Приллированный и гранулированный карбамид: свойства и перспективы

ТЕКСТ: Н.В. ЧЕБЛАКОВ, Ю.А. СЕРГЕЕВ, А.В. СОЛДАТОВ,
ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ КАРБАМИДА И ПРОДУКТОВ ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА»

Применение карбамида для сельскохозяйственных и промышленных целей определяет необходимость получения его в товарных формах, обеспечивающих свободную сыпучесть при использовании и отсутствие слеживания при хранении. Этим требованиям удовлетворяют промышленные процессы получения карбамида в приллированном (путем разбрызгивания в воздушной среде расплава, капли которого затвердевают в процессе падения) и гранулированном виде (путем окатывания в кипящем слое в барабанных или тарельчатых грануляторах).

На сегодняшний день в мировой практике получили наибольшее распространение способы получения карбамида методом приллирования в башнях и гранулирования в кипящем слое. При этом необходимо отметить что с конца 90-х гг. XX в. в мире наблюдается тенденция к увеличению объемов строительства установок гранулирования в кипящем слое.

Возникает вопрос: неужели башни приллирования с технологической точки зрения на сегодняшний день уже устарели и способы получения карбамида с применением установок гранулирования в кипящем слое действительно настолько привлекательней и технологичней?

Приллирование — это наиболее простой способ получения товарного карбамида, заключающийся в охлаждении сферических капель расплава, находящихся в свободном падении, и их кристаллизации во встречном потоке охлаждающего воздуха

Рис. 1.
Современная (слева) и старая (справа) башни приллирования

Рис. 2.
Современная башня приллирования конструкции ОАО «НИИК»

Ответить на этот вопрос можно, сравнив эффективность технологий получения приллированного и гранулированного карбамида: технический уровень используемого оборудования, качество продукта, энергозатраты и другие показатели.

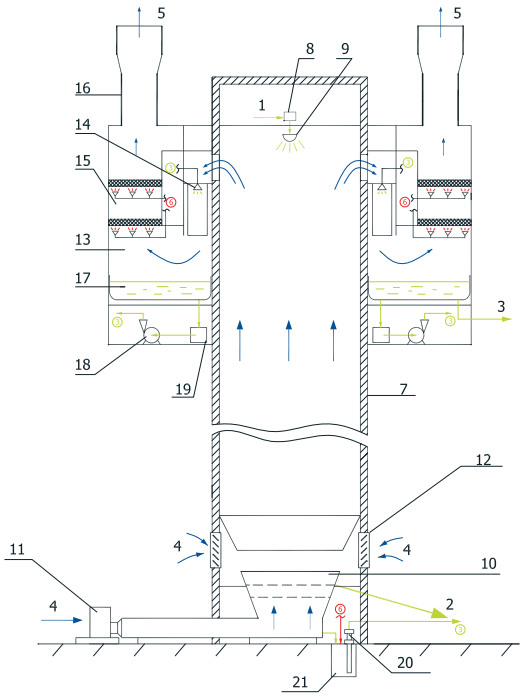
История

Приллирование — это наиболее простой способ получения товарного карбамида, заключающийся в охлаждении сферических капель расплава, находящихся в свободном падении, и их кристаллизации во встречном потоке охлаждающего воздуха. Данный способ получения карбамида прошел несколько стадий развития — от зачаточного (примитивного) состояния до современного — высокотехнологичного (рис. 1).

Первые, так называемые старые башни приллирования представляли собой железобетонные сооружения высотой до 40 м, оснащенные диспергатором плава для его разбрызгивания, скребковым устройством для выгрузки продукта и вентиляторами для подачи в башню и отвода из нее охлаждающего воздуха. Требования времени выявили недостатки данных башен и определили основные направления развития способа приллирования: интенсификация процесса, улучшение качества получаемого продукта (снижение температуры получаемых прилл, увеличение их размера и прочности), снижение количества выбросов вредных веществ, таких как аммиак и карбамид, увеличение производительности.

