

УДК 661.717.5

Ю.А. Сергеев, Р.В. Андержанов

ОАО «Научно-исследовательский и проектный институт карбамида и продуктов органического синтеза», ул. Грибоедова, 31, г. Дзержинск Нижегородской области, РФ, 606008
e-mail: niik@niik.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ СТАБИЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА АГРЕГАТ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБАМИДА

Потребление карбамида в мире непрерывно растёт. Сырьё на синтез карбамида поступает с производства аммиака. В применяемых сейчас технологиях аммиак подаётся в агрегат получения карбамида в жидком виде, а диоксид углерода — в газообразном. Для сжатия газообразного диоксида углерода используют поршневые и центробежные компрессоры. Предложено дополнительно направлять в агрегат сжатый в насосе жидкий диоксид углерода для обеспечения стабильных условий работы при получении карбамида. Рассмотрены варианты использования жидкого диоксида углерода в производстве карбамида. Для снижения капитальных и эксплуатационных затрат разработан специальный узел ввода в агрегат получения карбамида жидкого CO₂ высокого давления. В зависимости от конъюнктуры цен на карбамид сроки окупаемости этой разработки составляют от одного года до нескольких месяцев.

Ключевые слова: Диоксид углерода. Аммиак. Карбамид. Компрессор. Насос. Агрегат получения карбамида. Экономическая эффективность.

Yu.A. Sergeev, R.V. Anderzhanov

USE OF LIQUID CARBON DIOXIDE FOR MAINTENANCE OF STABLE LOADING ON THE UNIT OF THE UREA PRODUCTION

Urea consumption worldwide is constantly increasing. The feedstock for the urea synthesis is supplied from the ammonia production. In the technologies globally applied, ammonia is supplied to the urea unit in liquid form, carbon dioxide — in gaseous. Reciprocating and centrifugal compressors are used for gaseous carbon dioxide compression. It is offered extra feed of compressed by pump liquid carbon dioxide to enable stable operation conditions for urea production process. Variants of use liquid carbon dioxide in the urea production are considered. In order to reduce capital and operation costs we developed special input unit for supply of HP liquid carbon dioxide to the urea unit. The payback period for the above development is 1 year to several months depending on the urea pricing.

Keywords: Carbon dioxide. Ammonia. Urea. Compressor. Pump. The unit of urea production. Economic efficiency.

1. ВВЕДЕНИЕ

Потребление карбамида в мире непрерывно растёт. В связи с этим актуальным является поддержание стабильной нагрузки на агрегат получения карбамида, так как её снижение приводит к снижению выработки готового продукта и уменьшению получаемой прибыли. Поскольку сырьё на синтез карбамида поступает с производства аммиака, то необходимо обеспечение стабильной бесперебойной подачи диоксида углерода в реактор синтеза карбамида.

Ранее было предложено для обеспечения стабильной работы агрегата карбамида в случае нехват-

ки сжатого газообразного CO₂ подавать в него насосом жидкий диоксид углерода [1]. В данной публикации рассматриваются технические и технологические проблемы обеспечения такой работы, приводятся результаты технико-экономического анализа.

2. НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОЙ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ ПОДАЧИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В РЕАКТОР СИНТЕЗА КАРБАМИДА

Для перемещения и сжатия диоксида углерода до давления синтеза карбамида применяют поршневые и

центробежные компрессоры. Область рационального использования поршневых компрессоров обычно ограничена их производительностью 5000-8000 $\text{м}^3/\text{ч}$. Поршневые компрессоры (фото 1) действуют на агрегатах карбамида производительностью от 250 до 600 т/сут. Эти агрегаты вводились в эксплуатацию в семидесятые годы прошлого столетия и получили сокращённое наименование АК-70.



Фото 1. Поршневые компрессоры для подачи газообразного CO_2 в агрегаты получения карбамида

Агрегаты карбамида производительностью 900-1000 т/сут. оснащены комбинированной системой сжатия диоксида углерода, т.е. центробежным и поршневым компрессорами, установленными последовательно. Причём поршневые компрессоры используют в качестве дожимающих. В агрегатах карбамида производительностью 1200-2000 т/сут. используют, как правило, центробежные компрессоры.

