

УДК 667.661.13, 658.14

**ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ГРАНУЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ МЕТОДОМ  
ПРИЛЛИРОВАНИЯ**

*А. И. Краевский, В. А. Осипов, Н. П. Кононенко, А. А. Краевский,  
Сумский государственный университет, г. Сумы*

*Рассмотрены вопросы аппаратного оформления и технологии процесса гранулирования азотных удобрений из расплава с добавками методом приллирования на вращающихся вибрационных грануляторах. Практический интерес представляют рабочие органы гранулятора, за счет которых стабилизируются движение плава и его диспергация, уменьшается пено- и пылеобразование при производстве продукции.*

***Ключевые слова:** экономическая эффективность, грануляционное оборудование, азотные удобрения, вибрационный гранулятор.*

Дальнейшее развитие народного хозяйства Украины тесно связано с вопросами энергетического обеспечения производств и их экологической безопасностью. На протяжении десятилетий формирование промышленного комплекса происходило с учетом наличия доступных и дешевых источников энергоносителей. Поэтому развитие производства в области энергопотребления, в том числе и химических предприятий, происходило экстенсивным путем и без учета экологического фактора целесообразности. Несмотря на то, что химическая промышленность дает около 6% внутреннего валового продукта и 13% общего экспорта, она есть одним из ключевых энергозатратных секторов в промышленности Украины. Химическая промышленность занимает третье место по общему энергопотреблению и составляет почти 11% от общей частицы затрат топлива. Энергоемкость продукции действующих производств в 1,4-3,0 раза выше, чем на аналогичных производствах в странах Европейского Союза [1]. Наряду с этим, химическая промышленность является одним из наибольших загрязнителей окружающей природной среды.

Сказанное в полной мере относится к азотно-туковым предприятиям, где потери минеральных удобрений на стадии гранулирования составляют 0,4-3,0%, от получения некондиционных гранул, до 2,5% – за счет налипания туков на рабочие поверхности башни и до 3,0% – с пылью, вследствие низкой эффективности работы грануляционного оборудования.

Наиболее рациональным направлением повышения эффективности энергоносителей и снижения негативного влияния на окружающую среду есть модернизация существующих производств минеральных удобрений за счет улучшения качественных показателей работы оборудования, повышение его мощности и улучшение гранулометрического состава туков. При этом необходимо учитывать, что сельскохозяйственное

производство в настоящее время остро нуждается в экологически целесообразных удобрениях с высокой агрономической и экологической эффективностью.

Исходя из имеющегося парка оборудования на азотных предприятиях и системы земледелия Украины, комплексный подход повышения качества азотосодержащих удобрений определяет следующие задачи:

**В сфере производства:**

- снижение вредных выбросов и стоков;
- снижение удельных затрат при получении продукции;
- комплексная автоматизация технологических процессов;
- диагностика оборудования с целью уменьшения количества аварийных остановок оборудования.

**В сфере повышения качества выпускаемой продукции:**

- повышение прочности стандартных туков;
- увеличение диаметра гранул;
- снижение слеживаемости удобрений;
- модификация удобрений (выпуск удобрений с покрытием, микроэлементами, активаторами и т.п.);
- расширение ассортимента выпускаемой продукции.

Основная масса азотных гранулированных удобрений (карбамид, аммиачная селитра) выпускается промышленностью в грануляционных башнях методом приллирования. Расплав удобрения подается в гранулятор, которым осуществляется процесс диспергации плава в объем башни. Диспергация производится перфорированным днищем гранулятора, из которого плав вытекает струями, которые, распадаясь, формируют капли. При противоточном движении капель и охлаждающего воздуха происходит процесс кристаллизации и охлаждения гранул [2].

Эффективность работы системы грануляции отображают качественные показатели, такие как: фракция грансостава, прочность гранул и т. д. Так, например, согласно ГОСТам 2081-75 и 2082-75 товарная фракция аммиачной селитры и карбамида должна содержать не менее 70% гранул размером 2-4 мм.

Для получения монодисперсного гранулированного продукта, в основном, применяются вращающиеся грануляторы с наложением на вытекающие струи плава механических колебаний (вибраций).

Вращающиеся вибрационные грануляторы разрабатываются и изготавливаются лабораторией грануляции и массообменного оборудования Сумского государственного университета. Данное оборудование используется как в странах СНГ, так и в странах дальнего зарубежья [3].