С 1968 по 1980 г. на опытном заводе ОАО «НИИК» была создана и эксплуатировалась установка гранулирования карбамида и сложных удобрений в кипящем слое. Ввиду ряда существенных недостатков этого метода в 1980 г. было принято решение о закрытии этого направления гранулирования и

Рис. 3.
Схема башни приллирования конструкции ОАО «НИИК»



Обозначения:
1 — плав карбамида;
2 — товарный приллированный карабамид;
3 — раствор карбамида;
4 — атмосферный воздух;
5 — очищенный отработанный воздух в атмосферу;
6 — десорбированная сточная вода после узла очистки сточных вод или паровой конденсат;
7 — ствол башни приллирования;
8 — фильтр плава карбамида;
9 — диспергатор вибрационного типа;
10 — аппарат охлаждения прилл в кипящем слое;
11 — вентилятор дутьевой;
12 — окна для подсоса атмосферного воздуха;
13 — очистное устройство;
14 — первая зона очистного устройства;
15 — вторая зона очистного устройства;
16 — трубы вытяжные;
17 — ванная очистного утройства;
18 — насосы раствора карбамида;
19 — фильтры раствора карбамида;
20 — насос погружной;
21 — сборник

строительстве новых высокопроизводительных башен с увеличенной высотой полета частиц, со встроенным аппаратом охлаждения прилл в кипящем слое и очистным устройством. За 25 лет было построено шестнадцать новых (рис. 2) и реконструировано четыре старые башни приллирования в различных климатических и геодезических условиях (Африка, Азия, Европа), которые сейчас выпускают карбамид высокого качества, пользующийся большим спросом на мировом рынке.

Начиная с 70-х гг. XX в. иностранными фирмами, как в свое время и в ОАО «НИИК», был взят курс на развитие способа гранулирования в кипящем слое.

Данный способ получения товарных форм удобрений сводится к распылению и последующему многократному наслаиванию капель плава на «затравочные» (твердые) частицы некондиционного продукта (ретура) с образованием гранул по форме близкой к сферической и последующему их охлаждению.

В конце 70-х гг. иностранными фирмами проводились научно-исследовательские работы по разработке технологии получения гранулированного продукта, а также было осуществлено строительство и пуск нескольких пилотных и опытно-промышленных установок гранулирования.

В 80-е гг. была разработана технология создания крупнотоннажных установок гранулированного карбамида, и с начала 90-х гг. началось строительство промышленных установок гранулирования, которые в настоящее время, как и башни приллирования, выпускают продукт высокого качества, занявший определенную нишу на рынке карбамида.

Технология получения приллированного карбамида

Современная башня приллирования конструкции ОАО «НИИК» (рис. 3) представляет собой инженерно-техническое сооружение высотой до 114 м и диаметром до 16 м и более, в зависимости от производительности (до 2100 т/сут и более), простое и надежное в эксплуатации.

В нижней части башни, практически по всему поперечному сечению, устанавливается встроенный аппарат охлаждения прилл в кипящем слое с подводящими воздуховодами и дутьевыми вентиляторами для подачи воздуха в аппарат охлаждения. Над ним предусматриваются окна для подачи дополнительного количества атмосферного воздуха, а также, в случае необходимости, монтируется направляющий конус. В верхней части башни имеется перекрытие, в центре которого расположен центробежный разбрызгиватель плава современной конструкции с наложением на плав вибрации, позволяющий получать продукт монодисперсного состава с основным размером прилл 2,5-3,0 мм. Чуть ниже перекрытия располагаются окна для входа отработанного воздуха в очистное устройство. В качестве очистного устройства используется система очистки инжекционного типа конструкции ОАО «НИИК». Очистка воздуха осуществляется в двух последо-

Рис. 4.
Башня приллирования с железобетонным (слева) и металлическим (справа) стволами

Рис. 5.
Строительство башни с железобетонным стволом методом скользящей опалубки в Алжире

вательно расположенных зонах. В первой зоне отработанный воздух промывается раствором карбамида, распыляемым форсунками, каждая из которых помещена в цилиндрическую обечайку для более эффективного контакта фаз. После первой зоны очистки воздух проходит через два расположенных по ходу его движения слоя сеточных брызгоуловителей — вторая зона очистки — и за счет тяги выбрасывается в атмосферу через вытяжные трубы.

Ствол башни приллирования по желанию заказчика может быть выполнен из железобетона или металлоконструкций (рис. 4). В случае строительства башни с железобетонным стволом его бетонирование осуществляется методом скользящей опалубки (рис. 5) с использованием специальных добавок, улучшающих прочностные свойства бетона.