Процесс компримирования диоксида углерода до давления 150-250 $\text{кгс}/\text{см}^2$ имеет свою специфику, обусловленную свойствами диоксида углерода: насыщение его влагой, наличие в нём кислорода 0,8-1,0 %, присутствие некоторого количества примесей из узлов технологической очистки газа в производстве аммиака и т.д. Перечисленные условия обуславливают высокую коррозионную активность газа в присутствии капельной влаги.

Для предотвращения коррозионно-эрозионного износа деталей компрессора, соприкасающихся с газом, температуру газа на входе в очередную ступень необходимо несколько увеличивать. Рекомендуется температуру газа на входе в пятую ступень поддерживать не ниже 47 °С. Температуру газа на входе на вторую, третью и четвертую ступень поддерживать в пределах 35-40 °С.

Разработчиками компрессорных установок проводится большая работа по их совершенствованию [2]. Тем не менее, поршневые компрессоры требуют периодической остановки для проведения технического обслуживания и ремонта.

При эксплуатации агрегатов карбамида в современных условиях, а так же в условиях наращивания производительности работа узла компрессии диоксида углерода организуется без резервирования компрес-

сорных установок. При остановке одного из нескольких компрессоров для проведения планового ремонта агрегат карбамида вынуждены разгружать, что приводит к снижению его выработки в этот период.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ СТАБИЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА АГРЕГАТ КАРБАМИДА

На большинстве предприятий азотного комплекса (аммиак-карбамид) имеется собственное производство жидкого диоксида углерода (ЖДУ) производительностью 30-50 тыс. т/год.

Предлагается во время остановки на ремонт одного из углекислотных компрессоров для поддержания стабильной нагрузки агрегата карбамида производить подачу ЖДУ вместо газообразного CO_2 .

Из-за большого расстояния между установками, а так же в связи с периодическим характером потребления ЖДУ целесообразно при цехе карбамида оборудовать его хранилище. Доставку ЖДУ в хранилище можно осуществлять автоцистернами (рис. 2).



Рис. 2. Принципиальная схема использования жидкого диоксида углерода в узле синтеза производства карбамида АК-70 (при большом расстоянии между установками)

Из хранилища насосом высокого давления можно подавать ЖДУ в узел его ввода в производство карбамида.

