

В.И.СТЕФАНЧУК
 ООО "Термоинжиниринг"
С.Н.АРБУЗОВ, К.П.ВЕНГЕР
 Московский государственный
 университет прикладной
 биотехнологии

Проточная азотная система хладоснабжения, полностью реализующая температурный потенциал криоагента

A principle of organization of work of a nitrogen system of cold supply fully realizing a temperature potential of the cryogen is shown. A formulae allowing to evaluate the degree of use of a temperature potential of nitrogen at every level of the system of cold supply is given.

В мировой практике широко применяют проточные системы хладоснабжения на базе жидкого и газообразного азота для быстрого замораживания, хранения и транспортирования пищевых продуктов [1].

Использование таких систем хладоснабжения при создании отечественной отрасли производства быстрозамороженных продуктов имеет хорошие перспективы. Главные преимущества проточных систем хладоснабжения перед традиционными машинными следующие:

- экологическая чистота (в атмосфере Земли содержится до 78 % газообразного азота);
- незначительная стоимость основных фондов;
- большая скорость замораживания, обеспечивающая сокращение потерь массы от усушки, получение продукта высокого качества и отличного товарного вида.

Многие зарубежные фирмы выпускают скороморозильные аппараты на основе многозонной проточной системы хладоснабжения.

В последние годы и в России появились промышленные образцы азотных скороморозильных туннельных аппаратов (АСТА) для замораживания широкого ассортимента пищевых продуктов животного и растительного происхождения.

В аппаратах АСТА, как и в зарубежных аппаратах такого же типа, проточная система хладоснабжения трехзонная. Пары азота, полученные в результате кипения жидкого азота во второй зоне, осуществляют предварительное охлаждение продукта (первая зона) и выравнивание температуры по его толщине (третья зона). Такая трехзонная система позволяет реализовать температурный потенциал как жидкого, так и газообразного азота и тем самым сократить расход криоагента. Однако температура паров азота, выходящих из скороморозильного аппарата, достаточно низкая: на уровне $-50...-70^\circ\text{C}$.

В связи с этим перспективно создание на базе отечественного аппарата АСТА проточной системы хладоснабжения, объединяющей элементы холодильной цепи и позволяющей при обработке пищевых продуктов практически полностью реализовать температурный потенциал жидкого и газообразного азота.

Схема аппаратного оформления проточной системы хладоснабжения (рис.1) состоит из пяти температурных уровней:

Температура	Уровень
кипения жидкого азота, подаваемого в скороморозильный аппарат АСТА	I
газообразного азота, выходящего из аппарата АСТА после замораживания продукта до заданной температуры	II
газообразного азота, выходящего из технологического аппарата после домораживания продукта до заданной температуры, в соответствии с требованиями технологии	III

газообразного азота, обеспечивающая условия хранения или транспортирования замороженных продуктов

IV

газообразного азота, равная температуре окружающей среды или выше нее

V

Заданные температуры в системе поддерживают путем подачи холодных паров азота, выходящих из аппарата АСТА, а также в случае необходимости – подпиткой жидким азотом из цистерны. Последний этап хладоснабжения предусматривает выброс отработавшего газообразного азота в атмосферу, что свидетельствует о полной реализации его температурного потенциала.