Рис. 6.
Установка гранулирования карбамида*

Технология получения гранулированного карбамида

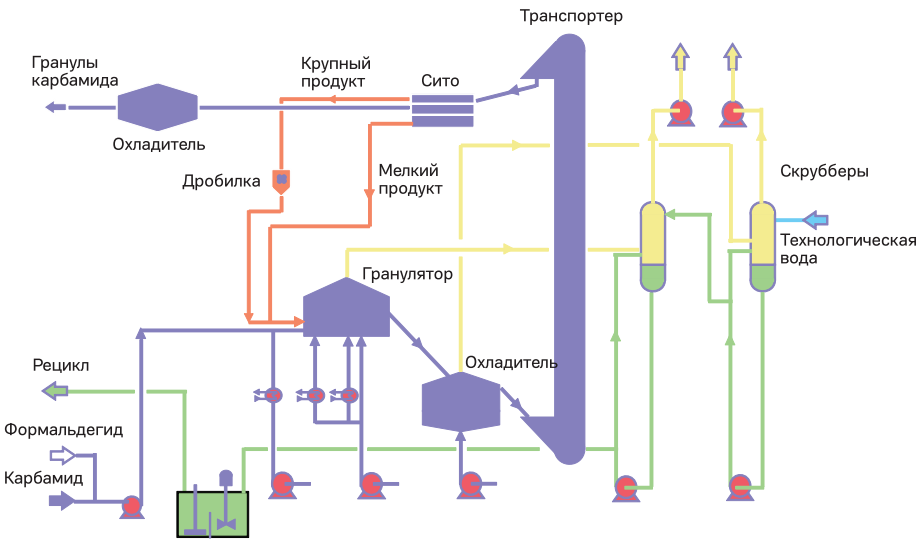
В настоящее время известны установки для получения гранулированного карбамида таких фирм, как «Стамикарбон», «ТЕС» и других.

Установки гранулирования (рис. 6) различных фирм имеют одинаковые стадии процесса и отличаются друг от друга в основном только конструкцией гранулятора.

Работа установки гранулирования карбамида в кипящем слое осуществляется по схеме, представленной на рис. 7.

Плав карбамида с карбамидо-формальдегидной добавкой после узла выпаривания с помощью насосов подается в узел гранулирования в кипящем слое. Данный узел состоит из одного аппарата — гранулятора, имеющего две зоны: зону гранулирования и зону охлаждения. В зону гранулирования подаются «затравочные» частицы — ретур, представляющий собой некондиционный продукт после стадии классификации, плав карбамида после узла выпаривания и охлаждающий воздух. В данной зоне гранулятора происходит напыление капель плава карбамида на затравочные частицы посредством разбрызгивания последнего с помощью форсунок. При движении гранул по зоне гранулирования происходит постепенное увеличение их размера за счет многократного наслаивания пленок до достижения желаемого диаметра гранул. Затем гранулированный продукт поступает из зоны гранулирования в зону охлаждения. В этой зоне происходит охлаждение гранул до промежуточной температуры за счет подаваемого с помощью вентиляторов охлаждающего атмосферного воздуха. После охладителя гранулы карбамида посредством ковшового элеватора направляются на стадию классификации. На этой стадии происходит рассев частично охлажденного продукта по фракциям. Фракции делятся на мелкую, крупную и с заданным размером гранул. Гранулы мелкой фракции после стадии классификации направляются в качестве ретура в гранулятор, а гранулы крупной — предварительно размалывают на валках и только потом направляют в гранулятор. Конечный продукт — гранулы с заданным размером транспортируют на стадию окончательного охлаждения. На данной стадии происходит охлаждение гранул хладагентом с температурой 7-10°С. После охлаждения продукта до температуры 40-50°С товарный карбамид отправляется на склад или отгрузку. Для очистки отработанного воздуха предусмотрены два скруббера. В первом происходит очистка воздуха после гранулятора, во втором — после предварительного и «хвостового» охладителя.

Рис. 7.
Схема установки гранулирования карбамида в кипящем слое



*** В статье использованы материалы презентаций фирмы «Стамикарбон» от 2007 г. по установкам получения гранулированного карбамида.**

Очистка воздуха в скрубберах осуществляется за счет промывки циркулирующим раствором карбамида.