Монодисперсность грансостава удобрений зависит от гомогенности вытекающих струй и частоты наложенных вибраций на струи плава. Засорение отверстий вытекания частицами, которые присутствуют в плаве, особенно при добавлении в плав различных добавок, способствующих постепенному изменению кромки отверстий истечения, что отражается на фракционном составе готового продукта. Ухудшению гранулометрического состава туков также способствует гомогенность струи вследствие наличия в плаве газопаровых пузырьков, которые совместно с расплавом выходят из отверстий перфорированного днища гранулятора.

В последнее время много предприятий химической промышленности выпускают приллированные азотные удобрения, которые содержат активаторы, способствующие повышению урожайности и качеству продукции растениеводства.

К добавкам, вводимым в расплав, например, карбамида можно отнести водные растворы отходов спиртовых производств [2], вытяжки из торфа

(гидрогумат), а производство аммиачной селитры из отходов фосфорных удобрений и т. д.

Данные добавки показывают агрономические преимущества по сравнению со стандартными приллированными азотными удобрениями. Так, по данным БелНИИПА [6], при проведенных широкомасштабных исследованиях применения карбамида с добавками, при выращивании сельскохозяйственных культур, получили повышение урожайности на 20-25 %, а содержание нитритов в продукции сокращается на 15-20 % по сравнению со стандартным карбамидом.

С введением в плав карбамида водных растворов добавок возникает явление вскипания, а при подаче в гранулятор возникает повышенное пенообразование. Попадая в гранулятор, плав продолжает вспениваться, увеличивая уровень пены в верхней части корзины гранулятора, и зачастую переливается через верхнюю кромку корзины. Прохождение плав с повышенным содержанием пены через отверстия истечения и переливание пены через верхнюю кромку корзины ухудшает грансостав и увеличивает количество пыли, которая выбрасывается в атмосферу, негативно сказываясь на экологическом состоянии окружающей среды. Поэтому для решения поставленных проблем необходимо использовать качественно разработанное и изготовленное оборудование, которое должно решать задачи, представленные на рисунке.



Рисунок 1 – Эффективность использования грануляционного оборудования

Одним из методов устранения пенообразования является механический способ. Примером данного способа является система «Фогельбуша», которая заключается в механическом воздействии аэратора-мешалки, закрепленной на валу гранулятора. При использовании данного механизма пена, находящаяся на поверхности жидкости, улавливается и разрушается при вращении [4,5]. При производстве гранулированных азотных удобрений с добавками данный способ пеногашения не является эффективным, так как скорость процесса пенообразования протекает значительно быстрее.

В Сумском государственном университете разработаны и внедрены в производство вращающиеся вибрационные грануляторы, которые производят сепарацию парогазовых пузырьков, предотвращая тем самым вытекание пенообразного плава из отверстий истечения. Так во внутренней части гранулятора находится поплавков, который располагается на поверхности плава. К поплавку прикреплен перфорированный диск, на котором смонтирована спираль, витки которой идут против вращения плава. На спирали устроены иглы, которые разрушают пузырьки пены. Таким образом, при вращении пузырьки пены всплывают в верхнюю часть корзины гранулятора, где разрушаются механическим устройством [5]. При подаче плава в гранулятор происходит турбулентный процесс, при котором протекает интенсивная массопередача:

$$M = \frac{dG}{dT} = KF\Delta c, \quad (1)$$

где  $M$  – скорость процесса массообмена, выраженная количеством вещества  $G$ , передаваемого из одной фазы в другую за время  $T$ ;

$K$  – коэффициент массопередачи от одной фазы в другую;

$\Delta c$  – движущая сила процесса, выраженная разностью действительной и равновесной концентрации в одной из фаз [9]

$$K = \lambda \left( \dots \right) = \left( \dots \omega \sigma \mu \rho \right), \quad (2)$$

где  $K$  увеличивается с ростом температуры  $T$ .

Коэффициент диффузии в газовой сфере изменяется обратно пропорционально давлению  $P$  и молекулярной массе  $\mu$ .

Линейная скорость движения взаимодействующих фаз относительно друг друга  $\omega$ . При скоростях движения жидкости, которые происходят в грануляторе (35-45) т/ч, происходит вихревое проникновение фаз, образуется газожидкостная эмульсия.