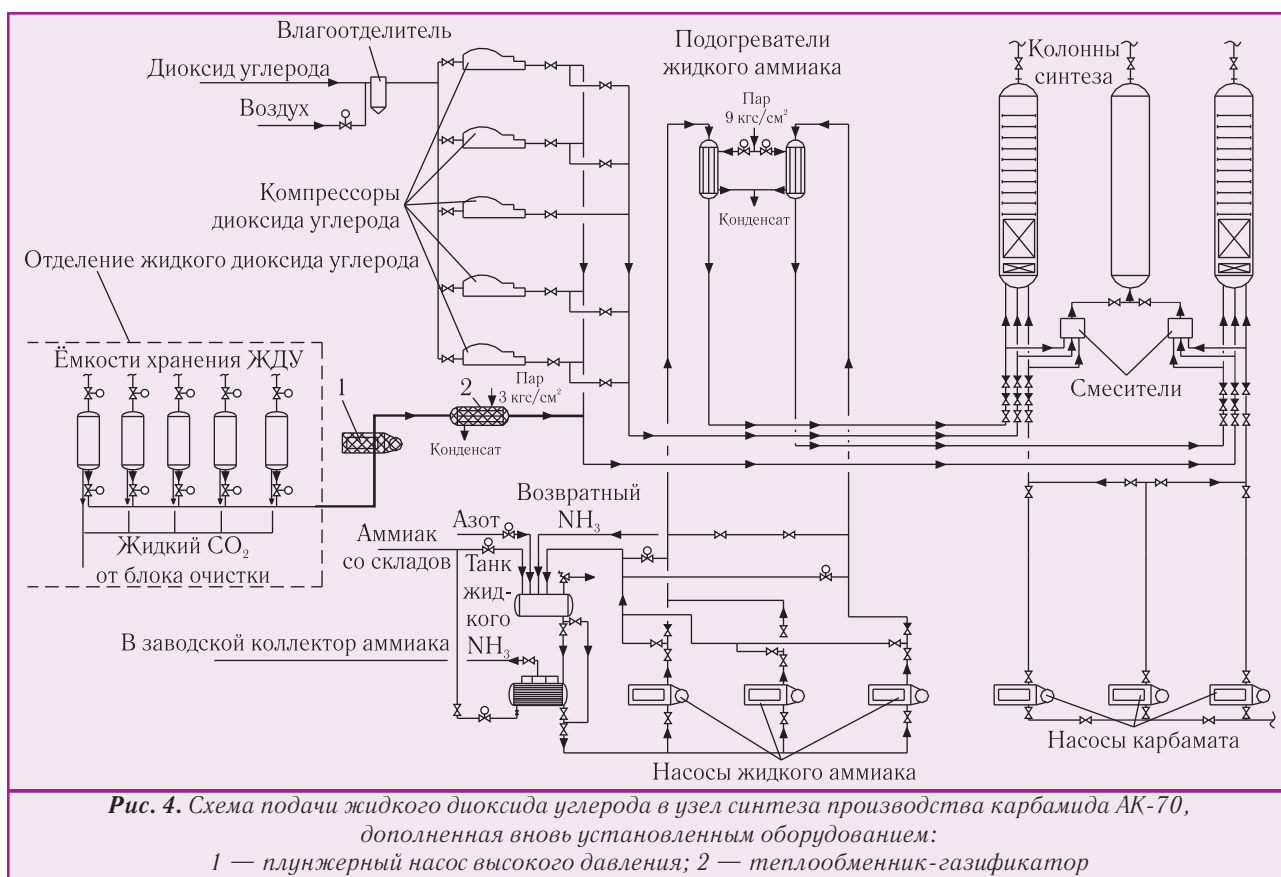
При относительно небольшом расстоянии между двумя установками ЖДУ может направляться непосредственно в линию всасывания плунжерного насоса высокого давления (см. рис. 3) и затем — в межцеховую линию высокого давления агрегата получения карбамида.



Рис. 3. Принципиальная схема использования жидкого диоксида углерода в узле синтеза производства карбамида АК-70 (при небольшом расстоянии между установками)

4. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОДАЧИ ЖДУ В ПРОИЗВОДСТВО КАРБАМИДА

Для предотвращения снижения выработки карбамида в период вывода УГК в ремонт предлагается осуществлять подачу ЖДУ с его производства в количестве 6250 $\text{кг}/\text{ч}$. Этого расхода достаточно, чтобы покрыть потребность цеха карбамида в диоксиде углеро-



да при простое одного УГК. Кроме того, производство жидкого CO_2 располагает пятью ёмкостями по 100 м³ каждая для хранения ЖДУ, что позволяет создать его дополнительный резерв. При расстоянии между установками около 2 км наиболее целесообразной является схема, изображённая на рис. 3. Более детально эта схема представлена на рис. 4.

