубной решетке и далее стекает по внутренней поверхности трубок в виде пленки, упариваясь до концентрации 99–99,5%. В противоток раствору подается горячий воздух, который играет роль водоотнимающего агента.

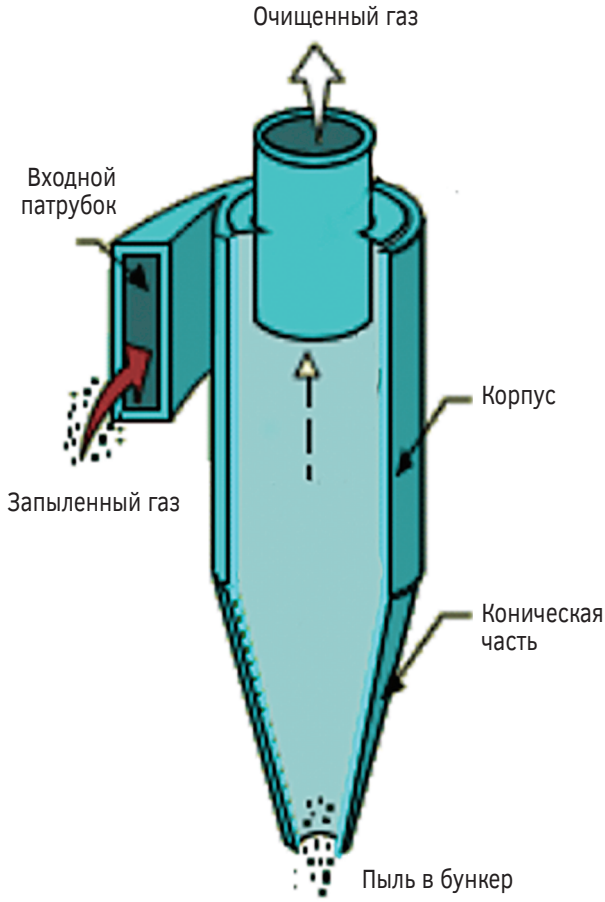


Рис. 13.17. Циклон

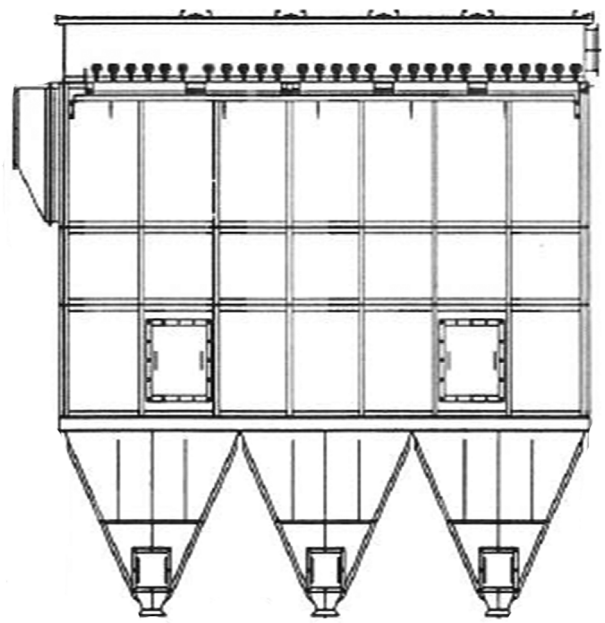


Рис. 13.18. Фильтр рукавный

Оборудование производства аммиачной селитры

Реакторы

В нижней части аппарата происходит доупаривание плава до массовой доли аммиачной селитры не менее 99,7% на пяти сетчатых тарелках провального типа, три верхние из которых снабжены обогревающими змеевиками.

В агрегатах АС-60 выпаривание раствора аммиачной селитры происходит в несколько стадий. Сначала 62–64%-ный раствор поступает в выпарной аппарат I ступени, который работает по принципу «вползания» пленки внутри вертикальных труб. Представляет собой кожухотрубчатый теплообменник с примыкающей к его верхней части сепаратором. Далее 82–84%-ный раствор подается в выпарные аппараты II ступени, которые по конструкции идентичны выпарным аппаратам I ступени. Образовавшийся 97,5–98%-ный плав направляется в доупарочные аппараты. Это вертикальные кожухотрубчатые теплообменники с двумя ситчатыми тарелками в нижней емкостной части. Унос паров влаги осуществляется горячим воздухом, продуваемым через трубки противотоком плаву.

Теплообменные аппараты

Подогреватель азотной кислоты — вертикальный кожухотручатый теплообменник, выполнен из титана.

Подогреватель газообразного аммиака — вертикальный кожухотрубчатый теплообменник.

Подогреватель воздуха — горизонтальный кожухотрубчатый теплообменник, для нагрева воздуха перед выпарным аппаратом.

Грануляторы

Грануляторы предназначены для равномерного разбрызгивания плава аммиачной селитры по заданной площади сечения грануляционной башни. Акустические грануляторы леечного типа статические. В виброгрануляторах виброколебания передаются в плав от пневматического вибратора через сжатый воздух. В вихревых виброгрануляторах вибратор электромагнитный.

Грануляционная башня

Грануляционная башня — строительное сооружение, предназначенное для осуществления процесса гранулирования высококонцентрированного плава аммиачной селитры.

Агрегаты АС-72, АС-72М: грануляционная башня прямоугольного сечения (11 × 8 м), выполнена из металла, обеспечивает высоту падения гранул 50 м.

Агрегаты АС-67: грануляционная башня круглого сечения диаметром 12 м, выполнена в железобетоне, обеспечивает высоту полета гранул 30 м.

Агрегаты АС-60: грануляционная башня круглого сечения диаметром 16 м, выполнена в железобетоне, обеспечивает высоту полета гранул 30 м.

Аппарат воздушного охлаждения

Полученный гранулированный продукт охлаждается в аппарате с кипящим (псевдоожиженным) слоем. В агрегате АС-67 кипящий слой размещен в нижней части грануляционной башни по всему ее сечению. В агрегате АС-72 аппарат кипящего слоя выносной, представляет собой прямоугольный аппарат 2,4 × 15 м. Состоит из трех последовательно расположенных секций с решетками, продукт может охлаждаться в одной, двух или в трех секциях, что позволяет регулировать режим охлаждения. Воздух подают под решетки каждой секции индивидуальным вентилятором.

Скрубберы

Скруббер-промыватель с фильтрующими элементами, установленный на башнях агрегатов АС-72 и АС-72М, выполнен в виде двух блоков прямоугольной формы, располагаемых вдоль длинных сторон прямоугольной башни. Скруббер предназначен для очистки воздуха от NH_3 и NH_4NO_3 перед сбросом в атмосферу. Воздух из башни поступает в блоки через прямоугольные проемы. Соковый пар из аппаратов ИТН и паровоздушная смесь из выпарного аппарата смешиваются с воздухом перед тарелками.

Каждый блок разделен на три смесительные секции. Установлены три ситчатые промывные тарелки и фильтрующие элементы. В верхней части каждого блока установлен сетчатый брызгоотбойник. Очищенная паровоздушная смесь вытягивается из каждой секции индивидуальным вентилятором. Аппарат работает под разрежением.

Промывной скруббер, установленный в агрегатах АС-67, представляет собой цилиндрический аппарат с центральным входом паровоздушной смеси. Аппарат имеет две непровальные тарелки и отбойное устройство — одна тарелка, аналогичная рабочим, и брызгоотбойник. Аппарат работает под напором. Предназначен также для очистки воздуха от NH_3 и NH_4NO_3 перед сбросом в атмосферу.

Аппараты колонные тарельчатые

Промыватель сокового пара, установленный в агрегатах АС-60, предназначен для улавливания аммиака и брызг аммиачной селитры из сокового пара после аппаратов ИТН. Внутри аппарата расположены три ситчатые тарелки с отбойными элементами и сетчатый отбойник.

Аппараты емкостные

Пенноструйный аппарат (агрегат АС-60М) используется для очистки паровоздушной смеси после доупарочного аппарата от аммиака и брызг концентрированного раствора и аэрозоля аммиачной селитры.

Производство известково-аммиачной селитры

В настоящее время известково-аммиачная селитра производится только на двух предприятиях Российской Федерации, причем по абсолютно разным технологиям; оборудование для получения ИАС в перечне оборудования скомпоновано по каждой технологии производства отдельно.

Производство ИАС гранулированием в БГС

Выпарная установка. Состоит из четырех выпарных аппаратов с выносной греющей камерой и принудительной циркуляцией. Предназначена для упаривания растворов.

Реактор. Аппарат с мешалкой специальной конструкции, используется для смешения компонентов.

Барабан-гранулятор-сушилка (БГС). Вращающийся барабан специальной конструкции, имеет обратный закрытый шнек и подъемно-лопастную насадку. Объединяет в одном аппарате гранулятор, сушилку и классификатор готового продукта.

Холодильник. Аппарат горизонтального типа с кипящим слоем для охлаждения гранул.

Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Циклоны и фильтровальная установка предназначены для очистки отходящих газов от мела с узла приема и хранения.