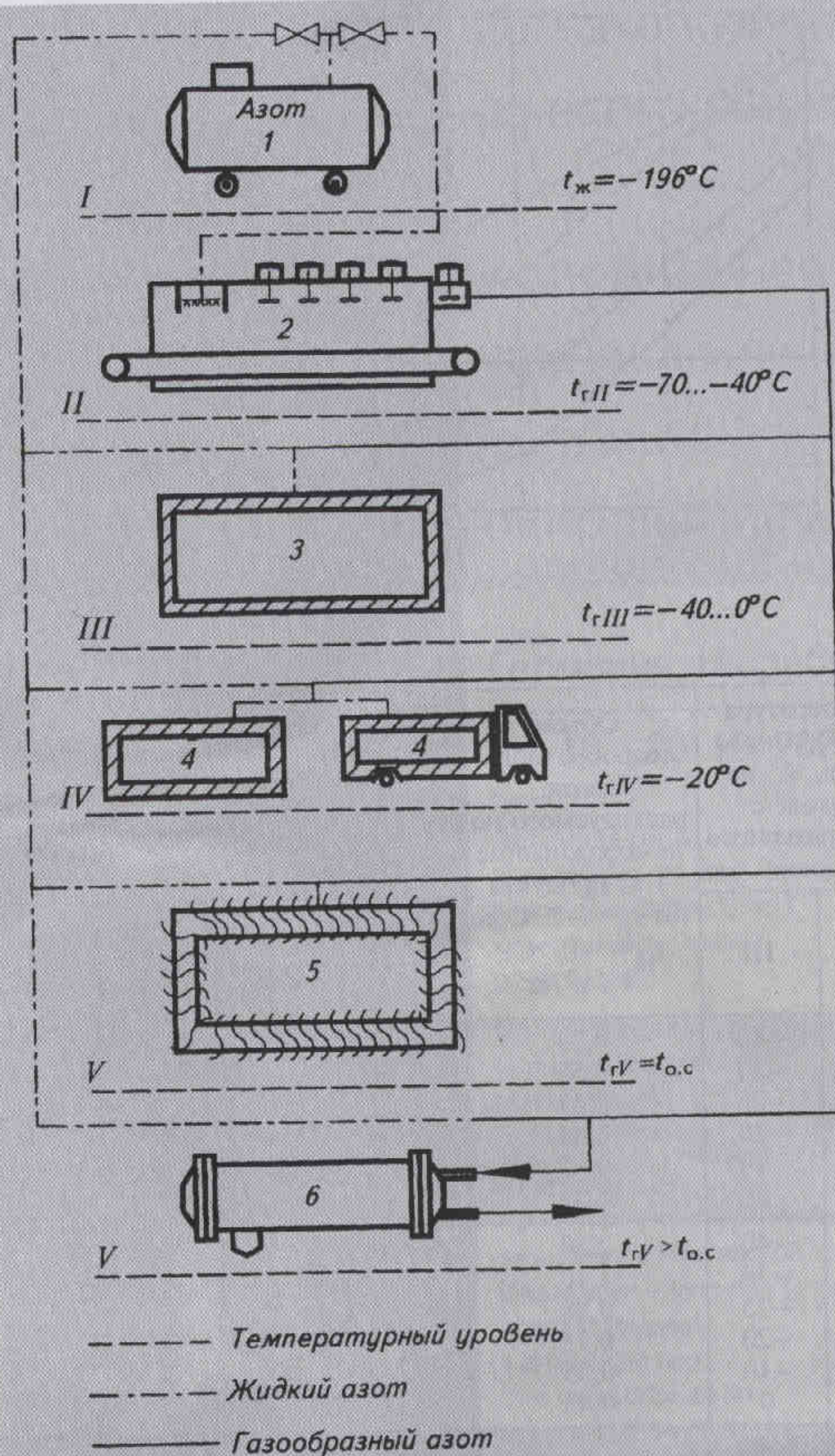


Рис.1. Принципиальная схема проточной системы хладоснабжения с пятью температурными уровнями, обеспечивающая полную реализацию холодильного потенциала жидкого и газообразного азота: 1 – емкость для хранения жидкого азота; 2 – азотный скороморозильный туннельный аппарат (АСТА); 3 – технологический аппарат для домораживания продукта; 4 – камера хранения или средство транспортирования замороженного продукта; 5 – камера хранения продукта с динамической изоляцией; 6 – теплообменный аппарат

ла. Возможно дальнейшее использование такого газообразного хладагента, например, для организации динамической изоляции холодильной камеры, когда его температура на V уровне (t_{rV}) равна температуре окружающей среды ($t_{rV} = t_{o.c.}$), или в качестве хладоносителя в теплообменном аппарате при $t_{rV} > t_{o.c.}$.

Проведена оценка условий организации предлагаемой системы хладоснабжения, основная задача которой – обосновать, на каком температурном уровне исчерпывается возможность использования температурного потенциала газообразного азота и начинается подпитка системы жидким азотом из цистерны (см. рис.1).