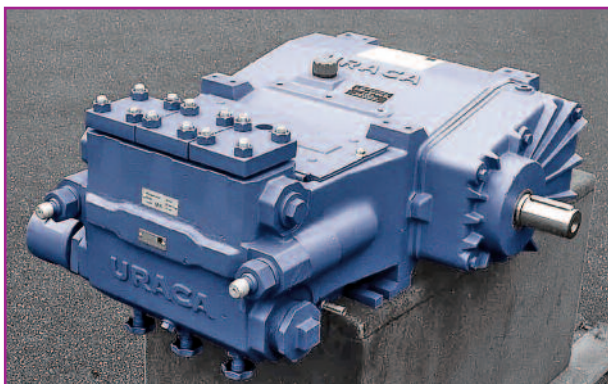


Фото 5. Плунжерный насос высокого давления компании «Uraca» для подачи ЖДУ

Плунжерный насос высокого давления (фото 5) монтируется на складе хранения готовой продукции производства жидкого CO_2 . От насоса по межцеховой коммуникации высокого давления ЖДУ поступает в цех по производству карбамида. На входе в цех карбамида устанавливают теплообменник-газификатор, в котором жидкий диоксид углерода превращается в газообразный за счёт подачи водяного пара. После теплообменника газообразный диоксид углерода вводит-

ся в один из существующих коллекторов подачи диоксида углерода от УГК и далее поступает в колонны синтеза карбамида.

Однако установка теплообменника-газификатора влечёт за собой дополнительные капитальные затраты. Также возрастают и эксплуатационные расходы, так как требуются затраты на теплоноситель (пар). Чтобы снизить капитальные затраты, не расходовать теплоноситель и упростить схему (рис. 6) нами разработан специальный узел ввода ЖДУ, сконструированный таким образом, что весь жидкий CO_2 испаряется в данном узле при смешении с горячим диоксидом углерода, поступающим от компрессоров. На данную разработку как изобретение оформляется патент РФ.

5. ОЦЕНКА КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА ПОДАЧУ ЖДУ И СРОКИ ИХ ОКУПАЕМОСТИ

Перечень вновь устанавливаемого оборудования с оценкой его стоимости для указанных вариантов реализации приведён в табл. 1. Из неё видно, что вариант, отвечающий второй схеме (см. рис. 6), существенно дешевле.

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДАЧИ ЖДУ

При расчёте экономической эффективности от реализации схемы подачи жидкого диоксида углерода годовая прибыль складывается из двух составляющих:

- прибыль от реализации дополнительного карбамида, полученного из ЖДУ;