Сравнительные характеристики и показатели работы установок

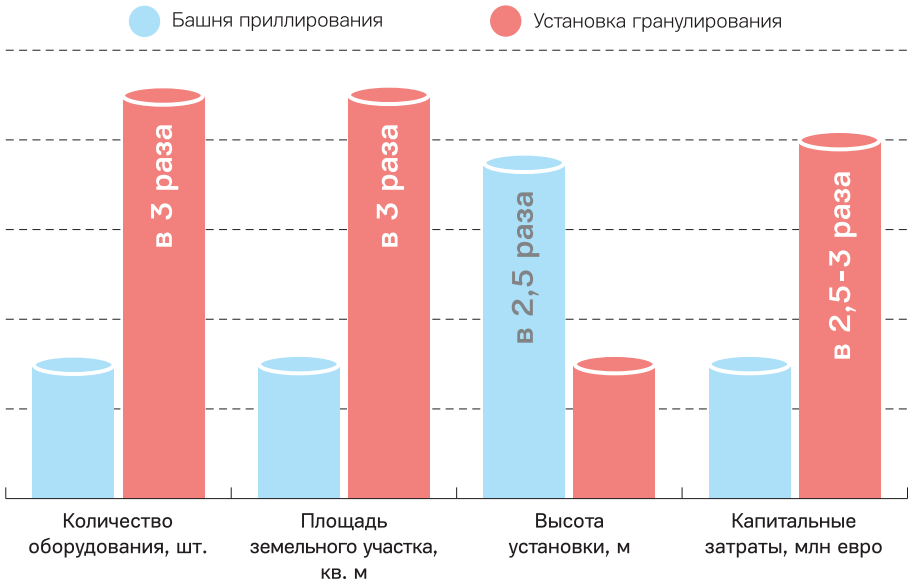
Способ приллирования и способ гранулирования, как и каждый из продуктов, полученных данными способами, имеют свои преимущества и недостатки. Сравнение рассматриваемых способов получения товарного карбамида корректно проводить в диапазоне мощностей от 1500 до 2000 т/сут, поскольку именно в этом интервале работает большинство установок как по той, так и по другой технологии.

Главный недостаток грануляции - многостадийность процесса получения готового продукта (табл. 1) — объясняется образованием большого количества агломерированных частиц и гранул широкого спектра размеров в грануляторе кипящего слоя. Для получения монодисперсного состава товарного гранулированного карбамида необходимо проводить его классификацию с отсевом некондиционной фракции.

Следствием данного обстоятельства является наличие в грануляционных установках большого количества динамического оборудования, отсутствующего в башнях приллирования, необходимого для классификации гранул с последующим размолом и возвратом ретура в гранулятор (рис. 8). Наличие в грануляции втрое большего количества оборудования, по сравнению с башней, и его габариты вызывают необходимость освоения значительной площади земельного участка для грануляционной установки, что в итоге определяет капитальные затраты на ее строительство, которые в 2,5-3 раза больше, чем капитальные затраты на строительство одной башни приллирования. И это несмотря на то, что башни в 2,5 раза выше установок гранулирования. Имея высоту до 114 м, башни конструкции ОАО «НИИК» устойчивы к землетрясениям до 9 баллов по шкале Рихтера и порывам ветра до 145 км/час. Вдумайтесь в эти цифры. Не каждая грануляционная установка может похвастаться такой стойкостью к природным катаклизмам.

Одним из преимуществ способа приллирования является возможность получения товарного карбамида без использования подачи в установку пара, хладагента для

Рис. 8.
Сравнительные характеристики установок



охлаждения продукта и формальдегидсодержащего вещества (табл. 2). Отсутствие подачи данных ресурсов в башню, а также в 3,5 раза меньшие затраты электроэнергии обуславливают более низкую себестоимость приллированного карбамида.

Еще раз обращаем внимание на то, что в грануляции обязательна подача в плав карбамида формальдегидсодержащей добавки, которая в своем составе имеет канцерогенное вещество — формальдегид. Это создает дополнительные сложности по организации узла слива добавки, ее хранения и подачи в плав, а также ограничивает область применения карбамида. В России данная добавка относится ко второму классу опасности.

