

DOI 10.23859/1994-0637-2017-2-77-1
УДК 681.3

© **Аншелес В.Р.**, Трапатанов А.Д., Ковшикова Г.А., 2017

Аншелес Валерий Рудольфович

Доктор технических наук, профессор,
Череповецкий государственный
университет (Череповец, Россия)
E-mail: chear@rambler.ru

Ansheles Valeriy Rudolfovich

Doctor of Science (Technology), Professor,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: chear@rambler.ru

Трапатанов Андрей Дмитриевич

Аспирант, Череповецкий государственный
университет (Череповец, Россия)
E-mail: andre_himik@mail.ru

Trapatanov Andrey Dmitrievich

Post graduate student,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: andre_himik@mail.ru

Ковшикова Галина Александровна

Кандидат филологических наук, преподаватель,
Череповецкий государственный университет
(Череповец, Россия)
E-mail: kovshig@rambler.ru

Kovshikova Galina Alexandrovna

PhD (Philology), Cherepovets State
University (Cherepovets, Russia)
E-mail: kovshig@rambler.ru

**КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ
ПРОЦЕССА
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО
ПРОИЗВОДСТВА КАССОВ**

**COMPUTER MODEL
OF ENERGY-SAVING
PRODUCTION OF UREA-
AMMONIUM NITRATE (UAN)**

Аннотация. В статье рассматривается процесс получения карбамид-аммиачно-селитровых смесей (КАСС). Расчет расходных показателей осуществляется при помощи предложенной математической модели процесса. При решении системы уравнений используется компьютерный метод, реализованный в Microsoft Excel. Полученные данные могут быть использованы при выполнении конструкционных и технико-экономических расчетов создания нового энергосберегающего производства минеральных удобрений.

Abstract. The article deals with urea-ammonium nitrate production. Calculation of indicators of expenditure of the process is made by using mathematical model. For solving the system of equations a computer method implemented in Microsoft Excel is used. The obtained data can be used in carrying out structural and technical and economic calculations to create a new energy-efficient production of mineral fertilizers.

Ключевые слова. Карбамид-аммиачно-селитровые смеси, минеральные удобрения, математическая модель, энергосберегающее производство.

Key words. Rea-ammonium nitrate, mineral fertilizers, mathematical model, energy-saving production.

Введение

Многие из действующих в современной России химических предприятий были введены в эксплуатацию еще в 1960–80-е гг., и их технологический уровень во многом уступает зарубежным аналогам. В частности, значительное отставание наблюда-

ется в плане энергетической эффективности этих производств. Высокая энергоемкость технологии связана с наличием стадий выпаривания и гранулирования, энергопотребление которых составляет большую часть энергопотребления производства удобрения в целом (более 90 %). Одним из компромиссных решений может стать производство жидких форм удобрений, например, карбамид-аммиачно-селитровых смесей (КАССов), где отсутствуют стадии, связанные с высоким потреблением энергии [4].

Для создания компьютерной математической модели такого производства, как известно, необходимо представить процессы, реализованные в нем с помощью математического описания. В зависимости от уровня управления требуются различные математические модели. Наиболее простые – производственные – функции представляют собой аналитические зависимости между результатами деятельности объекта и затратами ресурсов.

Производственные функциональные модели описывают систему как целое, без детализации и расчленения ее на подсистемы. Они используются для общей оценки улучшения тех или иных показателей в зависимости от различных факторов, влияющих на них. Управление в этом случае заключается в поддержании факторов на том уровне, который обеспечивает улучшение производственных показателей.