Рассмотрим метод оценки на примере холодильной обработки мясных полуфабрикатов, которые в соответствии с классификацией, предложенной К.П.Венгер*, относятся к группе продуктов A_{112} . Продукт замораживают в два этапа с использованием II и III температурных уровней системы хладоснабжения:

- в аппарате АСТА жидким азотом от начальной температуры $t_{II} = 20^\circ\text{C}$ до среднеобъемной $t_V = -2^\circ\text{C}$;
- в технологическом аппарате для домораживания газообраз-

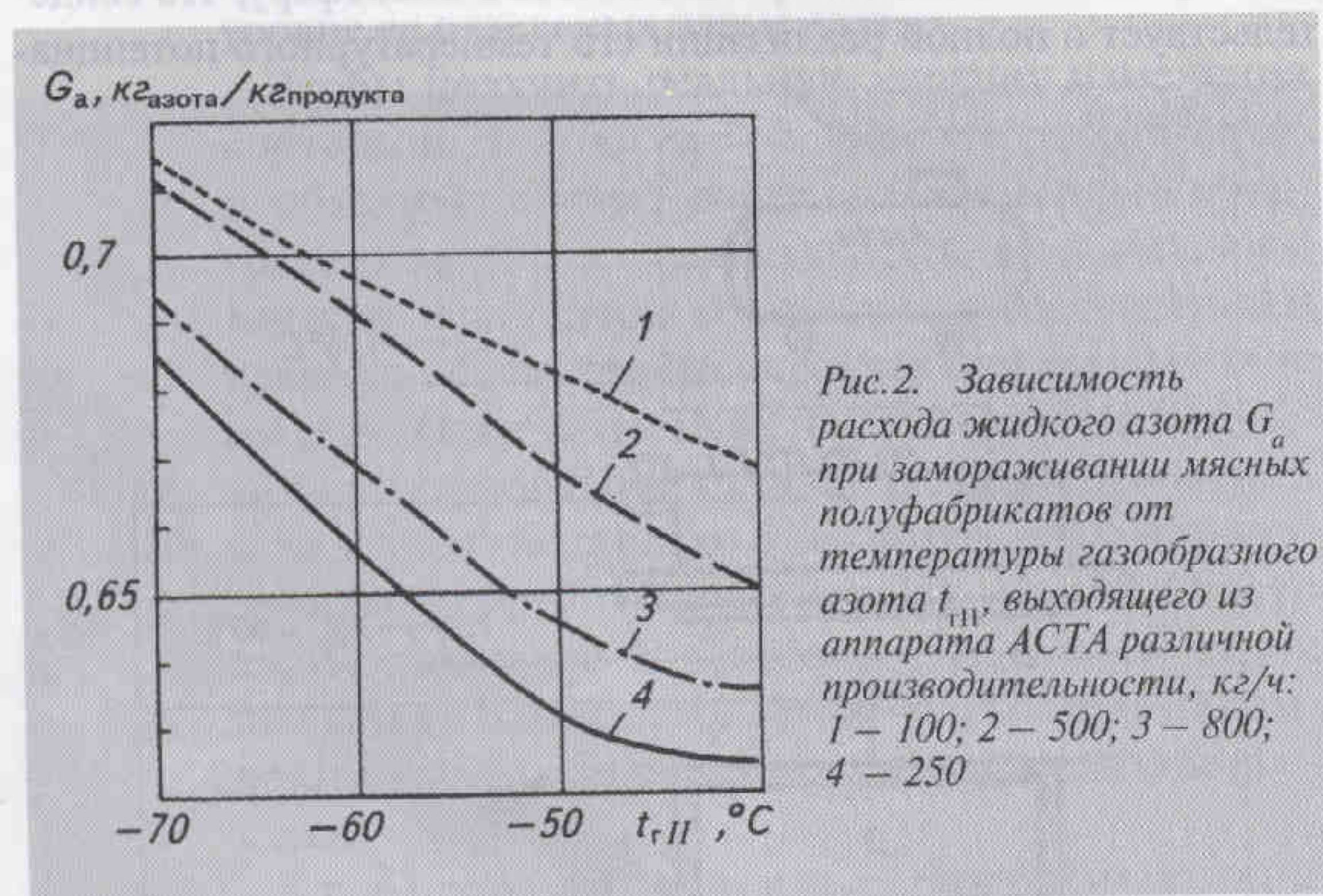


Таблица 1

Температура газообразного азота, $^\circ\text{C}$, на выходе с температурного уровня		Объем газообразного азота, расходуемого на домораживание 1 кг продукта (от $t_V = -2^\circ\text{C}$ до $t_{VK} = -18^\circ\text{C}$), V_r , м ³ /кг	Минимальная температура газообразного азота на выходе с III температурного уровня системы $t_{rIIImin}$, $^\circ\text{C}$, на базе аппаратов			
II	III		АСТА-100	АСТА-250	АСТА-500	АСТА-800
-70	-40	0,73	-27,5	-25,64	-27,2	-25,7
	-30	0,55				
	-25	0,49				
	-20	0,44				
	-10	0,37				
-50	0	0,31				
	-40	2,20	-5,8	-1,85	-4,82	-2,8
	-30	1,10				
	-25	0,88				
	-20	0,73				
	-10	0,55				
-40	0	0,43				
	-40	—	5,4	8,6	5,0	8,3
	-30	2,2				
	-25	1,47				
	-20	1,05				
	-10	1,07				
	0	0,55				

*Венгер К.П., Выгодин В.А. Машинная и безмашинная системы хладоснабжения для быстрого замораживания пищевых продуктов. — М.: Узорочье, 1999.

Температура газообразного азота, $^\circ\text{C}$, на выходе с температурного уровня		Проточная азотная система хладоснабжения на базе аппаратов															
		АСТА-100				АСТА-250				АСТА-500				АСТА-800			
II	III*	II	III	IV	V	II	III	IV	V	II	III	IV	V	II	III	IV	V