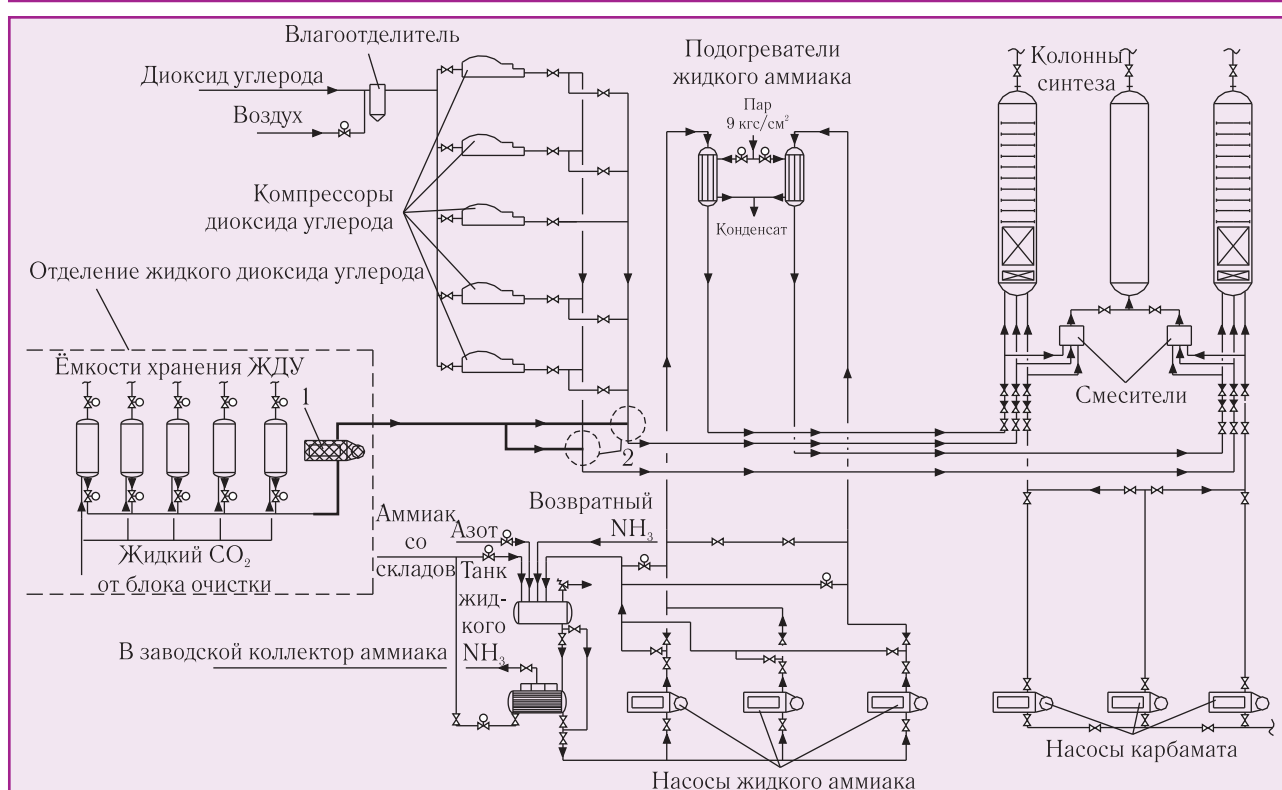


Рис. 6. Усовершенствованная схема подачи жидкого диоксида углерода в узел синтеза производства карбамида АК-70 с вновь установленным оборудованием: 1 — плунжерный насос высокого давления; 2 — узел ввода ЖДУ

Таблица 1. Перечень вновь устанавливаемого оборудования для подачи ЖДУ в производство

Вариант, соответствующий схеме, показанной на рис. 4				
№ п/п	Наименование оборудования	Характеристики	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США
1	Насос высокого давления для подачи жидкого диоксида углерода	$Q=8 \text{ м}^3/\text{ч}; P=21,0 \text{ МПа}; N=100 \text{ кВт}$	1	334,0
2	Трубопровод жидкого CO_2 (комплектная поставка, включая монтаж с креплением и теплоизоляцией)	$D=83 \times 14 \text{ мм}; L=2000 \text{ м}$	1	111,7
3	Теплообменник-газификатор		1	1000,0
Итого				1445,7
Вариант, соответствующий схеме, изображённой на рис. 6				
№ п/п	Наименование оборудования	Характеристики	Кол-во	Стоимость, тыс. долл. США
1	Насос подачи ЖДУ компании «Угаса»	$Q=8 \text{ м}^3/\text{ч}; P=21,0 \text{ МПа}; N=100 \text{ кВт}$	1	334,0
2	Трубопровод жидкого CO_2 (комплектная поставка, включая монтаж с креплением и теплоизоляцией)	$D=83 \times 14 \text{ мм}; L=2000 \text{ м}$	1	111,7
3	Узел ввода		2	33,4
Итого				479,1

— экономия электроэнергии при подаче ЖДУ насосом вместо УГК.

С учётом условий нашего примера годовая экономия электроэнергии достигнет: $1150 \text{ кВт} \times 1344 \text{ ч} = 1545,6 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}$.

При стоимости электроэнергии 7,3 цента/кВт·ч выигрыш от её экономии составит: $7,3 \text{ цента/кВт}\cdot\text{ч} \times 1545,6 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч} = 112,8 \text{ тыс. долл. США}$.

Дополнительные затраты на реализацию рассматриваемого варианта состоят из нескольких составляющих. Основная из них — общие капитальные затраты. Для расчёта выбран второй вариант из табл. 1.

Общие капитальные затраты с учётом стоимости строительно-монтажных работ и инжиниринга сос-

тавляют 655 тыс. долл. США.

Дополнительные затраты на приобретение жидкого диоксида углерода определяются исходя из необходимого его количества 6906 т/ч и стоимости его производства 52,8 долл. США: $52,8 \cdot 6906 \approx 365 \text{ тыс. долл. США}$.