О компьютерной модели процесса энергосберегающего производства КАССов

В разрабатываемом процессе получения КАССов в качестве сырья используется растворы карбамида и аммиачной селитры. Раствор КАССов получается путем смешения этих компонентов и добавления питательной воды. Для расчета расходных показателей аналитический граф процесса смешения для получения КАСС нужного состава можно представить следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Граф процесса производства КАСС

На основе этого графа можно рассмотреть математические зависимости между отдельными компонентами и записать систему уравнений для математической модели. Расчет расходных показателей производства КАСС следует начать с создания концептуальной модели [1], [2]. Для этого описаны основные зависимости между компонентами системы:

$$\begin{cases} P_c + P_k + W = K_c \\ \frac{P_k \cdot k_k}{P_c \cdot k_c} = g \\ \frac{N_1 \cdot P_c \cdot k_c + N_2 \cdot P_k \cdot k_c}{P_c + P_k + W} = N_s, \end{cases}$$

где N_1 – содержание азота в аммиачной селитре, мас. %; N_2 – содержание азота в карбамиде, мас. %; N_s – содержание азота в КАСС, мас. %; K_c – массовый расход КАСС, кг/ч; P_c – массовый расход раствора аммиачной селитры, кг/ч; P_k – массовый расход раствора карбамида, кг/ч; W – массовый расход воды, кг/ч (за исключением воды, входящей в составе растворов аммиачной селитры и карбамида); g – соотношение аммиачной селитры и карбамида в КАСС, кг/кг, k_c и k_k – содержание селитры и карбамида в соответствующих растворах, доли единицы.

Первое уравнение учитывает материальный баланс производства КАССов и показывает, что количество производимых КАСС равно сумме используемых объемов селитры, карбамида и воды. Для снижения себестоимости и обеспечения безопасности растворов КАССов поддерживается определенное соотношение карбамида и селитры, которое записано в виде второго уравнения системы. Вода вводится с целью поддержания концентрации азота в растворе КАСС в зависимости от марки: КАСС-28, КАСС-30 или КАСС-32. Содержание азота в смеси можно определить при помощи третьего уравнения системы.

Считая известными постоянными величинами K_c , g , $N_1 - N_3$, k_c , k_k и, вводя переменные $x_1 = P_c$, $x_2 = P_k$, $x_3 = W$, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = K_c \\ \frac{x_2 \cdot k_k}{x_1 \cdot k_c} = g \\ \frac{N_1 \cdot x_1 \cdot k_c + N_2 \cdot x_2 \cdot k_c}{x_1 + x_2 + x_3} = N_s. \end{cases}$$

Преобразуем эту систему в линейную:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = K_c \\ -g \cdot k_c \cdot x_1 + k_k \cdot x_2 = 0 \\ (N_1 \cdot k_c - N_s) \cdot x_1 + (N_2 \cdot k_k - N_s) \cdot x_2 - N_s \cdot x_3 = 0. \end{cases}$$

Активная матрица $[A]$ и дополнительная матрица $\{b\}$ этой системы уравнений будет иметь представленный ниже вид.

Матрица $[A]$:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -g \cdot k_c & k_k & 0 \\ N_1 \cdot k_c - N_s & N_2 \cdot k_k - N_s & -N_s \end{pmatrix}.$$

Матрица {b}:

$$\begin{pmatrix} K_c \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Исходные данные для определения расходных показателей приведены в таблице.

Таблица

Исходные данные

Содержание азота в продукте, %	28
Производительность установки, т/год	250 000
Число рабочих часов установки, час/год	7 200
Производительность установки, кг/час	34 722
Соотношение карбамид/селитра, безр. (g)	0,78
Содержание азота в карбамиде, мас. % (N ₂)	46,66
Содержание азота в селитре, мас. % (N ₁)	35
Содержание азота в КАСС, мас. % (N _s)	28
Концентрация карбамида в растворе, мас. %	72
Концентрация селитры в растворе, мас. %	88