Скруббера и каплеуловители предназначены для очистки отходящих газов от аммиака и пыли удобрений.

Производство ИАС в барабане с кипящим слоем

Испарители. Испаритель I ступени — вертикальный теплообменник пленочного типа, предназначен для упаривания 85%-ного раствора аммиачной селитры до концентрации 95%. Обогревается паром среднего давления и продувается горячим воздухом по трубам с целью более полного удаления воды из плава.

Испаритель II ступени — вертикальный воздушный теплообменник, предназначен для доупарки 95%-ного плава аммиачной селитры до концентрации 99,7%. Верхняя камера испарителя имеет распределитель для более равномерного распределения раствора по трубкам. Обогревается паром среднего давления.

Г*омогенизатор.* Представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат с мешалкой, предназначен для создания гомогенной смеси плава аммиачной селитры с доломитовой мукой. Обогревается паром среднего давления, подаваемым во внутренний змеевик аппарата.

Барабан-гранулятор. Представляет собой вращающийся барабан с подъемно-лопастной насадкой, предназначен для гранулирования плава ИАС с использованием ретура. В качества ретура подается измельченный и просеянный продукт. Подача ретура осуществляется на кипящий слой, который создается горячим воздухом.

Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Скруббера предназначены для мокрой очистки пылегазовоздушной смеси перед выбросом в атмосферу.

Фильтры предназначены для очистки воздуха от доломита при загрузке бункеров приема и хранения доломита.

Оборудование производства карбамида

Оборудование производства карбамида представлено в виде групп, определяемых конструкцией аппаратов:

– реакторы;
– дистилляторы;
– абсорберы;
– грануляторы;
– прочее оборудование.

Группа реакторов отличается решениями по внутренним устройствам, устанавливаемым в реакторы синтеза карбамида — вихревой смеситель, насадка продольного секционирования, массообменные тарелки.

Эти внутренние устройства используются для создания в реакторе режима идеального вытеснения — гидродинамического режима, наиболее благоприятного для протекания процесса синтеза карбамида, и обеспечивают наиболее полное и эффективное использование объема реактора.

Дистилляторы представлены специальными конструкциями теплообменных устройств, отличаются режимами работы (среднее давление, низкое давление) и служат для разложения карбамата аммония и отгонки непрореагировавшего аммиака из плава.

Рекуператор газов дистилляции. Теплообменник-рекуператор совмещает в одном аппарате барботажный конденсатор-абсорбер и пленочный испаритель. Упариваемый раствор карбамида вводится в сепарационную камеру, где распределяется по теплообменным трубкам специальными устройствами и стекает тонкой пленкой по внутренней поверхности труб.

Распределительное устройство раствора карбамида в стриппере.

Стриппер является одним из основных аппаратов схемы со стриппинг-процессом и представляет собой вертикальный пленочный теплообменник.

Аппараты очистки отходящих газов представлены абсорберами среднего или атмосферного давления и установкой кислотного улавливания аммиака.

Башня приллирования. Приллирование — способ получения товарного карбамида, заключающийся в охлаждении сферических капель расплава, находящихся в свободном падении, и их последующей кристаллизации во встречном потоке охлаждающего воздуха.

Башня приллирования представляет собой сооружение из железобетона и металлоконструкций с внутренним диаметром до 16 м и высотой полета частиц до 80 м. Общая же высота башни составляет более 100 м.

Башня оснащена следующими узлами:

– диспергирования плава;
– охлаждения гранул во встроенном аппарате «кипящего» слоя (КС), располагающимся в нижней части башни;
– установкой пылеочистки, располагающимся в верхней части башни.

Также для гранулирования карбамида используют способ грануляции в кипящем слое Stamicarbon.

Преимуществом грануляции в кипящем слое можно назвать получение готового продукта с повышенной прочностью — до 3,5 кгс/гранулу и большим средним размером гранул 3 мм.

Оборудование производства хлористого калия

Основной особенностью флотационного способа является изменение смачиваемости водой поверхности разделяемых соляных минералов сильвина (KCl) и галита (NaCl) после обработки руды реагентом-собирателем, в результате чего происходит селективное закрепление частиц сильвина на пузырьках воздуха и извлечение хлористого калия в пенный продукт флотационной машины.

Галургический способ производства хлористого калия из калийных руд, или метод избирательного растворения хлористого калия и последующей его кристаллизации, основан на различии температурных коэффициентов растворимости хлоридов калия и натрия при их совместном присутствии в водном растворе. При нормальной температуре растворимость хлоридов калия и натрия почти одинакова. С повышением температуры растворимость хлорида натрия практически не меняется, а растворимость хлорида калия резко возрастает. Проведение выщелачивания хлористого калия из руды при температуре 100–105° С позволяет получать солевые растворы с увеличенным содержанием хлористого калия, из которых при последующем вакуумном охлаждении растворов селективно кристаллизуется хлористый калий.

Основным оборудованием производства хлористого калия являются:

– дробилки и грохота — дробление руды и рассев руды;
– сито дуговое, мельница стержневая, флотационная машина, сгуститель — оборудование обогащения флотационным способом;
– растворитель шнековый, сгуститель, установка вакуум-кристаллизации — оборудование обогащения галургическим способом;
– вакуум-фильтр, центрифуга, сгуститель, сушильные аппараты (барабанные сушилки, печи КС) — удаление влаги;
– печь КС, пресс, дробилка, грохот — компактирование;
– конвейер ленточный, кратцер-кран — складирование и отгрузка.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

С учетом специфики отрасли (невозможность замены одного питательного элемента другим) сравнение технологий производства удобрений возможно только внутри одного вида минеральных удобрений.

При выборе параметров для сравнения необходимо руководствоваться, прежде всего, интегральными показателями ресурсо- и энергоэффективности. Так, ресурсоэффективность можно оценить с использованием коэффициента использования сырья (отношения массы введенных в процесс компонентов к массе полученного продукта) и расхода фосфатного сырья т P_2O_5 фоссырья/т P_2O_5 продукта.

Энергоэффективность производства можно оценить по суммарному расходу энергоресурсов на 1 т продукта.

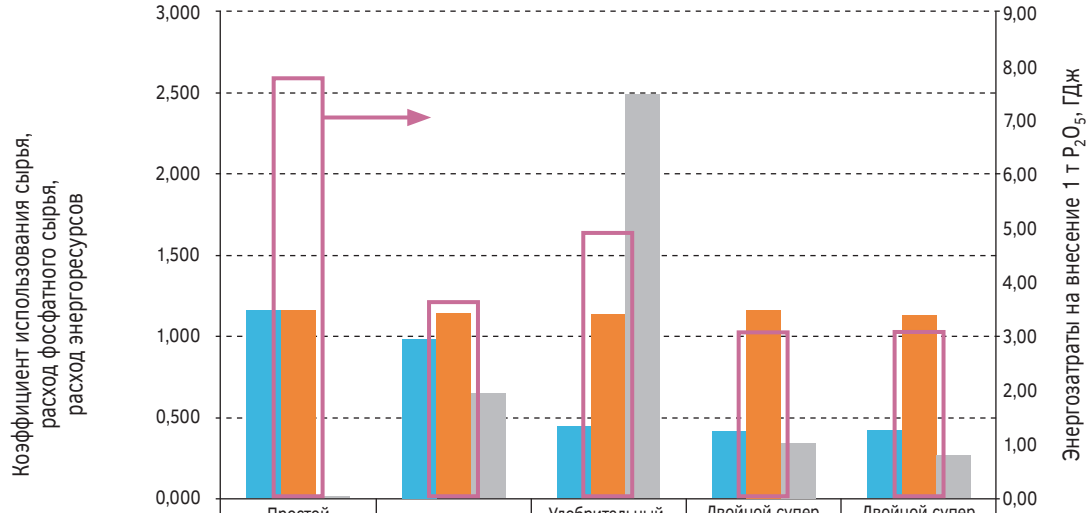
С учетом того, что существует широкий ассортимент минеральных удобрений с различным содержанием питательных элементов, целесообразно также учесть энергозатраты на хранение, транспортировку и внесение 1 т P_2O_5 минеральных удобрений.

На рис. 13.19 на примере фосфорных удобрений приведено сравнение технологий производства по данным параметрам.

Как видно из графика, у простого суперфосфата наибольший коэффициент использования сырья (все сырьевые компоненты переходят в продукт) и наименьший расход фосфатного сырья т P_2O_5 сырья/т P_2O_5 продукта, однако это наиболее бедное фосфорное удобрение.