> Обращаем внимание на то, что в грануляции обязательна подача в плав карбамида формальдегидсодержащей добавки, которая в своем составе имеет канцерогенное вещество — формальдегид

Интенсивно образующаяся пыль карбамида в грануляторе кипящего слоя, а также «летящие» пары формальдегида предопределяют забив-

Табл. 1.
Основные стадии процесса грануляции

Наименование стадий	Приллирование	Грануляция
Секция выпарки	+	+
Распыление плава	+	+
Охлаждение	+	+
Очистка	+	+
Классификация	–	+
Дробилки	–	+
Возврат ретура	–	+
Окончательное охлаждение	–	+

Табл. 2.
Технико-экономические показатели

Подача ресурсов в установку	Башня приллирования	Установка гранулирования
Пар на технологию, т/т	0	0,05-0,12
Пар на упаривание раствора из очистного устройства установки, т/т	0,01-0,02	0,035-0,045
Формальдегидсодержащая добавка в плав, кг/т	0	5,0-8,0
Количество ретура, % от производительности	0	не менее 50
Электроэнергия, кВт/т	15-18	30-60
Себестоимость продукта	Более низкая	Более высокая

Рис. 9.
Отложения в грануляторе*

Рис. 10.
Отсутствие отложений в башне приллирования

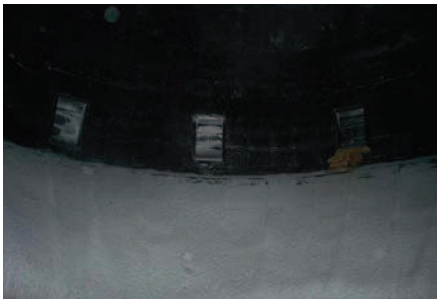
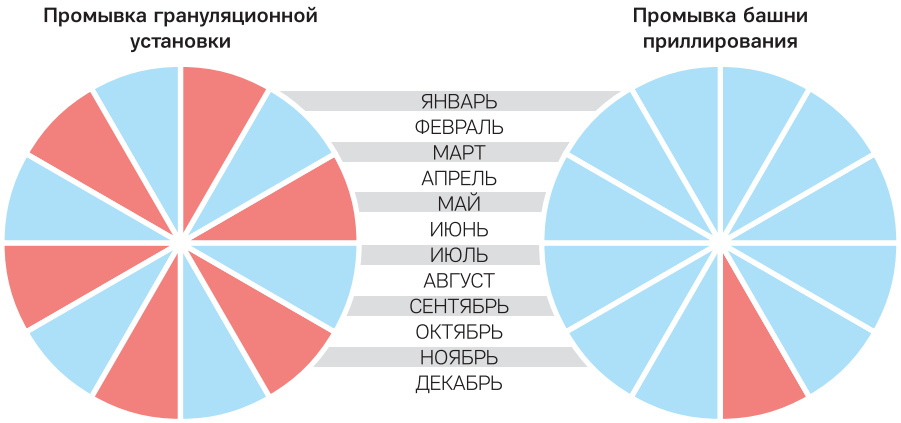


Рис. 11.
Частота промывки установок



ку этими веществами газоходов и оборудования (рис. 9). В результате появляется необходимость частых остановок на промывку грануляции, в среднем один раз в два месяца, что является существенным недостатком, тогда как в башнях приллирования отложения карбамида практически отсутствуют (рис. 10). Ее промывка осуществляется один раз в год во время остановок на проведение планового капитального ремонта цеха карбамида (рис. 11).

Различная интенсивность отложений в установках обуславливает и различия в штате ремонтно-обслуживающего персонала. Так, для грануляции он необходим, а для башни приллирования необязателен. Ее может обслуживать один человек, совмещающий исполнение этих обязанностей с другими. На многих предприятиях производства карбамида должность аппаратчика приллирования ликвидирована. За процессом следят в ЦПУ по мониторам, передающим информацию о работе оборудования башни с помощью установленных по месту телекамер.

Сравнение нормируемых показателей качества готового продукта (табл. 3) показывает, что приллированный карбамид уступает гранулированному только по прочности гранул.