Производственные испытания в условиях пенообразования при производстве приллированных азотных удобрений показали стабильность в работе данных грануляторов. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Производственные испытания нового грануляционного оборудования

Карбамид				Аммиачная селитра	
С органической добавкой «гидрогумат», послеспиртовая мяясная упаренная барда		Без добавок		Чистый плав	
фракция, мм	объем, %	фракция, мм	объем, %	фракция, мм	объем, %
2-4	93,4	2-4	99,6	2-4	96,9
1-4	99,4	1-4	99,7	1-4	99,9
менее 1 мм, (пыль)	0,6	менее 1 мм, (пыль)	0,3	менее 1 мм, (пыль)	0,3

Таким образом, можно отметить стабильность монодисперсности грансостава, что улучшает качественные показатели производимой продукции.

Предлагаемое оборудование имеет высокую надежность в работе, уменьшает пылеобразование по сравнению с базовым грануляционным оборудованием (с 3 % до 0,6 %) за счет чего увеличивается выпуск товарного продукта. Эффективность применения рассчитывали по количеству уменьшения пыли при производительности приллированных удобрений на новом оборудовании по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_n (K_n - K_\sigma) E_n / A, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_n$  – эффективность нового оборудования;

$K_n, K_\sigma$  – капитальные затраты по новому и базовому оборудованию;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности;

$A$  – производительность одной башни, т/год:

$$A = \Pi_\sigma \cdot T_z, \quad (4)$$

где  $\Pi_\sigma$  – производительность башни, т/ч;

$T_z$  – годовая производительность башни.

Расчет экономической эффективности, увеличения производительности товарной продукции за счет уменьшения пылеобразования, рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_n = B_\sigma - B_n, \quad (5)$$

где  $B_\sigma, B_n$  – цена продукции при использовании базового и нового оборудования (с учетом уменьшения пылеобразования), у. е./год.

Цена продукции, утрачиваемой за счет пылеобразования и выноса ее в атмосферу, при работе базового гранулятора рассчитывается по формуле

$$B_\sigma = B_{\sigma n} * A * K * K_s * \Pi_k / T_c, \quad (6)$$

где  $B_{\sigma n}$  – вынос вещества при использовании базового оборудования;

$A$  – производительность башни, т/год;

$K$  – количество пылеобразования в смену, т/см.;

$\Pi_k$  – цена карбамида, у. е.;

$T_c$  – время смены, ч/см.

## SUMMARY

### ASSESSMENT OF OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF MODERNISED EQUIPMENT FOR GRANULATION PRODUCTION OF NITROGEN FERTILIZERS BY PRILLING

*Krajewski A. I., Osipov V. A., Kononenko N., Krajewski A. A.  
Sumy State University, Sumy*

*This publication offers an overview on issues of hardware design and technology of the process of nitric fertilizers granulation from the melt with additives by prilling on rotation vibratory granulators. Practical interest lies in operating elements of the granulator by means of which the motion of the melt and its dispersion is stabilized; foam and dust formation in the process of product is reduced.*

**Key words:** *economic efficiency, granulation equipment, nitrogen fertilizers, vibratory granulator.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Энергоэффективность в химической промышленности. March Consulting Group. Европейская комиссия – 1999. – 170 с.
2. Холин Б. Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости. - М.: Машиностроение, 1977. – 182 с.
3. Васильев А. В. Обертовий віброгранулятор розплавів / А. В. Васильев, О. І. Краєвський, В. А. Осіпов. - Патент України № 87408, 2009.
4. Краевский А. И. Азотное удобрение // Сведченне рэспублікі Беларусь. – 1993. - № 1055.
5. Азотное удобрение/ Пироговская Г. В., Котович И. И., Краевский А. И. и др. // Сведченне рэспублікі Беларусь . -1996. - № 1635.
6. Пироговская Г. В. Медленнодействующие удобрения. - Минск: Бел НИИПА, 2000. – 361 с.
7. Краєвський О. Обертовий віброгранулятор розплавів / О.Краєвський, А. В. Васильев, В. М. Покотило та інші. - Патент на винахід № 90980, 2010.
8. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В. К. Тихомиров. - М.: Химия, 1975. – 264 с.
9. Rudolf Pelzer. Vorrichtung zum kontinuierlichen entgasen und entschäumen züher flüssigkeiten nach dem zentrifugalprinzip / Rudolf Pelzer und Kurt Blank // Chemie – ingenieur – Technik. - 1978. - № 1. – P. 58-59.

*Поступила в редакцию 15 февраля 2012 г.*