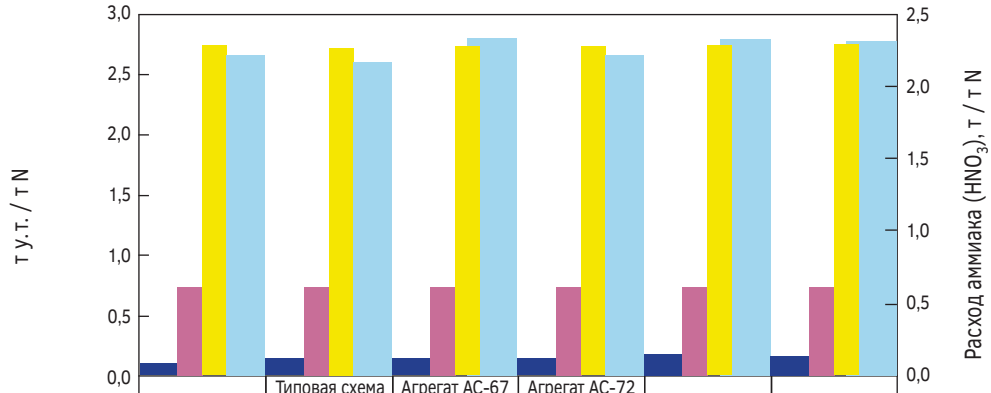
При осуществлении более глубокой переработки преципитат — двойной суперфосфат коэффициент использования сырья уменьшается, а расходный коэффициент увеличивается, при этом увеличивается содержание питательного компонента (до 48% P_2O_5 в двойном суперфосфате) и качество готового продукта. При увеличении содержания питательного компонента в продукте соответственно уменьшаются удельные затраты на хранение, транспортировку и внесение удобрений.

Таким образом, при оценке различных технологий целесообразно учитывать как показатели производства удобрений (ресурсные, энергетические), так и показатели качества готового продукта, характеризующие его применение и эффективность.



	Простой суперфосфат, камерный (на 1 т P_2O_5)	Преципитат (40,7% P_2O_5)	Удобрительный фосфат, термич., 30% усв	Двойной супер из ЭФК (48% P_2O_5 усв) поточный с БГС, на 1 т продукта	Двойной супер из ЭФК (48% P_2O_5 усв) камерный, на 1 т продукта
Коэффициент использования сырья	1,160	0,986	0,442	0,417	0,428
Расход фосфатного сырья т P_2O_5 / т продукта	1,051	1,143	1,137	1,165	1,127
Расход энергоресурсов, т у.т.	0,020	0,650	2,490	0,340	0,270
Энергозатраты на внесение 1 т P_2O_5, ГДж	7,760	3,620	4,910	3,070	3,070

Рис. 13.19. Сравнение технологий производства фосфорных удобрений



	АС-72М	Типовая схема 47–49% аз. кислота	Агрегат АС-67 58–59% аз. кислота	Агрегат АС-72 58–59% аз. кислота	Агрегат АС-60	Агрегат АС-60М
Суммарное потребление энергии всех видов без учета производства аммиака и азотной кислоты	0,104	0,150	0,145	0,104	0,184	0,163
Суммарное потребление энергии всех видов с учетом производства аммиака и азотной кислоты	2,679	2,623	2,813	2,674	2,806	2,793
Расход аммиака	0,622	0,622	0,620	0,622	0,616	0,619
Расход HNO_3	2,298	2,282	2,289	2,291	2,296	2,302

Рис. 13.20. Сравнение технологий производства аммиачной селитры по ресурсо- и энергопотреблению[29]

Применительно к производству азотных удобрений различия показателей ресурсо- и энергоэффективности в зависимости от применяемых технологий будут выглядеть следующим образом:

Наименьшие расходы аммиака и азотной кислоты характерны для агрегата АС-60 и агрегата по типовой схеме на разбавленной азотной кислоте и равны 0,616 т NH_3/т N и 2,282 т HNO_3/т N соответственно. Суммарное потребление всех видов энергии собственно в производстве азотной кислоты минимально для агрегатов АС-72 и АС-72М и составляет 0,104 т у. т./т N. С учетом затрат энергии на производство аммиака и азотной кислоты в соответствующих производствах наименьшее суммарное потребление всех видов энергии характерно в настоящее время для агрегата АС-72 и составляет 2,696 т у. т./т N.

Средние показатели энергопотребления и расходов аммиака и азотной кислоты для эксплуатируемых в России в настоящее время агрегатов по производству аммиачной селитры соответственно равны: 2,731 т у. т./т N, 0,620 т NH_3/т N и 2,295 т HNO_3/т N.

Наиболее существенным является расход водяного пара. Расчетный расход водяного пара в крупнотоннажных агрегатах невелик и складывается из расхода на нагрев воздуха перед выпарным аппаратом, выпарку раствора до 99,7–99,8%-ного плава и на обогрев трубопроводов.

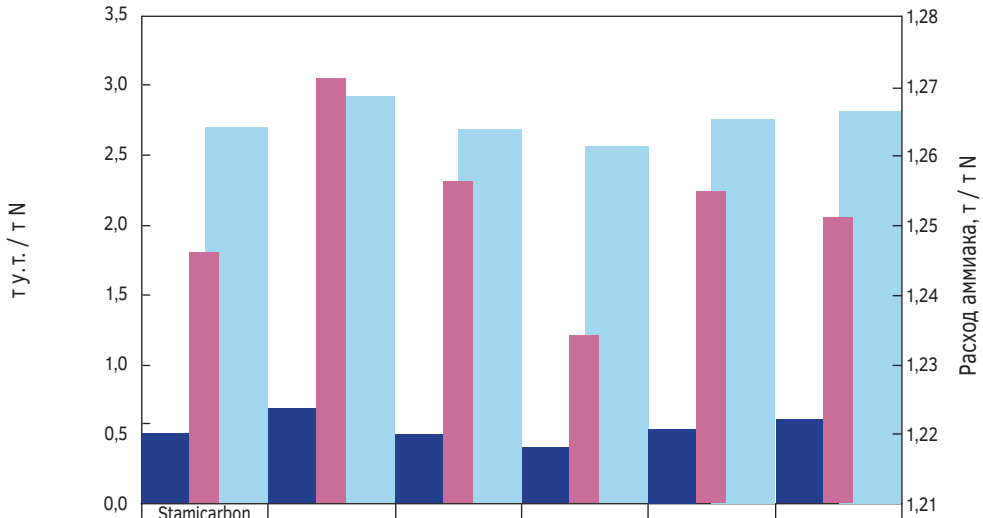
Производство карбамида

Технологии карбамида, применяемые в настоящее время:

– классический полный жидкостный рецикл Stamicarbon с полной или частичной реконструкцией URECON®2006;
– процесс Stamicarbon с незамкнутым циклом без усовершенствования;

[29] В расчетах для агрегатов АС-60, АС-60М, АС-72, АС-72М учтены расходы на производство азотной кислоты в системах, работающих под давлением; в расчетах для типового агрегата — системах под атмосферным давлением. Пересчет на 1 N выполнен для аммиачной селитры марки Б с содержанием азота 34,4%.

– усовершенствованный процесс с полным жидкостным рециклом фирмы TEC;
– процесс Stamicarbon со стриппингом в токе диоксида углерода;
– процесс с автостриппинг в токе аммиака;
– процесс с полным жидкостным рециклом фирмы Tecnimont.



	Stamicarbon (URECON ®2006)	Stamicarbon (АК-70)	TEC	Стриппинг в токе CO_2	Автостриппинг	Tecnimont
Суммарное потребление энергии всех видов без учета аммиачного производства	0,517	0,694	0,497	0,404	0,543	0,621
Суммарное потребление энергии всех видов с учетом аммиачного производства	2,708	2,928	2,694	2,573	2,774	2,826
Расход аммиака	1,246	1,271	1,256	1,234	1,255	1,251

Рис. 13.21. Сравнение агрегатов производства карбамида по ресурсо- и энергопотреблению[30]

Из современных действующих агрегатов по синтезу карбамида в России наименьшими показателями энергопотребления и расхода аммиака обладают агрегаты, построенные по технологии голландской фирмы Stamicarbon, работающие со стриппинг-процессом в токе диоксида углерода: 1,234 т NH_3/т N и 2,598 т у. т./т N соответственно.

Средние показатели энергопотребления и расхода аммиака для эксплуатируемых в России в настоящее время агрегатов синтеза карбамида равны соответственно: 2,772 т у. т./т N и 1,252 т NH_3/т N.

Технологии связанного азота в целом

Из рис. 13.22 видно, что затраты энергии всех видов на производство аммиачной селитры и карбамида примерно одинаковые, поэтому выбор в пользу того или иного продукта определяется его качеством и спросом на него.

Для сравнения технологий производства различных продуктов может быть использован Е-фактор (отношение массы побочных продуктов, отходов, потерь и т. д. к массе целевого продукта) и атомная эффективность (отношение молярной массы целевого продукта к сумме молярных масс остальных продуктов в стехиометрическом уравнении). Пример использования атомной эффективности для сравнения различных производств азотсодержащих продуктов приведен в табл. 13.3.

[30] Пересчет на 1 т N выполнен для карбамида марки А с содержанием 46,3% N.