Табл. 3.
Показатели качества товарного продукта

Показатель	Приллирование	Грануляция
Готовый продукт:		
– содержание азота, %	46,2-46,4	не более 46,2
– содержание биурета, %;	0,8-1,0	0,8-1,0
– содержание воды, %;	0,35-0,5	0,35-0,5
– основная фракция, мм;	2,5-3,0	2,0-4,5
– содержание основной фракции, % вес. ;	не менее 95	не менее 95
– статическая прочность прилл (гранул), кгс/гранула;	1,0-1,3	3,0-3,5
– температура продукта, °С	для $d_{гр}$ = 3,0 мм 40-50	для $d_{гр}$ = 3,0 мм 40-50
Форма продукта	сферическая	не сферическая

Однако прочные гранулы медленнее растворяются в почве, что может быть полезно при выращивании риса, но вряд ли целесообразно для овощей и зерновых культур. По таким показателям, как содержание азота, биурета, воды, температура продукта и т.п., эти две формы находятся, как говорится, в одной весовой категории. Сферичность формы гранул хоть и не является нормируемым показателем, служит существенным фактором при «сухом» тукосмешении и равномерности внесения удобрения в почву. Гранулы не являются сферами, в то время как прилы имеют гладкую сферическую поверхность (см. рис. 12).

С точки зрения устойчивости к механическим воздействиям при транспортировке и хранении приллированный и гранулированный продукты достаточно близки.

Что касается выбросов вредных веществ в атмосферу, то здесь стоит отметить следующее. При фактическом равенстве расходов воздуха, подаваемого в установки, выбросы карбамида после них находятся примерно на одном уровне. А вот выбросов аммиака с башен приллирования производится в три раза меньше, чем с установок гранулирования, что является одним из преимуществ башен (рис. 13).

Маркетинг и экономика

При появлении в конце прошлого века на рынке гранулированного карбамида его цена превышала цену приллированного. Более высокую себестоимость гранулированного продукта компенсировала более высокая цена на него.

За последние годы разница в ценах между тем и другим продуктом изменилась. При вводе новых крупных мощностей на Ближнем Востоке и в Азии предложение на рынке гранулированного карбамида превысило его спрос. Уменьшение же доли приллированного, наоборот, увеличило спрос и, соответственно, его цену. В настоящее время наблюдается фактическое равенство цен на приллированный и гранулированный карбамид. По всей видимости, здесь существенную роль играет тот фактор, что не во всех областях применения карбамида может быть использован гранулированный продукт. Прежде всего, из-за невозможности его получить без формальдегидсодержа-

Рис. 12.
Форма гранул (слева) и прилл (справа)