При решении системы уравнений используется представленный на рис. 2 компьютерный метод, реализованный в Microsoft Excel.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
				[A]			[b]	
1	Исходные данные		1	1	1		34 722	
2	Содержание азота в продукте, Ns, д/ед.	0,28	-0,69		0,72	0		0
3	Производительность установки, т/год	250 000	0,06		0,13	-0,28		0
4	Число рабочих часов установки, час/год	7200						
5	Производительность установки, (Kc) кг/час	34 722		Монпред [D2:F4]=		-0,53		
6	Соотношение карбамид/селитра, безр. (g)	0,78						
7	Содержание азота в карбамиде, % (N ₂)	46,66		Мобр [D2:F4]=		0,38	-0,78	1,36
8	Содержание азота в селитре, % (N ₁)	35				0,36	0,64	1,29
9	Содержание азота в КАСС, % (N _s)	28				0,26	0,14	-2,65
10	Концентрация карбамида в растворе, (к _c) %	72			Корни	Растворы	Компоненты	
11	Концентрация селитры в растворе, (к _s) %	88		Мумнож [E17:G19] [H2:H4]=	x ₁	13198	11615	Селитра
12					x ₂	12582	9059	Карбамид
13					x ₃	8941	8941	Вода
14					Сумма	34722		
15				Результаты расчета				
16				Раствор селитры, кг/час		13 198		
17				Раствор карбамида, кг/час		12 582		
18				Техническая вода, кг/час		8 941		
19				Весовой расход КАСС, кг/час		34 722		
20				Расходные показатели				
21				Раствора селитры, т раствора/т КАСС		0,38		
22				Раствора карбамида, т раствора/т КАСС		0,36		
23				Добавки технической воды, т/т КАСС		0,26		
24								
25								
26								

Рис. 2. Компьютерная модель решения системы уравнений

В соответствии с алгоритмом создания компьютерной модели коэффициенты уравнения переносятся в прямую матрицу $[A]$ и дополнительную матрицу $\{b\}$. Далее проводится определение наличия корней указанной системы уравнений с помощью функции определителя ($\det[A]$). Поскольку при расчете получено значение, отличное от 0, система имеет действительные корни. Затем проводится расчет обратной матрицы $[A]$ и ее умножение на дополнительную матрицу $\{b\}$. В результате будут получены значения корней системы. Корни представляют собой величины содержания компонентов – аммиачной селитры, воды и карбамида. Методом ссылок на соответствующие ячейки эта информация переносится в таблицу расчета состава КАСС и расходных показателей, которые находятся в правой части математической модели (рис. 2).

Заключение

Рассчитанные при помощи математической модели расходные показатели для различных марок КАСС представлены в виде диаграммы на рис. 3.