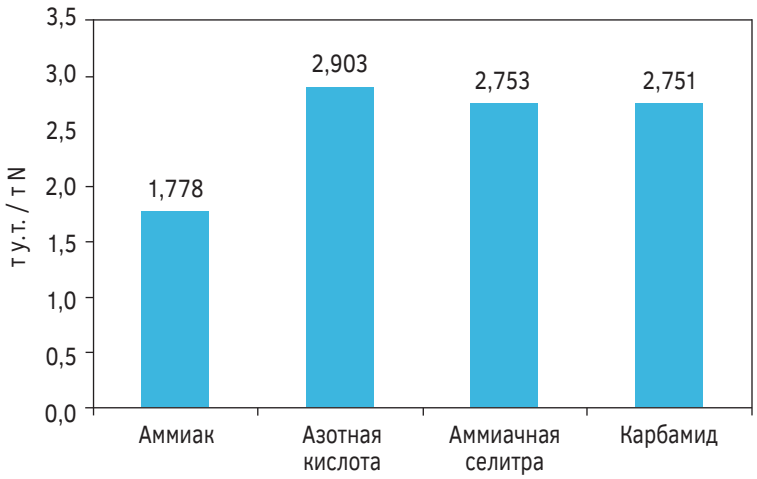


Рис. 13.22. Сравнение производств связанного азота по энергопотреблению

Таблица 13.3. Сравнение производств связанного азота по атомной эффективности

Технология связанного азота	Суммарная реакция	Атомная эффективность
Аммиачная селитра	$NH_3 + HNO_3 = NH_4NO_3$	Макс
Азотная кислота (дуговой метод)	$3N_2 + 6O_2 + 2H_2O = 4HNO_3 + 2NO$	4,17
Азотная кислота (окисление аммиака)	$NH_3 + 2O_2 = HNO_3 + H_2O$	3,45
Карбамид	$CO_2 + 2NH_3 = CO(NH_2)_2 + H_2O$	3,33
Карбамид (с учетом производства аммиака)	$3CH_4 + 6H_2O + 4N_2 + CO_2 =$ $= 4CO(NH_2)_2 + 4H_2O$	3,33
Цианамид	$CaO + 3C + N_2 = CaCN_2 + CO + C$	2,00
Азотная кислота (окисление аммиака, с учетом производства аммиака)	$3CH_4 + 6H_2O + 4N_2 + 16O_2 =$ $= 3CO_2 + 8HNO_3 + 8H_2O$	1,82
Аммиачная селитра (с учетом производств аммиака и азотной кислоты)	$3CH_4 + 6H_2O + 4N_2 + 8O_2 =$ $= 3CO_2 + 4H_2O + 4NH_4NO_3$	1,56
Аммиак (конверсия метана)	$3CH_4 + 6H_2O + 4N_2 = 3CO_2 + 8NH_3$	1,03
Аммиак (электролиз воды)	$6H_2O + 2N_2 = 4NH_3 + 3O_2$	0,71
Аммиак (газификация твердого топлива)	$6C + 3O_2 + 6H_2O + 2N_2 = 6CO_2 + 4NH_3$	0,26

Из данных табл. 13.3 следует, что наибольшей атомной эффективностью обладает производство аммиачной селитры, но с учетом того, что для получения аммиачной селитры необходимы аммиак и азотная кислота, атомная эффективность будет равна 1,56. Наименьшая атомная эффективность характерна для производства аммиака из водорода, получаемого газификацией твердого топлива, наибольшая для карбамида — 3,33.

Таким образом, приведенные критерии можно использовать как для сравнения технологий одного вида удобрений, так и технологий производства разных видов удобрений между собой.

РОЛЬ ОТРАСЛИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Наибольший вклад в оборот химической промышленности вносит производство минеральных удобрений. На долю удобрений в экспорте отечественной продукции химического комплекса приходится около 35%.

Наличие уникальной сырьевой базы позволяет выпускать весь спектр минеральных удобрений, российские производители входят в число наиболее крупных по всем сегментам: азотному, фосфорному и калийному.

В производстве калийных и фосфорсодержащих удобрений преимущество отечественных производителей обусловлено доступом к отечественному сырью (калийные и фосфатные руды). Модернизация существующих предприятий в сегменте азотных удобрений с целью повышения энергоэффективности, ресурсосбережения и экологической безопасности позволяет сохранить конкурентоспособность на глобальном рынке. Модернизация мощностей также ведет к снижению негативного воздействия производств минеральных удобрений на окружающую среду при ужесточении и общей гармонизации экологических требований с международными экологическими стандартами.

Важным фактором конкурентоспособности российских производителей является расширение производства сложных и комплексных удобрений, адаптированных под современные потребительские предпочтения. Рост данных продуктовых направлений потребует от компаний собственных научно-исследовательских разработок и технологий в области производства и применения минеральных удобрений.

Сохранение позиций на экспортных рынках должно сопровождаться развитием внутреннего рынка посредством стимулирования потребления минеральных удобрений и увеличения доли использования сложных удобрений в сельском хозяйстве. Особенность российского рынка минеральных удобрений — невысокий уровень спроса, покрывающий на сегодняшний день около 30% выпуска. В последнее десятилетие наблюдалась положительная динамика: объем российского рынка увеличивался, достигнув своего максимального значения — 8,2 млн т (в пересчете на 100% питательных веществ) — в 2011 г.

Для реализации потенциала внутреннего рынка должна оказываться более активная государственная поддержка сельхозтоваропроизводителей в виде доступа к дешевым источникам финансирования и (или) предоставления дотаций на развитие инфраструктуры по транспортировке, хранению и внесению минеральных удобрений, в том числе сложных, и последующей интенсификацией сельского хозяйства (по данным ИТС по НДТ 2–2015).

На сегодняшний день отличительной чертой мирового рынка минеральных удобрений является транснациональность (большинство корпораций располагают активами в более чем одной стране), а также диверсифицированность бизнеса (наличие различных видов удобрений в продуктовой линейке производителей).

Продолжается тенденция к ужесточению конкуренции на мировых рынках в связи с запуском новых мощностей в странах Персидского залива и Северной Африки, цены на газ в которых в 2–3 раза ниже, чем в России, а сами предприятия расположены вблизи экспортных портов, что минимизирует логистические затраты.

По данным плана мероприятий («дорожная карта») по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 г. (распоряжение Правительства РФ от 29.03.2018 г. № 532-р), основными факторами развития внешнего рынка являются:

- усиление конкуренции во всех сегментах рынка, связанной с опережающим вводом новых мощностей в основных странах — производителях минеральных удобрений;
- вытеснение участников с высокой себестоимостью производства;
- формирование (за счет наращивания объемов производства в странах с доступом к дешевому сырью, инфраструктуре, финансированию) новых центров производства следующих видов минеральных удобрений: азотные — Российская Федерация, Ближний Восток, Соединенные Штаты Америки, Тринидад и Тобаго и Европейский союз; фосфорные и сложные — Российская Федерация, Марокко, Китай и Соединенные Штаты Америки; калийные — Российская Федерация, Канада, Белоруссия и Туркменистан.

Основным конкурентным преимуществом для развития отечественных производителей минеральных удобрений и усиления их позиции на внешнем рынке является доступ к дешевому сырью и низкая себестоимость производства минеральных удобрений.

Экспортный потенциал является основным определяющим фактором развития отрасли минеральных удобрений.

Одним из основных направлений получения добавленной стоимости и коммерциализации основных видов сырья является получение широкой гаммы химической продукции, в том числе аммиака и минеральных удобрений, а также возможность организации смежных производств — метанола и меламина на азотных предприятиях, очищенных кислот и фосфатов на предприятиях фосфорсодержащих удобрений и т. д.

Таблица 13.4. Производство минеральных удобрений в России и мире в 2018–2019 гг., млн т

	2018 г.		2019 г.	
	в мире	в России	в мире	в России
Азотные	169,3	10,4	171,3	10,9
Фосфорные	52,8	4,0	54,1	4,3
Калийные	47,4	8,4	49,8	9,2
ИТОГО	269,5	22,8	275,2	24,4

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

В долгосрочной перспективе цена и спрос на удобрения будут только расти — вне зависимости от экономических факторов. Это обусловлено тем, что объем потребляемых удобрений напрямую связан с развитием сельского хозяйства и увеличением населения планеты. Сейчас на Земле живет почти 7,6 млрд человек, к 2050 г., по прогнозам ООН, население Земли составит более 9 млрд человек. Соответственно потребности в продовольствии также будут возрастать. В перспективе ожидается рост производства биотоплива, при производстве которого также будут необходимы удобрения.

По подсчетам специалистов, рост урожайности сельхозкультур на 50% зависит от применения удобрений, а вторая половина приходится на другие факторы (сорта, агротехнику, мелиорацию и т. д.). Поэтому ни один современный высокоурожайный сорт не раскроет свой потенциал без перехода к интенсивным и высоким агротехнологиям, что, в свою очередь, невозможно без увеличения количества применяемых удобрений.

Сравнение объемов применения минеральных удобрений и урожайности сельхозкультур на пике химизации сельского хозяйства СССР и в других странах представлено в табл. 13.5.