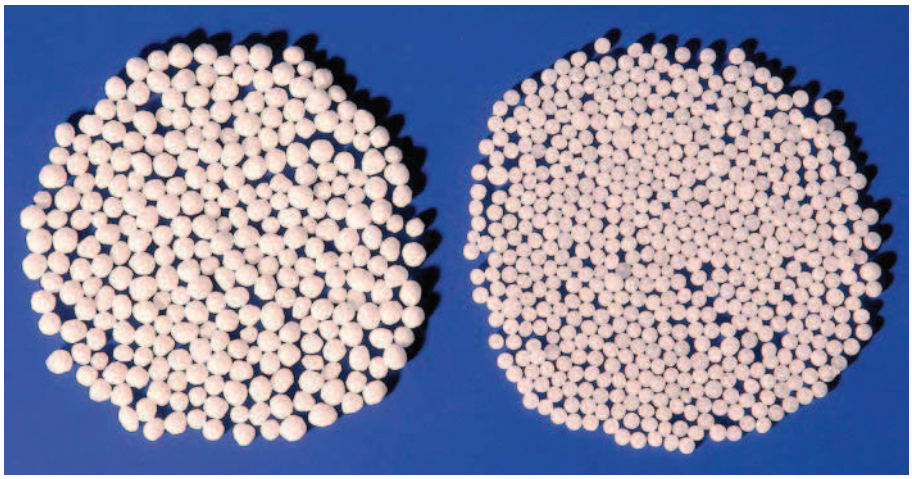


Рис. 13.
Выбросы карбамида и аммиака в атмосферу

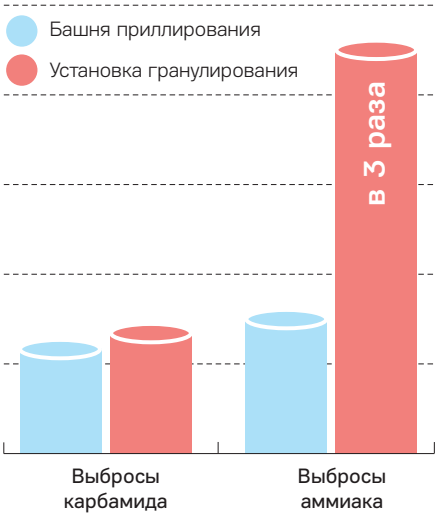
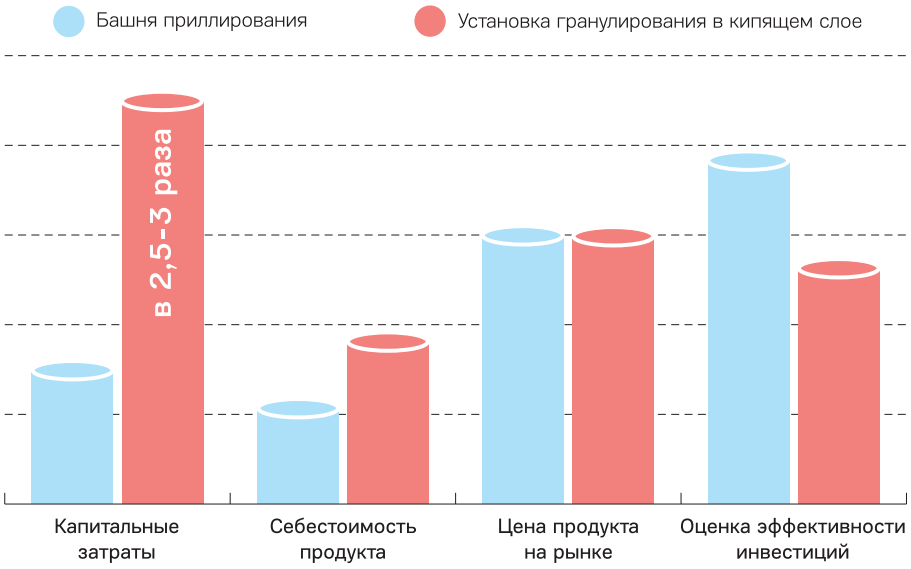


Рис. 14.
Оценка эффективности проектов строительства установок



щей добавки, а также из-за повышенной прочности гранул. Эти недостатки в применении гранулированного карбамида ощутили в большинстве своем производители карбамидных смол, фармацевтической продукции и ряд других. Невозможно использование гранулированного карбамида с добавкой формальдегида для производства раствора AdBlue, снижающего токсичность автомобильных выхлопов. Перспективный рынок карбамида для производства этого продукта оценивается в миллионы тонн.

Выводы

Несомненны преимущества способа приллирования. На цеховой площадке не составит особого труда разместить башню приллирования. Металлическую башню в случае необходимости можно демонтировать вместе с оборудованием и провести утилизацию или продажу. Процесс получения товарного продукта протекает без образования некондиции, а также твердых и жидких отходов. В результате чего башня оснащается небольшим количеством оборудования, простым и надежным в эксплуатации и обслуживании, с длительным «пробегом» между промывками, что предопределяет содержание минимального штата ремонтно-обслуживающего персонала и низкие эксплуатационные затраты. Для производства прилл не требуется постоянное паропотребление, хладагент и формальдегид, что обуславливает меньшую себестоимость продукта. Минимальные выбросы в атмосферу, высокое качество приллированного карбамида, а также возможность строительства установок в широком диапазоне мощностей (от 600 до 2100 т/сут) и более, при низком уровне капитальных затрат на их строительство, определяет то, что башни не устарели сегодня и весьма перспективны завтра!

За последние годы разница в ценах между тем и другим продуктом изменилась. При вводе новых крупных мощностей на Ближнем Востоке и в Азии предложение на рынке гранулированного карбамида превысило его спрос

К преимуществам грануляции можно отнести разве что возможность получения продукта с увеличенной прочностью.

Однако стоит отметить, что использование данной технологии для установок производительностью 1500 т/сут и ниже недостаточно эффективно из-за высоких удельных капитальных и эксплуатационных затрат.

Поэтому при принятии решения о строительстве установки по той или иной технологии необходимо все-таки принимать во внимание такие факторы, как эффективность инвестиций (рис. 14).

При фактическом равенстве цен на приллированный и гранулированный карбамид эффективность проекта грануляции минимальна из-за более высокой себестоимости гранулированного продукта и в 2,5 и более раз увеличенных капитальных затрат на этот про-

Табл. 4.