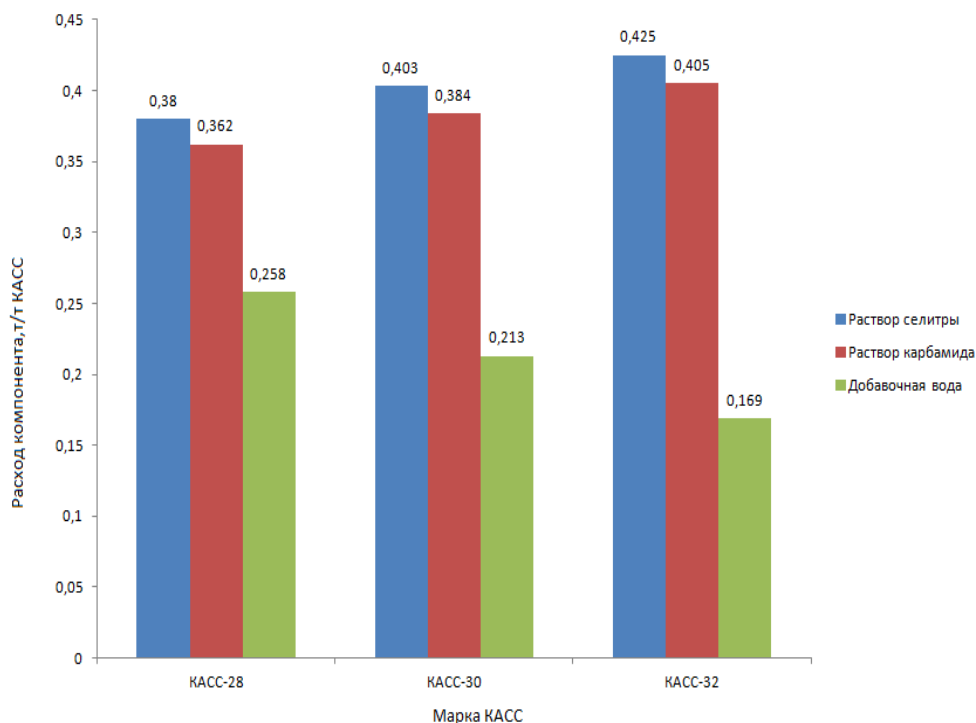


Рис. 3. Расходные показатели

Очевидно, что с изменением марки КАСС, с увеличением содержания азота в смеси, должен возрастать и расход азотсодержащих компонентов. Из диаграмм видно, что при переходе от КАСС-28 к КАСС-30 и от КАСС-30 к КАСС-32 расходные коэффициенты по карбамиду и аммиачной селитре увеличиваются в равной степени на 0,02 т/т продукта.

Показано, что ни схема, ни ее математическое описание не содержат элементов, требующих значительных затрат энергии, т.е. являются энергосберегающими.

Полученные данные могут быть использованы при выполнении конструкционных и технико-экономических расчетов создания нового энергосберегающего производства минеральных удобрений.

Литература

1. Аншелес В.Р., Ковшикова Г.А., Вишнякова И.Л. Функционально-стоимостной анализ как основа оценки эффективности инновационных проектов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы XI Международной научно-практической конференции. Вологда: ВоГУ, 2016. С. 19–23.
2. Аншелес В.Р., Левашев К.Ю. Энергосбережение при производстве комплексных минеральных удобрений // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы XI Международной научно-практической конференции. Вологда: ВоГУ, 2016. С. 16–19.
3. Бабкин В.В., Успенский Д.Д. Новая стратегия: Химия 2030. Высокие пределы сырья. Кластеризация. Химизация индустрии РФ. М.: Лица, 2015. 222 с.
4. Трапатов А.Д., Аншелес В.Р. Об эффективности производства и применения жидких комплексных минеральных удобрений // Вузовская наука – региону: материалы XIV Всероссийской научной конференции. Вологда: ВоГУ, 2016. С. 226–228.

References

1. Ansheles V.R., Kovshikova G.A., Vishniakova I.L. Funktsional'no-stoimostnoi analiz kak osnova otsenki effektivnosti innovatsionnykh proektov [Functional-value analysis as a basis for evaluating of the efficiency of innovative projects]. *Avtomatizatsiia i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologiia i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniia. Materialy XI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Automation and energy savings in engineering and metallurgical industries, technology and reliability of machines, devices and equipments. Materials of the XI International scientific-practical conference]. Vologda, 2016, pp. 19–23.
2. Ansheles V.R., Levashev K.Iu. Energosberezhenie pri proizvodstve kompleksnykh mineral'nykh udobrenii [Energy savings in the complex mineral fertilizers production]. *Avtomatizatsiia i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologiia i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniia. Materialy XI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Automation and energy savings in engineering and metallurgical industries, technology and reliability of machines, devices and equipments. Proceedings of the XI International scientific-practical conference]. Vologda, 2016, pp. 16–19.
3. Babkin V.V., Uspenskii D.D. *Novaia strategii: Khimii 2030. Vysokie peredely syr'ia. Klas-terizatsiia. Khimizatsiia industrii RF* [New strategy: Chemistry 2030. High repartitions of raw materials. Clustering. Chemisation of Russian industry]. Moscow, 2015. 222 p.
4. Trapatanov A.D., Ansheles V.R. Ob effektivnosti proizvodstva i primeneniia zhidkikh kompleksnykh mineral'nykh udobrenii [The efficiency of production and use of liquid complex mineral fertilizers]. *Vuzovskaiia nauka – regionu: materialy XIV Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii* [University science for Region: Materials of the XIV All-Russian scientific conference]. Vologda, 2016, pp. 226–228.

Аншелес В.Р., Трапатов А.Д., Ковшикова Г.А. Компьютерная модель процесса энергосберегающего производства кассов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №2(77). С. 9–14.

For citation: Ansheles V.R., Trapatanov A.D., Kovshikova G.A. Computer model of energy-saving production of urea-ammonium nitrate (UAN). *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 2 (77), pp. 9–14.