Таблица 13.5. Применение минеральных удобрений и урожайность зерновых (в среднем за 1986–1988 гг.; Ягодин, 2016)

Страна	Обеспеченность пашни минеральными удобрениями, кг/га	Средняя урожайность, т/га
СССР	99	1,59
США	103	4,35
Великобритания	359	5,67
ФРГ	427	5,39
Нидерланды	771	6,93

В международном рейтинге по урожайности зерновых культур в 2011–2013 гг. Россия занимала 106–110-е место (Total-Rating.ru). Средняя урожайность в нашей стране за счет вывода из оборота худших земель и начавшегося роста применения удобрений лишь в последние годы достигла 2,6 т/га, при средней мировой — 3 т, а в отдельных европейских странах — 8–9 т/га, с мировыми рекордами до 16 т зерна с гектара.

Экстенсивные технологии, малое количество применяемых в России удобрений грозит не только низкими урожаями (несмотря на ежегодные рекордные, за счет больших площадей, валовые сборы зерна), но и истощением почвенных ресурсов. По сравнению с советским периодом объемы применяемых минеральных удобрений снизились в 5 раз, органических — в 8, химических мелиорантов — более чем в 20 раз!

По данным агрохимической службы, по состоянию на 2017 г. почвы с низким содержанием гумуса занимают более 60% обследованных площадей, почвы с повышенной кислотностью ($pH_{KCl} \leq 5,5$) — 35%. Доля почв с низким и очень низким содержанием подвижного фосфора составляет 25%, со средним 36%, со средним и низким содержанием обменного калия 30%.

Таблица 13.6. Агрохимическая характеристика почвы сельскохозяйственных угодий

Гумус	Меньше минимального содерж.	Слабогумусированные	Среднегумусированные	Сильногумусированные	–	–
	27	34	26	13	–	–
pH_{KCl}*	Очень сильнокислые	Сильнокислые	Среднекислые	Слабокислые	Близкие к нейтральным	Нейтральные
	<1	3	10	21	19	31
Фосфор	Очень низкое	Низкое	Среднее	Повышенное	Высокое	Очень высокое
	7	18	36	20	12	7
Калий	Очень низкое	Низкое	Среднее	Повышенное	Высокое	Очень высокое
	2	9	19	27	24	19

* На долю слабощелочных и щелочных почв приходится ~ 14%.

Сегодня окупаемость 1 кг удобрений зерном в России более чем в два раза ниже по сравнению со среднемировой (10 кг/кг). Основными причинами низкой окупаемости применения удобрений в Российской Федерации являются неблагоприятные социально-экономические условия, низкий уровень культуры земледелия, профессиональной подготовки и научного обеспечения. Также важным фактором, влияющим на окупаемость удобрений, является окультуривание почвы. Исследования, проводимые во ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова под руководством С. А. Шафрана, наглядно показывают, что с ростом содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия до повышенного и высокого уровня приводит к росту окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая более 10 кг/кг. Однако в течение последних 20–25 лет в практике сельского хозяйства Российской Федерации из удобрений основное место занимает аммиачная селитра 65–71%, а в ряде регионов на ее долю приходится более 80%, в то время как сложные удобрения занимают лишь 23%, фосфорные — 20%, калийные — 4%. Таким образом, наблюдаемое в настоящее время господство азотных удобрений в отечественном сельском хозяйстве, в свою очередь, и может приводить к снижению их эффективности, нарушению формирования урожая и его качества.

Результаты исследований показывают, что применение азотных удобрений на почве с низким содержанием подвижного фосфора малоэффективно и, напротив, получение более высоких урожаев лучшего качества на почвах с содержанием P_2O_5 выше среднего возможно при меньших затратах азотных удобрений

Таким образом, переход к интенсивным и высоким агротехнологиям с повышением урожайности сельхозкультур и окупаемости удобрений невозможно без комплексного подхода к химизации сельского хозяйства и целенаправленного окультуривания почвы. Особое место в окультуривании земель занимает распространенное в советское время фосфоритование, а также известкование кислых почв, способное увеличить эффективность минеральных удобрений на 30–40%.

Обработка результатов длительных полевых опытов с удобрениями, проведенных в разных зонах страны, и расчет баланса элементов питания по регионам показали, что для неполной компенсации выноса элементов питания урожаем поставки минеральных удобрений на внутренний рынок нашей страны должны составлять примерно более 7 млн т питательных веществ.

Таблица 13.7. Потребность земледелия России в минеральных удобрениях

Уровень потребности	Питательное вещество, млн т д. в.			
	N	P_2O_5	K_2O	Всего
Минимальный	3,2	2,7	1,2	7,1
Поддерживающий	4,9	4,7	2,5	11,8
Перспективный	6,5	6,0	3,5	16,0
Оптимальный	10,2	9,1	6,7	26,0

По расчетам ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, применение минеральных удобрений в количестве 8–12 млн т д. в. позволит обеспечить сохранение плодородия почвы, а незначительный дефицит баланса по фосфору и калию будет покрываться за счет естественных внутрипочвенных процессов в пахотном слое и использования растениями элементов питания из подпахотных горизонтов почвы, роль которых в питании растений в настоящее время недооценена.

Рост отечественного сельского хозяйства невозможен без перехода к нормальным и интенсивным технологиям сельхозпроизводства и мобилизации использования имеющихся ресурсов минеральных удобрений.

По оценкам академика В. И. Кирюшина (2016), освоение нормальных и частично интенсивных агротехнологий потребует применения около 4,5 млн т д. в. удобрений и увеличения обеспеченности пашни минеральными удобрениями вдвое, с 49 до 100 кг д. в./га, что обеспечит рост валового сбора зерна при существующей посевной площади (около 45 млн га).

Последующее распространение интенсивных агротехнологий на лучшие земли и нормальных агротехнологий на остальных, позволит довести посевные площади зерновых культур до 70 млн га. Это потребует увеличения обеспеченности пашни до 150 кг д. в./га (применение 10,5 млн т д. в. в год) и при условии комплексной химизации сможет обеспечить рост урожайности зерновых до 3 т/га и валового сбора зерна до 200 млн т. При этом окупаемость удобрений благодаря повышению наукоемкости и точности агротехнологий возрастет до 9–10 кг зерна за 1 кг д. в. удобрений.

В дальнейшем, если это будет необходимо, интенсификация сельскохозяйственного производства путем сочетания интенсивных, высоких и нормальных агротехнологий при увеличении внесения удобрений до 200 кг/га (применение 14 млн т д. в. в год) позволит обеспечить рост урожайности зерновых до 3,9 т/га и валового сбора до 270 млн т зерна при окупаемости удобрений 12 кг зерна за 1 кг д. в. При этом годовая потребность отечественного земледелия в минеральных удобрениях останется значительно ниже их производства.

В подобных моделях применения удобрений наиболее значимыми из азотных удобрений являются аммиачная селитра и мочевина, на долю которых в сумме должно приходиться до 50% общей потребности; среди других форм важное место отводится жидким азотным удобрениям — карбамидно-аммиачным смесям и сложным твердым удобрениям (по 20%). Большая часть фосфора (до 50%) должна вноситься в почву в составе комплексных удобрений

(аммофос, диаммофос и их производные). Четверть от общего количества внесенного фосфора должна приходиться на долю фосфоритной муки.

Важным моментом является обеспечение растений мезоэлементами — магнием и серой. Если проблема магния относительно легко решается при проведении известкования, то после прекращения производства и применения простого суперфосфата проблема недостатка серы в отдельных случаях стоит достаточно остро, что делает необходимым производство и применение NPS- и PKS-удобрений.

Достаточное обеспечение пашни макроэлементами приведет к росту потребности в микроэлементах, необходимость которых в настоящее время при низкой урожайности невысока. По результатам материалов крупномасштабного агрохимического обследования почв, низкая и средняя обеспеченность выявлена для бора на 26,8% обследованных площадей почв, по молибдену — на 84,5% площадей (что, очевидно, связано с высокой кислотностью почв), по цинку — на 96,9%, по меди — на 71,6%, по марганцу — на 74,5%, потребность в применении кобальта выявлена на 87,9% обследованных площадей почв. Однако следует понимать, что применение микроудобрений без достаточного обеспечения азотом, фосфором и калием является бесполезной тратой средств.

Дополнительным ресурсом производства удобрений могут стать отходы животноводства, с которыми можно дополнительно внести около 2,5 млн т д. в., а также использование местного, в том числе низкопроцентного, сырья. Не менее важным является организация производства микробиологических препаратов, действие которых способно оптимизировать баланс азота и фосфора в почве на 20–30 и 10–15% соответственно. Особенно важны эти препараты для инокуляции семян бобовых и зернобобовых культур, с целью интенсификации азотфиксации.

Несовершенство химических, физических и механических свойств удобрений может явиться причиной снижения их эффективности и негативного воздействия на окружающую среду. Важную роль в повышении эффективности минеральных удобрений играют и их физические свойства: влажность, гигроскопичность, слеживаемость, прочность гранул и т. д. Для производства сухих тукосмесей или тукосмешения непосредственно в хозяйстве важно соблюдать однородность гранулометрического состава минеральных удобрений, поскольку различный размер гранул удобрений приводит неравномерному их рассеву центробежными разбрасывателями вследствие их сегрегации и сепарации. Неравномерное внесение может существенно снижать эффективность применяемых удобрений: азотных — на 45–50%, фосфорных — на 15–20%, калийных и сложных — на 35–40%.