-70	-27,5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-50	-2,8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-40	8,3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. I – V – температурные уровни.
 "+" – работа оборудования без подпитки жидким азотом с I температурного уровня;
 "-" – работа оборудования с подпиткой жидким азотом с I температурного уровня;
 * – минимальная температура $t_{rIIImin}$.

ным азотом от $t_V = -2^\circ\text{C}$ до конечной $t_{VK} = -18^\circ\text{C}$.

После замораживания продукт направляют на хранение или транспортируют при $t_{rIV} = -20^\circ\text{C}$ (IV – температурный уровень системы).

Для оценки условий работы проточной системы требуется определить:

- > тепловую нагрузку на аппарат АСТА производительностью по замораживаемому продукту 100; 250; 500 и 800 кг/ч;
- > расход жидкого азота в аппарате АСТА при замораживании продукта от $t_{II} = 20^\circ\text{C}$ до $t_V = -2^\circ\text{C}$ в исследуемом интервале его производительности при варьировании температуры газообразного азота на выходе из аппарата $t_{rII} = -70; -60; -50$ и -40°C ;
- > количество газообразного азота, необходимое для осуществления домораживания в технологическом аппарате от $t_V = -2^\circ\text{C}$ до $t_{VK} = -18^\circ\text{C}$ при варьировании t_{rII} и температуры на выходе из данного аппарата $t_{rIII} = -40; -30; -20; -10$ и 0°C ;
- > минимальную температуру t_{rIII} при исследуемых условиях организации системы хладоснабжения.

Получена графическая зависимость (рис.2) расхода жидкого азота G_a в трехзонном азотном аппарате АСТА на замораживание продукта до $t_V = -2^\circ\text{C}$ от температуры t_{rII} в интервале производительности 100...800 кг/ч.

