

УДК 621.5.011 : 664

Г.А. ГОРБЕНКО, д-р техн. наук, Р.Ю. ТУРНА, аспирант

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЩЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Наведено метод техніко-економічного обґрунтування концепції холодопостачання харчового підприємства з залученням алгоритму синтезу складних систем. Для аналізу можливих систем холодопостачання використовуються спеціально розроблені системні математичні моделі. Надана методика дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення вибору системи холодопостачання.

Food industry cooling system technical and economic assessment method is presented. The method is based on algorithm of complex systems engineering synthesis. The mathematical models are developed for analysis of different cooling systems efficiency. The method developed can be used to choose the most efficient cooling system for different similar problems.

При проектировании пищевого предприятия, потребляющего холод, стоит задача выбора типа и схемы холодоснабжения. Это может быть централизованная или распределенная система, на аммиаке, фреоне или углекислом газе, непосредственного либо косвенного охлаждения, с насосной или безнасосной схемой подачи хладагента, с воздушными или испарительными конденсаторами и т.д.

На практике часто решения принимаются без серьезного технико-экономического обоснования (ТЭО), исходя из опыта выполненных ранее проектов или предпочтений той или иной фирмы-разработчика.

В настоящей работе предложена методика технико-экономического обоснования концепции системы холодоснабжения с привлечением алгоритма инженерного синтеза сложных систем* [1].

Алгоритм инженерного синтеза представлен на рис. 1. Все этапы алгоритма находятся в итеративном взаимодействии.

На первом этапе разрабатывается техническое задание на проектируемую систему, в котором приводится набор требований, параметров и условий, которым должна отвечать система холодоснабжения.

Следующий этап – выработка показателей и критериев эффективности.

Выбор альтернативных вариантов заключается в составлении перечня систем, которые по предварительным и экспертным оценкам могут быть использованы для решения поставленной задачи. В процессе исследования с использованием выбранных показателей и критериев эффективности возможен отсев некоторых альтернатив и подключение новых.

Следующие этапы – разработка и исследование системных моделей, выработка технических решений.



Рис. 1. Алгоритм инженерного синтеза сложной системы

* Инженерный синтез сложной системы – исследование, результатом которого являются рекомендации, необходимые для принятия решений по выбору структуры и параметров рассматриваемой системы.

С помощью системного моделирования определяются количественные показатели эффективности рассматриваемых систем. По полученным количественным и качественным показателям эффективности систем принимаются решения по выбору структуры и параметров новой системы.

После выбора структуры и параметров новой системы переходят к ее техническому проектированию.

Рассмотрим методику ТЭО с привлечение алгоритма инженерного синтеза сложных систем на примере системы холодоснабжения убойного производства птицефабрики.

Исходными данными для ТЭО является техническое задание, в котором представлены основные показатели производства (см. табл. 1): план освоения производства, производительность убойной линии, режим работы предприятия на различных этапах освоения производства, объемы производства замороженного и охлажденного мяса и т.д.

Таблица 1. Основные показатели убойного производства птицефабрики

| № | Показатели производства | Очередность освоения производства | | | | |
|----|---|-----------------------------------|------|---------|-----------|-------|
| | | 1 очередь | | 2 очер. | 3 очередь | |
| | | а | б | а | а | б |
| 1. | Год освоения производства | 2006 | 2007 | 2008 | 2010 | 2011 |
| 2. | Производительность убойной линии, птиц/час | 6000 | 6000 | 12000 | 18000 | 18000 |
| 3. | Количество рабочих смен (6 рабочих дней в неделю, смена – 8 часов, из них 8 часов – рабочие). | 1 | 2 | 1,5 | 1,5 | 2 |
| 4. | Общее производство мяса, т/сутки | 94 | 187 | 280 | 420 | 560 |
| 6. | Количество замороженного мяса, т/сутки | 50 | 75 | 125 | 185 | 220 |
| 7. | Емкость камер хранения замороженной продукции, всего тонн | 149 | 248 | 488 | 728 | 728 |
| 8. | Емкость камер хранения охлажденной продукции, всего тонн | 218 | 218 | 327 | 436 | 545 |

На основании технического задания определяют *потребные производственные площади и объемы холодильных камер.*

Далее по данным технического задания рассчитывают *максимальную потребность в холоде* технологических помещений и холодильных камер. Для рассматриваемого производства результаты расчета максимальной потребности холода представлены в таблице 2.

Таблица 2. Максимальная потребность в холоде

| Наименование потребителя | Потребная холодопроизводительность, кВт | |
|--|---|-------------|
| | Этап 1а | Этап 3б |
| 1. Камеры заморозки | 344 | 1514 |
| 2. Камеры хранения замороженной продукции | 40 | 202 |
| 3. Предварительное охлаждение | 570 | 1710 |
| 4. Камеры хранения охлажденной продукции | 187 | 467 |
| 5. Технологические помещения | 196 | 464 |
| Суммарная потребность в холоде (максимальная) | 1337 | 4352 |