Большое значение имеет прочность гранул. Так, гранулы малой прочности больше подвержены разрушению под давлением массы верхних слоев удобрений, истиранию друг о друга при погрузочно-разгрузочных работах, что, в свою очередь, приводит к существенным потерям и неравномерному внесению.

К несовершенству химических свойств минеральных удобрений относится наличие в них так называемых балластных элементов, которые могут накапливаться в почве при систематическом применении и отрицательно влиять на плодородие, величину и качество урожая, мигрировать в грунтовые воды. Поэтому важнейшей характеристикой удобрений является концентрация в них элементов питания, от которой зависит и нагрузка на окружающую среду за счет снижения поступления фтора, кадмия, стронция, хлора, натрия и т. д., и расходы на хранение, внесение и транспортировку концентрированных удобрений, которые значительно ниже, чем удобрений с низким содержанием действующего вещества, что, учитывая большие расстояния в России или при поставке за рубеж, имеет особо важное значение. В среднем при внесении калийных удобрений в дозе 50–60 кг/га в почву поступает 30–35 кг/га хлора. Фосфатное сырье содержит в себе заметные количества фтора, стронция, редкоземельных и радиоактивных элементов. На 1 т P_2O_5 фосфатных руд может приходиться до 80–100 кг фтора, 30–40 кг стронция, 20–25 кг окислов редкоземельных элементов, до 14 г урана и $7 \cdot 10^{-6}$ кюри радия. Если с азотными удобрениями в почву может поступать до 10 г/га мышьяка, то с суперфосфатом уже от 30 до 300 г/га. В связи с этим особое внимание должно уделяться совершенствованию технологий переработки и производству высококонцентрированных удобрений.

Увеличение концентрации действующего вещества в удобрении приводит не только к росту экономической эффективности применения удобрений, но и позволяет снизить нагрузку на почву, что становится еще более актуальным в условиях защищенного грунта. В настоящее время площадь теплиц в мире составляет почти 500 тыс. га со средним годовым приростом площадей более 10%.

В России также наблюдается постепенное увеличение площади защищенного грунта. За период с 1913 по 1939 г. площадь теплиц в России выросла с 4 до 83 га. К 1969 г. она достигла 713 га, а к концу советского периода — уже 4,7 тыс. га. В 90-х гг. наблюдалось значительное сокращение площадей. В 2006 г. теплицы занимали уже 1,9 тыс. га, в 2014 г. — 2 тыс. га, к 2016 г. площадь зимних теплиц достигла 2,2 тыс. га. В настоящее время — около 3,3 тыс. га, с дальнейшим увеличением площади защищенного грунта, необходимым для обеспечения населения страны свежей овощной продукцией.

В условиях защищенного грунта идет планомерный переход от грунтового выращивания овощей к различным видам гидропоники (малообъемная гидропоника, глубоководная культура, техника питательного слоя, аэропоника и др.), что делает необходимым более тщательный подход к выбору минеральных удобрений. Основными требованиями к применяемым удобрениям становится их полная растворимость и безбаластность (монофосфат калия, калийная и аммиачная селитра, аммофос и т. д.), что позволяет обеспечивать растения необходимым количеством элементов питания при меньшем повышении концентрации питательного раствора, электропроводность которого не должна, как правило, превышать 2–2,5 mSm/см.

Ассортимент минеральных удобрений, применяемых в защищенном грунте, должен предусматривать наличие всех макро- и микроэлементов, в том числе магния, серы, а для зеленных культур также хлора и натрия в небольших количествах в легкодоступной водорастворимой форме. Обязательным компонентом для приготовления питательных растворов является кальциевая селитра. Эти удобрения могут выпускаться как самостоятельно, так и в виде готовых концентратов, дифференцированных по видам растений и фазам их развития.

Если применение водорастворимых форм минеральных удобрений в защищенном грунте является необходимым, то в поле эффективность азотных удобрений снижается в основном за счет нитрификации аммонийных форм и мочевины и дальнейшего вымывания легкоподвижного нитратного азота при промывном водном режиме. На почвах легкого гранулометрического состава также могут наблюдаться существенные потери калия. Вымывание элементов питания не только снижает окупаемость удобрений, но и может приводить к загрязнению грунтовых вод нитратами и эвтрофикации водоемов.

Значительные газообразные потери (15–25%) происходят в процессе денитрификации нитратов (N_xO_y) и аммонификации мочевины (NH_3). Для снижения потерь элементов питания за счет вымывания и денитрификации перспективным направлением является производство удобрений с контролируемым высвобождением питательных веществ в течение вегетации сельхозкультур. Поэтому важно уделять внимание не просто гранулированию минеральных удобрений, но и их капсулированию или покрытию гранул различными пленками (смолы, полиэтилен, винилацетат, парафин, элементная сера и др.), которые будут не только препятствовать быстрому растворению и потере азотных удобрений, но и могут замедлить взаимодействие фосфатов с почвой, снижая тем самым их химическое поглощение. По данным разных исследователей, коэффициент использования азота капсулированных удобрений выше на 20%, калия — на 65%, а фосфора — почти вдвое.

Для азотных удобрений актуальным остается производство малорастворимых (такие как МФУ и др.), а также капсулированных удобрений пролонгированного действия, однако основной проблемой в применении таких удобрений является дороговизна, сложность или невозможность регулирования высвобождения азота во времени применительно к фазам развития растений.

Введение в состав азотных удобрений ингибиторов нитрификации, которые способны на длительное время затормозить процесс окисления аммонийного азота почвы и удобрений,

сохраняя его в малоподвижной, но доступной для питания растений форме, снижает потери азота в 1,5–2,5 раза и повышает коэффициент использования на 10–15% и урожай на 10–42%. Средние прибавки урожая от применения ингибиторов нитрификации составляют по зерновым культурам 3,5–6,0 ц/га, кукурузы — 3,9–5,4, картофеля — 34, кормовой свеклы — до 42 ц/га. Также снижается потребность и затраты на проведение подкормок. Наиболее эффективным методом повышения действия азотных удобрений ингибиторы нитрификации являются в условиях орошаемого земледелия, при промывном водном режиме, на почвах легкого гранулометрического состава и при возделывании риса.

В целом к 90-м гг. XX в. в отрасли минеральных удобрений были исследованы и отработаны в промышленном масштабе технологии основных видов минеральных удобрений — азотные, фосфорные, калийные и комплексные. Исследованы основные и перспективные виды сырья и технологии его комплексного использования. В производстве каждого вида удобрений определились основные направления развития: технические, технологические, организационные. Установлена эффективность мелиорантов, мезо- и микроэлементов, органических и биологических добавок и т. д., определены основные агрохимические приемы повышения урожайности. Одну из решающих ролей в развитии производств стал играть экономический фактор — развитие внешней торговли определило новые требования к качеству и ассортименту удобрений, логистике, «гибкости» используемых технологий, экономическим показателям производства и др.

Указанные тенденции в итоге определили основную движущую силу развития отрасли в XXI в. — ресурсоэффективность производства и потребления удобрений.

Для оценки эффективности использования ресурсов представляется возможным применение теории Т. Гилберта (T. Gilbert). Основное положение данной теории заключается в том, что люди должны стремиться минимально возможными усилиями достигать максимальных результатов, чтобы таким образом сэкономить возможности или ресурсы, в широком смысле этого слова (материальные, финансовые и временные ресурсы, силы, здоровье и т. д.), для других, возможно, более ценных для индивидуума и общества занятий.

Одна из классификаций выделяет пять основных групп ресурсов:

1. **Материальные** — природные и искусственные.
2. **Трудовые** — часть населения, обладающая физическим развитием и интеллектуальными (умственными) способностями, необходимыми для трудовой деятельности.
3. **Финансовые** — ресурсы для обеспечения капитальных вложений, наполнения оборотных средств, осуществления торговой деятельности и накоплений.
4. **Информационные** — ресурсы знаний и инфраструктура, обеспечивающая их хранение и использование.
5. **Временные** — ресурсы времени индивидуальные и институциональные.

Используя основные группы ресурсов, можно предложить соответствующую классификацию направлений развития удобрений с позиций ресурсоэффективности.

Эффективность использования материальных ресурсов

Эффективность использования природных ресурсов

Актуальной задачей остается комплексное и максимальное использование сырья:

- фосфатного сырья с получением фосфорсодержащих удобрений, фторсодержащих продуктов, редкоземельных элементов, стронцийсодержащих соединений, сырья для цементной промышленности и строительных материалов, технических и кормовых фосфатов;
- серы с получением серной кислоты, пара, электроэнергии;
- калийного сырья с получением калийных и сложных удобрений; технических, кормовых и пищевых натриевых солей; гидроксидов натрия и калия, хлора и соляной кислоты; максимальное использование вторичных ресурсов и вскрышных пород для закладки горных выработок;

– всестороннее использование сырья азотной промышленности — природного газа и воздуха с попутным получением электроэнергии, пара, диоксида углерода, карбамида, меламина, метанола и других продуктов (см. рис. 13.1).