Референции ОАО «НИИК» по башням приллирования производства карбамида

Заказчик	Год пуска	Мощность, т/сут.
ЧХЗ «Корунд», г. Дзержинск (РФ)	1971	700
ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», г. Салават (РФ)	1976	808
ОАО «Максам-Чирчик», г. Чирчик (Узбекистан)	1986	808
ЗАО «ТольяттиАзот», г. Тольятти (РФ)	1986	808
ОАО «Северодонецкий Азот», г. Северодонецк (Украина)	1986	808
ОАО «Акрон», г. Великий Новгород (РФ)	1986	1000
ОАО «ГродноАзот», г. Гродно (Беларусь)	1986	808
АО «Ахема», г. Ионава (Литва)	1986	808
ЗАО «Северодонецкий Азот», г. Северодонецк (Украина)	1986	1000
ОАО «Одесский припортовый завод», г. Одесса (Украина)	1985, 1986	1000, 1000
ОАО «ДнепрАзот», г. Днепродзержинск (Украина)	1986	1000
ОАО «ФерганаАзот», г. Фергана (Узбекистан)	1986	1000
ОАО «ГродноАзот», г. Гродно (Беларусь)	1987	1000
ОАО «Концерн Стирол», г. Горловка (Украина)	1993	1000
ОАО «Невинномысский Азот», г.Невинномысск (РФ) (реконструкция)	1997	1200
ОАО «Концерн Стирол», г. Горловка (Украина) (реконструкция)	1997	1750
ОАО «Череповецкий Азот», г. Череповец (РФ)	1998	1000
«Ферталж Индастри», (Алжир)	2002	1200
ОАО «НАК «Азот», г. Новомосковск (РФ) (реконструкция)	2005	1200
ОАО «Акрон», г. Великий Новгород (РФ) (реконструкция)	2006-2007	1500
ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», г. Салават (РФ) (реконструкция)	2007	1000
ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», г. Салават (РФ) (планируется реконструкция)	2010	1350
ОАО «Невинномысский Азот», г. Невинномысск (РФ) (планируется реконструкция)	2010	1500
ОАО «КуйбышевАзот», г. Тольятти (РФ) (планируется реконструкция)	2010	1000
ОАО «Череповецкий Азот», г.Череповец (РФ) (начато строительство)	2011	1500
г. Северодонецк (Украина) (планируется реконструкция)	2010-2011	1500
ОАО «Гродно Азот», г. Гродно (Беларусь) (планируется реконструкция)	2010-2011	1200-1500
Кемеровское ОАО «Азот», г. Кемерово (РФ) (планируется реконструкция)	2011	2000
ОАО «Невинномысский Азот», г. Невинномысск (РФ) (планируется реконструкция)	2011	1500

Установки гранулирования в кипящем слое менее привлекательны и технологичны, чем башни приллирования, которые конкурентоспособны и являются превосходным средством для получения качественной товарной формы карбамида

ект. Другими словами, за те же деньги вы можете построить не одну грануляционную установку, а две или даже три башни приллирования той же мощности.

Таким образом, как показывает опыт эксплуатации и проведенный анализ способов получения карбамида, башни приллирования практически по всем показателям превосходят установки гранулирования, а приллированный продукт по своим физико-механическим свойствам не уступает гранулированному.

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что каждая из рассмотренных в данной статье товарных форм карбамида имеет право на жизнь, т. к. для каждой из них есть свои достоинства и свои потребители.

Тем не менее, последние данные о рынке карбамида свидетельствуют о том, что приллирование в настоящее время является главным способом получения товарного карбамида. Около 70% карбамида в мире производится в виде прилл, а не гранул.

Современные технологии ОАО «НИИК» позволяют сегодня получать продукт в башнях приллирования (табл. 4) гораздо лучшего качества, чем в прошлом веке: приллы имеют в два раза большую прочность (1,0-1,2 кгс/гранулу против 0,5-0,6 кгс/гранулу и более крупный размер (основная фракция 2,5-3,0 мм против 1,0-2,0 мм).

На основании изложенного можно констатировать, что установки гранулирования в кипящем слое менее привлекательны и технологичны, чем башни приллирования, которые конкурентоспособны и являются превосходным средством для получения качественной товарной формы карбамида.