Рассчитаем срок окупаемости капитальных затрат с учётом двух вариантов финансового обеспечения: банковский кредит; собственные средства.

При использовании банковского кредита срок окупаемости (СО) в годах

$$CO = \frac{KЗ}{0,8П - K + A}, \quad (1)$$

где КЗ — капитальные затраты; П — годовая прибыль; $K=0,15KЗ$ — проценты по кредиту; $A=0,06KЗ$ — амортизация.

При использовании собственных средств срок окупаемости

$$CO = \frac{KЗ}{0,8П + A} \quad (2)$$

Результаты расчётов сроков окупаемости при различной прибыли приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сроки окупаемости капитальных затрат на реализацию проекта подачи ЖДУ в производство карбамида по схеме ОАО «НИИК»

Прибыль с тонны карбамида, долл. США	Годовая прибыль, тыс. долл. США	Срок окупаемости, лет	
		Кредит	Собственные средства
100	689	1,33	1,11
150	1160	0,75	0,68
200	1630	0,53	0,49

Таблица 3. Сроки окупаемости капитальных затрат на реализацию проекта подачи ЖДУ в производство карбамида по схеме с газификатором

Прибыль с тонны карбамида, долл. США	Годовая прибыль, тыс. долл. США	Срок окупаемости, лет	
		Кредит	Собственные средства
100	689	4,00	2,45
150	1160	2,08	1,58
200	1630	1,40	1,15

При использовании обычной схемы подачи жидкого диоксида углерода в производство карбамида потребуются установка теплообменника-газификатора ЖДУ высокого давления. Капитальные затраты на реализацию проекта составят при этом 1620 тыс. долл. США. Сроки окупаемости капитальных затрат на реализацию схемы подачи ЖДУ с газификатором приведены в табл. 3.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ


В последнее время все более актуальной задачей в производстве карбамида является поддержание стабильной нагрузки на агрегат, так как её снижение означает потерю выработки готового продукта и уменьшение получаемой прибыли. Поршневые углекислотные компрессоры нуждаются в периодических остановках для проведения технического обслуживания и ремонта. Предлагается на период остановки на ремонт одного из УГК взамен газообразного диоксида углерода для поддержания стабильной нагрузки на агрегат карбамида использовать жидкий диоксид углерода.

Рассмотрены различные варианты схем использования ЖДУ в узле синтеза производства карбамида. Чтобы снизить капитальные затраты, не расходовать теплоноситель и упростить схему подачи, разработан специальный узел ввода, сконструированный таким образом, что ЖДУ испаряется в данном узле при смешении с горячим диоксидом углерода, поступающим от работающих УГК.

Приведены данные по оценке капитальных затрат на реализацию подачи ЖДУ. Проведённые расчёты окупаемости капитальных затрат показывают, что данная разработка окупается в сроки от одного года до нескольких месяцев в зависимости от конъюнктуры цен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективное использование жидкого диоксида углерода в современных технологиях крупнотоннажного производства карбамида/ Ю.А. Сергеев, Р.В. Андержанов, М.Е. Егришин, В.Б. Циглеев// Технические газы. — 2009. — № 4. — С. 56-59.
2. Компрессоры для диоксида углерода: характеристики производимых моделей и направления их совершенствования/ А.В. Смирнов, Н.П. Гринь, А.В. Шаповалов, А.Г. Кобыляков, А.В. Чёрный// Технические газы. — 2009. — № 3. — С. 35-38.



ВТОРОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ — ЗА 2 ГОДА!

- необходимо наличие законченного высшего инженерно-технического образования;
- обучение в Одесской государственной академии холода по направлению Украинской ассоциации производителей технических газов "УА-СИГМА";
- специальность 8.090507 "Криогенная техника и технология";
- форма обучения — заочная контрактная;
- завершение учёбы — сдачей государственного экзамена;
- возможность продолжения обучения для получения диплома магистра;
- диплом Министерства образования и науки Украины признается в странах СНГ.

Условия приёма по контактному тел./факсу: +38 (048) 777-00-87