Повышение эффективности удобрений с использованием следующих приемов:

– создание удобрений пролонгированного действия, удобрений с регулируемой растворимостью питательных веществ;
– создание комплексных удобрений с микро- и мезоэлементами, удобрений со стимуляторами роста растений, биологических удобрений и т. д.;
– агрохимические методы увеличения эффективности использования удобрений: севообороты, технические средства для равномерного внесения удобрений, комбинации использования минеральных удобрений с органическими удобрениями и мелиорантами и т. д.
– использование нетрадиционного и бедного сырья — совершенствование технологий добычи и обогащения с вовлечением труднодоступного, менее богатого и труднообогатимого сырья.

Эффективность использования искусственных ресурсов:

– использование вторичных энергоресурсов: тепла абсорбции в производстве серной кислоты, пара в производстве упаренной фосфорной кислоты, тепла химической реакции нейтрализации для упарки растворов аммиачной селитры и удобрений;
– использование вторичных материальных ресурсов, отходов, шлаков, осадков в производстве товарных продуктов: фосфогипса и осадка со станции нейтрализации в производстве цемента и строительных материалов; конверсионного мела в производстве бумаги и удобрений;
– разработка и использование энергоэффективного оборудования, более совершенного оборудования очистки выбросов и сбросов для уменьшения потерь целевых компонентов.

Эффективность использования трудовых ресурсов заключается в увеличении производительности труда, увеличении единичной мощности установок, оптимизации и автоматизации производственных процессов.

Эффективность использования финансовых ресурсов заключается в реализации высокоэффективных технологий с максимальным использованием сырьевых компонентов, полупродуктов и вторичных энергоресурсов; сокращении времени на реализацию и окупаемость проекта; создании продуктов с большой добавленной стоимостью (чистые / водорастворимые удобрения для гидропоники, кормовые фосфаты, бесхлорные удобрения и т. д.); вертикальной интеграции компаний, включая добычу сырья, производство удобрений, транспортировку и применение удобрений на собственных сельскохозяйственных предприятиях или отгрузку потребителю через развитую сеть региональных и зарубежных торговых представительств.

Эффективность использования информационных ресурсов — оптимизация производств с использованием цифровизации, автоматизации и работе с большими объемами данных; увеличение «интеллектуального капитала» компаний — собственные научно-исследовательские и проектные центры, патентование изобретений, полезных моделей, регистрация торговых марок; организационные мероприятия направленные на обучение, переподготовку и повышение квалификации сотрудников, создание базовых кафедр в вузах, поддержка одаренных студентов и молодых ученых, гранты на исследования и разработки.

Эффективность использования временных ресурсов заключается в достаточно широком понимании эффективного управления временем:

– быстрота реагирования на запросы рынка увеличивает конкурентоспособность компании — необходимо систематическое изучение конъюнктуры рынка с целью определения

наиболее востребованных и перспективных видов удобрений, проведение исследований и разработка необходимого ассортимента, гибкость производства и сокращение времени на переход с одной марки на другую, развитие логистических цепочек, складов сырья и готового продукта, терминалов и перевалочных пунктов, портового хозяйства;
– снижение времени реализации проектов и их окупаемости;
– вертикальная интеграция компаний с целью оптимизации управленческих решений, увеличения скорости принятия решений от добычи сырья до отгрузки готового продукта;
– увеличение доступности удобрений для основных потребителей — развитие сети торговых представительств и филиалов компаний, организация производств вблизи основных потребителей, вблизи транспортной инфраструктуры (портов), развитие сети региональных тукосмесительных установок и складов готовой продукции.

Резюмируя вышесказанное, можно констатировать, что в условиях неуклонного роста мирового населения обеспечение человечества растениеводческой продукцией, а также кормовой базой сельхозживотных, при ограниченных и зачастую сокращающихся площадях сельхозугодий и ресурсах, возможно только за счет интенсификации земледелия, которая немыслима без дальнейшего увеличения объемов производства минеральных удобрений и повышения ресурсо- и энергоэффективности. Отечественная туковая промышленность, безусловно, способна не только экспортировать минеральные удобрения, но и полностью покрыть потребность в них внутри страны даже на отдаленную перспективу при освоении интенсивных и высоких агротехнологий. Таким образом, перспектива развития отрасли удобрений заключается в комплексном подходе к эффективности использования всех видов ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Алейнов, Д. П.* Основные направления технического прогресса в азотной промышленности / Д. П. Алейнов // Химическая промышленность сегодня. — 2005. — № 9. — С. 3–16.
2. *Атрощенко, В. И.* Курс технологии связанного азота : учеб. для вузов / В. И. Атрощенко, А. М. Алексеев, А. П. Засорин [и др.] ; под ред. В. И. Атрощенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Химия, 1969. — 383 с.
3. *Атрощенко, В. И.* Технология азотной кислоты : учеб. пособие для вузов / В. И. Атрощенко, С. И. Каргин. — 3 -е изд., перераб. и доп. — М. : Химия, 1970. — 494 с.
4. *Бабкин, В. В.* Фосфорные удобрения России / В. В. Бабкин, А. А. Бродский. — М. : ТОО «Агрохим-принт», 1995. — 464 с.
5. *Баранова, Л. А.* Экологически чистое азотное удобрение / Л. А. Баранова // Агрохимия. — 2013. — № 3 (22). — С. 15–18.
6. *Бласяк, Е.* Технология связанного азота. Синтетический аммиак / Е. Бласяк, К. Лайдлер, С. Павликовский [и др.]. — М. : Госхимиздат, 1961. — 623 с.
7. *Бонне, М.* Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / М. Бонне, Н. Д. Заичко, М. М. Караваев [и др.] ; под ред. В. М. Олевского. — М. : Химия, 1985. — 400 с.
8. *Волкова, А. В.* Рынок минеральных удобрений. 1 квартал 2017 года [электронный ресурс] / А. В. Волкова ; НИУ «ВШЭ», Центр развития. — 59 с. — URL: https://dcenter.hse.ru/data/2017/07/26/1173626734/Рынок%20минеральных%20удобрений%20I%202017.pdf (дата обращения: 23.10.2019).
9. *Галлямов, Г. Р.* О возможности использования отходов, образующихся при получении биогаза в качестве удобрения / Г. Р. Галлямов, В. М. Лапушкин, С. П. Торшин // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : Мат-лы VI Всероссийской науч.-практ. конф., 2018. — С. 33–37.
10. *Ганз, С. Н.* Технологические процессы и оборудование производств синтез-газа и связанного азота : учеб. пособие для вузов / С. Н. Ганз ; под ред. В. И. Даля. — Харьков : Изд-во Харьк. Ордена трудового Красного знамени гос. ун-та им. А. М. Горького, 1960. — 550 с.
11. *Горловский, Д. М.* Технология карбамида / Д. М. Горловский, Л. Н. Альтшулер, В. И. Кучерявый. — Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1981. — 320 с.
12. *Гришаев, И. Г.* Способы аммонизации в технологии минеральных удобрений / И. Г. Гришаев, Л. З. Назирова, Б. Ф. Федюшкин. — М. : НИИТЭХИМ, 1988.