Результаты расчета количества газообразного азота V_r , необходимого для домораживания продукта, в зависимости от температур выхода со II и III уровней соответственно t_{rII} и t_{rIII} представлены в табл.1. Здесь же даны значения минимальной по модулю температуры $t_{rIIImin}$ выхода паров азота с III температурного уровня с учетом того, что конечная температура замороженного продукта $t_{VK} = -18^\circ\text{C}$. От значений температуры $t_{rIIImin}$ зависит возможность организации работы предлагаемой системы хладоснабжения: без подпитки или с подпиткой жидким азотом из цистерны (табл.2).

Так, при температуре газообразного азота, выходящего из АСТА, $t_{rII} = -70^\circ\text{C}$ минимальная температура после домораживания, т.е. на III температурном уровне, $t_{rIIImin} = -25,7^\circ\text{C}$ – наименьшая из четырех значений, соответствующих различной производительности аппарата. Такая температура позволяет без подпитки жидким азотом от цистерны с I температурного уровня обеспечить работу холодильного оборудования на IV (хранение и транспортирование замороженного продукта) и V температурных уровнях системы хладоснабжения.

При $t_{rII} = -50^\circ\text{C}$ домораживание продукта заканчивается при $t_{rIIImin} = -2,8^\circ\text{C}$. Следовательно, в этом случае на IV и V уровнях оборудование должно работать с подпиткой жидким азотом. Возможен вариант подачи газообразного азота с таким температурным потенциалом на V уровень системы, минуя IV уровень.

При $t_{rII} = -40^\circ\text{C}$ температура $t_{rIIImin} = 8,3^\circ\text{C}$, поэтому без под-

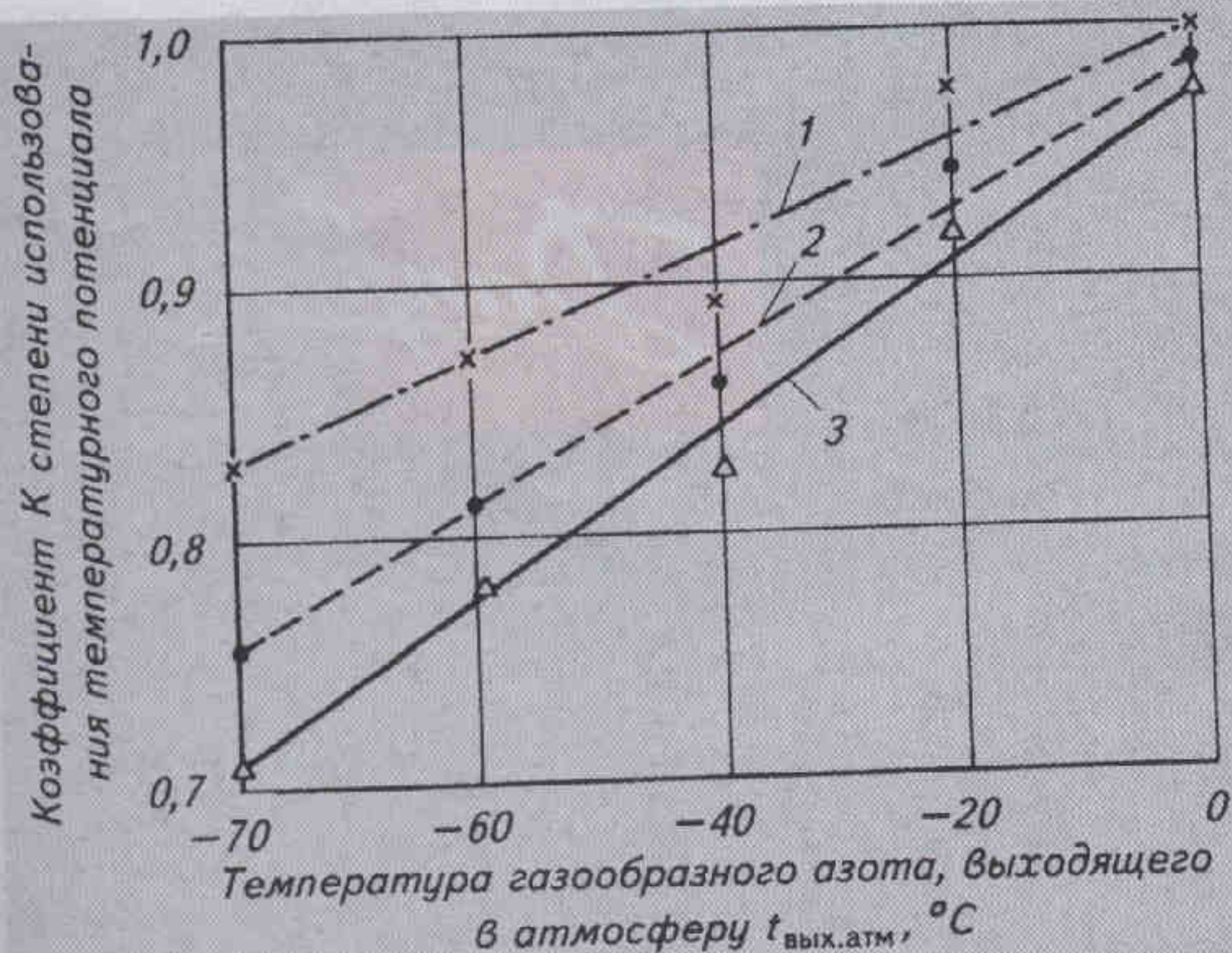


Рис.3. Зависимость степени использования температурного потенциала жидкого и газообразного азота проточной системы хладоснабжения от температуры выходящего в атмосферу газообразного азота $t_{\text{вых.атм}}$ и от температуры окружающей среды $t_{\text{о.с.}}$: 1 - $t_{\text{о.с.}} = 0$ °C; 2 - $t_{\text{о.с.}} = 15$ °C; 3 - $t_{\text{о.с.}} = 30$ °C

питки жидким азотом система работает только на II температурном уровне. В зависимости от технологических нужд газообразный азот с температурой $t_{\text{IIImin}} = 8,3$ °C может подаваться на V уровень холодильной системы.

Таким образом, полученные результаты позволяют количественно оценить рациональный вариант организации температурных уровней предлагаемой азотной системы хладоснабжения, исходя из минимума потребления криоагента.

Данная система (см.рис.1) предусматривает выброс газообразного азота в атмосферу, при этом его температура теоретически должна быть равна температуре окружающей среды, что свидетельствует о полной реализации температурного потенциала криоагента. В действительности же такого не происходит и с выходящим газообразным азотом выносятся некоторое количество холода $Q_{\text{вых}}$.

Для оценки степени использования температурного потенциала жидкого и газообразного азота предлагается расчетный коэффициент K — отношение полезно использованного количества холода Q_x к количеству холода, полученного при полной реализации холодильного потенциала азота:

$$K = Q_x / (Q_x + Q_{\text{вых}}),$$

или

$$K = [r + c_p (t_{\text{вых.атм}} - t_{\text{вх.ап}})] / [r + c_p (t_{\text{вых.атм}} - t_{\text{вх.ап}}) + c_p (t_{\text{о.с.}} - t_{\text{вых.атм}})],$$

где $t_{\text{вых.атм}}$ — температура выходящего в атмосферу газообразного азота, °C;

$t_{\text{вх.ап}}$ — температура жидкого азота, подаваемого в аппарат, °C;

r — скрытая теплота парообразования жидкого азота, $r = 197,5$ кДж/кг;

c_p — удельная теплоемкость азота, $c_p = 1,05$ кДж/(кг·K);

$t_{\text{о.с.}}$ — температура окружающей среды, °C.

Коэффициент рассчитывали при вариантах $t_{\text{вых.атм}}$ от 0 до -70 °C и $t_{\text{о.с.}} = 0; 15$ и 30 °C.

Результаты представлены на рис.3. Полученная зависимость позволяет оценить степень использования температурного потенциала криоагента на каждом уровне проточной системы хладоснабжения.

Например, $t_{\text{вых.атм}} = -60$ °C (II температурный уровень), $t_{\text{о.с.}} = 30$ °C;

$$K = [197,5 + 1,05 (-60 + 196)] / [197,5 + 1,05 (-60 + 196) + 1,05 \times (30 + 60)] = 0,782.$$

При $t_{\text{вых.атм}} = t_{\text{о.с.}}$ коэффициент $K = 1$ и, следовательно, весь температурный потенциал криоагента, как жидкого, так и газообразного, реализуется полностью.