13. *Дохолова, А. Н.* Производство и применение аммофоса / А. Н. Долохова, В. Ф. Кармышов, Л. В. Сидорина. — М. : Химия, 1977. — 240 с.
14. *Забелешинский, Ю. А.* Экономика производства минеральных удобрений / Э. М. Цыпина, Ю. А. Забелешинский, Т. П. Унанянц. — М. : Химия, 1975. — 278 с.
15. *Забелешинский, Ю. А.* Эффективность производства и применения минеральных удобрений / Ю. А. Забелешинский, Н. С. Корогодов, Э. И. Цыпина. — М. : Химия, 1980. — 271 с.
16. *Завалин, А. А.* Преимущества и проблемы применения жидких азотных удобрений в земледелии / А. А. Завалин, Е. Н. Ефремов, А. А. Алферов, Л. Н. Самойлов, Л. С. Чернова, Г. Г. Благовещенская // Агрохимия. — 2014. — № 5. — С. 20–26.
17. *Иванов, М. Е.* Производство аммиачной селитры в агрегатах большой единичной мощности / М. Е. Иванов, В. М. Олевский, Н. Н. Поляков [и др.] ; под ред. В. М. Олевского. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Химия, 1990. — 286 с.
18. *Иванов, М. Е.* Технология аммиачной селитры / М. Е. Иванов, В. М. Олевский, Н. Н. Поляков [и др.] ; под ред. В. М. Олевского. — М. : Химия, 1978. — 311 с.
19. ИТС 2–2015 Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот / Росстандарт. — М. : Бюро НДТ, 2015. — 909 с.
20. *Караваев, М. М.* Справочник азотчика: Производство азотной кислоты. Производство азотных удобрений. Материалы, компрессоры и газгольдеры. Энергоснабжение. Данные о развитии азотной промышленности. Техника безопасности / М. М. Караваев, А. К. Чернышев, А. Ф. Ильченко [и др.] ; под ред. Е. Я. Мельникова. — 2-е изд., перераб. — М. : Химия, 1987. — 464 с.
21. *Кармацких, А. А.* Обзор удобрений на основе мочевины с контролируемым высвобождением азота / А. А. Кармацких, Д. С. Редозубов // Вестник ГАУ Северного Зауралья. — 2017. — № 2 (37). — С. 63–66.
22. Кармышов, В. Ф. Химическая переработка фосфоритов / В. Ф. Кармышов. — М. : Химия, 1983. — 304 с.
23. *Кидин, В. В.* История агрохимии. учебное пособие / В. В. Кидин. — М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. — 270 с.
24. *Кирюшин, В. И.* Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования / В. И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. — 2016. — Т. 30, № 3. — С. 19–25.
25. *Классен, П. В.* Основные процессы технологии минеральных удобрений / П. В. Классен, И. Г. Гришаев. — М. : Химия, 1990. — 304 с.
26. *Козел, Е. Г.* Эффективность применения новой формы капсулированной мочевины под столовую свеклу на выщелоченных черноземах тюменской области : автореф. ... дисс. канд. с.-х. наук : 06.01.06 / Е. Г. Козел. — Тюмень, 2000. — 17 с.
27. *Копылов, В. А.* Производство двойного суперфосфата / В. А. Копылов, Т. И. Завертяева, А. М. Андрейченко [и др.]. — М. : Химия, 1976. — 192 с.
28. *Копытова, Е. Д.* Тенденции развития отрасли минеральных удобрений в России / Е. Д. Копытова // Социальное пространство. — 2006. — № 4 (06). — С. 1–16.
29. *Кочетков, В. Н.* Фосфорсодержащие удобрения : справочник / В. Н. Кочетков. — М. : Химия, 1982. — 400 с.
30. *Кудинова, О.* Минеральные удобрения — текущая ситуация и прогноз / О. Кудинова // The Chemical Journal. — 2015. — ноябрь. — URL: https://docplayer.ru/44173083-Mineralnye-udobreniya-tekushchaya-situaciya-i-prognoz.html (дата обращения: 23.10.2019).
31. *Кузнецов, Л. Д.* Синтез аммиака / Л. Д. Кузнецов, Л. М. Дмитриенко, П. Д. Рабина [и др.] ; под ред. Л. Д. Кузнецова. — М. : Химия, 1982. — 296 с.
32. *Кучерявый, В. И.* Синтез и применение карбамида / В. И. Кучерявый, В. В. Лебедев. — Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1970. — 448 с.
33. *Лапушкин, В. М.* Использование яровой пшеницей азота минеральных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / В. М. Лапушкин, В. А. Нестеренко // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : Мат-лы VI Всероссийской науч.-практ. конф. — 2018. — С. 124–127.
34. *Лапушкин, В. М.* Современное состояние и перспективы развития применения минеральных удобрений в России / В. М. Лапушкин, С. П. Торшин, В. В. Кидин. — Мат-лы X междунар. науч.-практ. конф. «Современные тенденции в производстве и применении фосфорсодержащих удобрений и неорганических кислот». — М. : НИУИФ, 2015. — С. 5–11.
35. *Липин, А. Г.* Капсулирование гранул в полимерные оболочки как метод создания минеральных удобрений с регулируемой скоростью высвобождения питательных веществ / А. Г. Липин, В. О. Небукин, А. А. Липин // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. — 2017. — № 3 (51). — С. 86–91.
36. *Мельников, Е. Я.* Технология неорганических веществ и минеральных удобрений : учеб. для техникумов / Е. Я. Мельников, В. П. Салтанова, А. М. Наумова [и др.]. — М. : Химия, 1983. — 432 с.
37. *Минеев, В. Г.* Агрохимия и биосфера / В. Г. Минеев. — М. : Колос, 1984. — 245 с.
38. Новые формы удобрений // НИИК [официальный веб-сайт]. — URL: https://niik.ru/technology/new-forms-of-fertilizer/ (дата обращения: 23.10.2019). — Загл. с экрана.
39. *Овчаренко, М. М.* Агрохимия и плодородие / М. М. Овчаренко // The Chemical Journal. — 2014, нояб. — С. 22–25.

40. *Патрикеева, Н. И.* Развитие энергосберегающих процессов производства аммиака в капиталистических странах / Н. И. Патрикеева // Химическая промышленность. — 1990. — № 10. — С. 55–59.
41. *Позин, М. Е.* Технология минеральных удобрений / М. Е. Позин. — Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1974. — 375 с.
42. Прогнозная оценка окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля в зависимости от агрохимических свойств почв. Нормативная документация / под ред. В. Г. Сычева ; ФАНО, ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. — М., 2014. — 86 с.
43. *Прянишников, Д. Н.* Избранные сочинения : в 3 т. / Д. Н. Прянишников. — М. : Колос, 1965.
44. Развитие химической промышленности в СССР. 1917–1980 : в 2 т. Т. 2 : Развитие отдельных отраслей химической промышленности / под ред. Л. А. Костандова, Н. М. Жаворонкова. — М. : Наука, 1984. — 400 с.
45. Распоряжение Правительства РФ от 29 марта 2018 г. № 532-р «О плане мероприятий (“дорожная карта”) по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года» // Гарант.ру : информационно-правовой портал. — 2018. — URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71811704/ (дата обращения: 23.10.2019).
46. *Резванов, А.* Краткий прогноз развития рынка удобрений в 2019 году / А. Резванов, А. Викторов // FertilizerDail [сайт]. — 3 с. — URL: https://fertilizerdaily.ru/files/reports/fertilizerdaily.ru_2019_forecast.pdf (дата обращения: 23.10.2019).
47. *Сабиров, А. А.* Инновационные минеральные удобрения и установление их экономической эффективности в сельском хозяйстве / А. А. Сабиров, А. М. Сабиров, Р. Х. Хузиахметов, Е. И. Царегородцев // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). — 2015. — № 4 (13). — С. 164–167.
48. *Сергеев, С. П.* Аммиачные агрегаты в России (часть 1) / С. П. Сергеев // NewChemystry.ru. Новые химические технологии : аналитический портал. — URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=4659&cat_id=&sword=аммиачные агрегаты (дата обращения: 23.10.2019).
49. *Шекунова, С. Ф.* Система применения удобрений. Дипломное и курсовое проектирование: учебное пособие для студентов агроэкологического и агрономического факультетов / С. Ф. Шекунова, И. Р. Вильдфлуш, Т. Ф. Персикова, В. В. Лапа, Г. М. Сафроновская, С. П. Кукреш, С. Ф. Кукреш-Ходянкова. — Горки : БГСХА, 2009. — 150 с.
50. События истории компании // Уралхим [официальный веб-сайт]. — [2018]. — URL: http://www.uralchem.ru/about/history/ (дата обращения: 23.10.2019). — Загл. с экрана.
51. *Соколовский, А. А.* Краткий справочник по минеральным удобрениям / А. А. Соколовский, Т. П. Унанянц. — М. : Химия, 1977. — 376 с.
52. *Соколовский, А. А.* Технология минеральных удобрений и кислот / А. А. Соколовский, Е. В. Яшке. — М. : Химия, 1974. — 456 с.
53. Статистические материалы развития агропромышленного производства России. — М. : Россельхозакадемия, 2013. — 35 с.
54. *Сычев, В. Г.* Прогноз потребности сельского хозяйства России в минеральных удобрениях к 2030 г. / В. Г. Сычев, С. А. Шафран, Т. М. Духанина // Плодородие. — 2016. — № 2. — С. 5–7.
55. *Торшин, С. П.* Эффективность новых PKS-удобрений на дерново-подзолистых почвах при внесении их под яровой ячмень (вегетационные опыты) / С. П. Торшин, В. В. Соколов, В. М. Лапушкин, В. В. Кидин // Мат-лы международной науч.-практ. конф. «Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения». ФГБОУ ВПО НГСХА, Н. Новгород, 31 мая — 2 июня 2017 г. — С. 142–145.
56. *Филисюк, Г. Н.* Получение и эффективность применения новой формы капсулированной мочевины под картофель на выщелоченном черноземе тюменской области : автореф. ... дисс. канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Г. Н. Филисюк. — Тюмень, 2014. — 21 с.
57. «ФосАгро» обсудила перспективы развития отрасли минеральных удобрений и АПК с ведущими российскими научными организациями // «ФосАгро» [официальный веб-сайт]. — 2018. — URL: https://www.phosagro.ru/press/company/item16584.php (дата обращения: 23.10.2019). — Загл. с экрана.
58. Химизация сельского хозяйства (экономическо-статистический сборник). — Вып. 5. — М. : НИИТЭХИМ, 1982. — 216 с.
59. *Эвенчик, С. Д.* Технология фосфорных и комплексных удобрений / С. Д. Эвенчик, А. А. Бродский. — М. : Химия, 1987. — 464 с.