ИКК 2000

21-ая международная
специализированная
выставка по теме
„Холодильная техника
и кондиционирование“

700 экспонентов
со всего мира

Холодильная
техника и
конди-
онирование

Германия, Нюрнберг

18. 10. - 20. 10. 2000

Организаторы выставки
VDKF Wirtschafts- und
Informationsdienste GmbH
Kaiser-Friedrich-Straße 7
D-53113 Bonn

Организация и проведение
NürnbergMesse GmbH
Messezentrum
D-90471 Nürnberg

Информация
Представительство немецкой
экономики в Российской
Федерации — Москва
109017, Москва
1-й Казачий пер., 7
Тел.: 095/2 34 49 50
Факс: 095/2 34 49 51
E-mail: sedowa@diht.msk.ru

Информация о выставке „ИКК“
в интернете:
www.ikk.info-web.de
www.ikk-tradefair.com

VDKF



Danfoss



Электронные блоки управления серии ЕКС DANFOSS

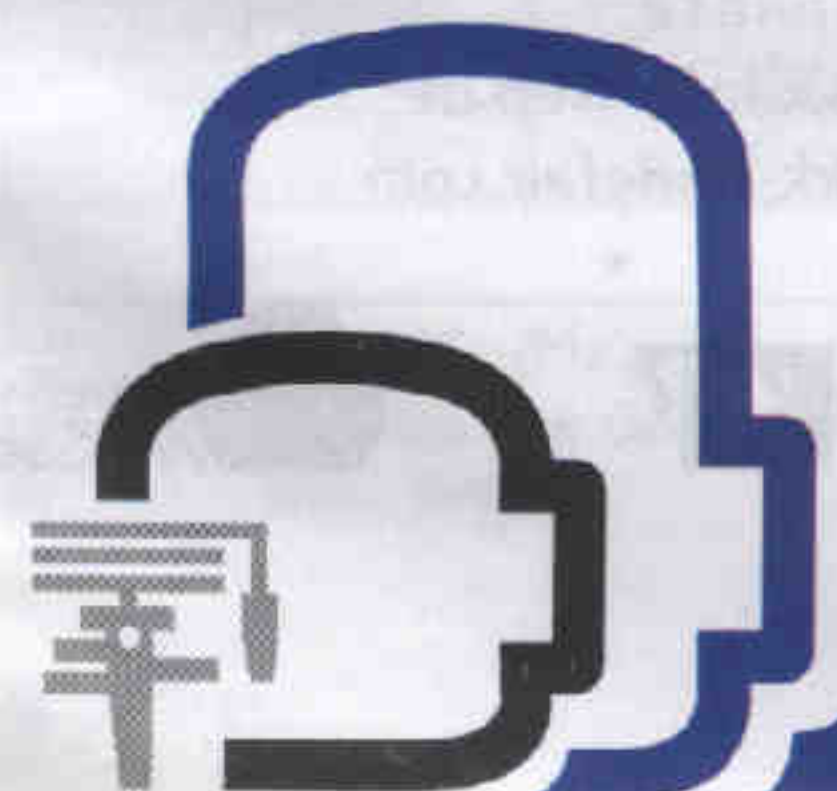
Электронные блоки управления **ЕКС 201** (для установки на панель) и **ЕКС 301** (для монтажа на DIN-рейку) специально разработаны для управления режимами работы холодильных установок таким образом, чтобы максимально возможно оптимизировать и упростить операции установки и программирования

ЕКС 101 - упрощенная версия для установки на панель

- Питание 220 В (перем.)
- Не требует трансформатора
- Контроль температур до 99 °С

Сделаны по мировым стандартам

- Управление температурой
- Управление компрессором
- Управление вентилятором
- Управление режимом оттаивания
- Тревожная сигнализация



Холодильная техника
и кондиционирование воздуха

Больше, чем Вы ожидаете