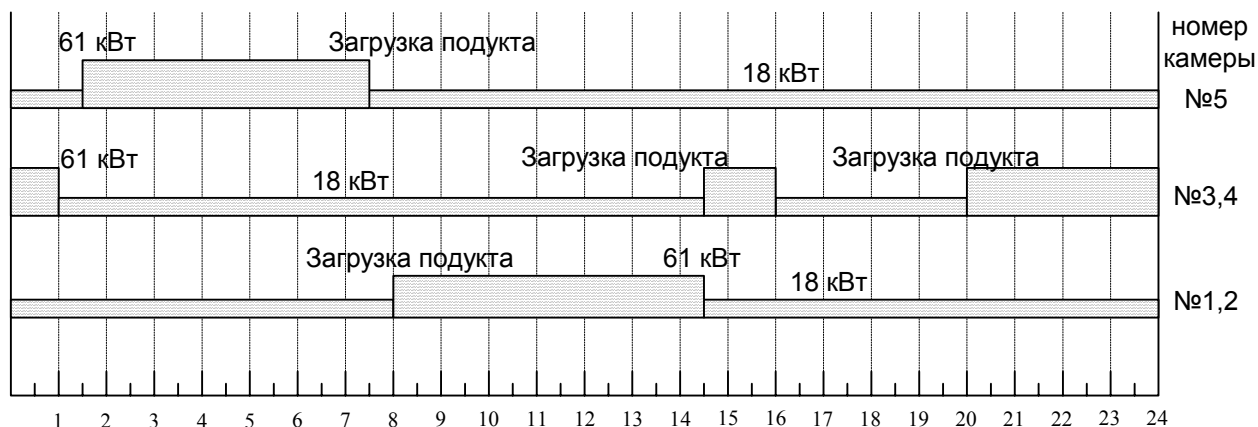


Рис. 2. Графики потребления холода камерами хранения охлажденной продукции на этапе 3б

Эти данные используют для подбора холодильного оборудования. Однако, реальная потребность в холоде изменяется в зависимости от режима работы предприятия, технологического процесса холодильной обработки мяса птицы, суточных и годовых колебаний температуры и влажности атмосферного воздуха. Эту зависимость можно отразить с помощью *суточных и годовых графиков потребления холода*. Учет этих графиков позволяет более точно определять тепловую нагрузку на систему холодоснабжения предприятия. На рис. 2 приведен пример суточного графика потребления холода камерами хранения охлажденной продукции на этапе 3б рассматриваемого убойного производства.

Выбор системы холодоснабжения проводится путем анализа альтернативных схем. В качестве альтернативных систем рассмотрены фреоновая распределенная и централизованная аммиачная системы. Учитывая долговременные коммерческие планы предприятия показатели эффективности систем рассчитывались на первом и последнем этапах освоения производства. Выбранные показатели и критерии эффективности представлены в итоговых таблицах сравнения рассматриваемых вариантов.

Фреоновая распределенная система состоит из холодильных машин, установленных в непосредственной близости от потребителей холода. Каждая холодильная машина состоит из компрессорного агрегата, воздушного конденсатора и одного или нескольких воздухоохлаждателей, размещаемых в технологических помещениях или холодильных камерах.

Схема централизованной аммиачной системы – компаундная [2]. Система состоит из ступеней низкого и высокого давления. Аммиак к потребителям низкотемпературного холода подается насосами от циркуляционного ресивера низкого давления (НД), а к потребителям высокотемпературного холода от циркуляционного ресивера высокого давления (ВД).

Нагнетание от компрессоров ступени НД осуществляется в циркуляционный ресивер ВД. Нагнетание от компрессоров ступени ВД осуществляется в испарительные конденсаторы.

Испарительные конденсаторы оборудованы системами водоподготовки.

Управление всей холодильной установкой осуществляется с помощью центрального пульта управления из комнаты оператора.

Для выбранных альтернативных систем были определены количественные показатели эффективности (капитальные и эксплуатационные расходы). Результаты расчетов представлены в табл. 3 и 4 для этапов 1а и 3б соответственно. В табл. 5 сравниваются эксплуатационные требования, предъявляемые к рассматриваемым альтернативным системам.

Таблица 3. Сравнение показателей эффективности систем холодоснабжения птицефабрики на этапе 1а

| №№ | Наименование показателя эффективности | Аммиачная система | | Фреоновая система | | Критерии |
|---------------------------|--|----------------------------------|------------|-------------------|-------------------------------|-------------|
| | | Этап 1а | Приоритет* | Приоритет* | Этап 1а | |
| Общие требования | | | | | | |
| 1.1 | Капитальные затраты, тыс. EUR | | | | | min |
| | • на холодильное оборудование | 1 225 | – | +++ | 726 | |
| | • на строительство специальных помещений и сооружений для оборудования | 560 | – | +++ | 40 | |
| | ИТОГО: | 1 785 | – | +++ | 766 | |
| 1.2 | Эксплуатационные расходы, тыс. EUR в год: | | | | | min |
| | • затраты на электроэнергию (0,053 евро/кВтч) | 107 | +++ | + | 137 | |
| | • затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования | 24 | + | ++ | 14 | |
| | • заработная плата обслуживающего персонала | 26 | – | +++ | 11 | |
| | • дополнительные затраты | 4 | | | | |
| | – стоимость расходуемой воды на нужды испарительных конденсаторов | 1 | – | +++ | 0 | |
| | ИТОГО: | 162 | ++ | ++ | 162 | |
| 1.3 | Ресурс | | +++ | +++ | | 10 лет |
| 1.4 | Надёжность (резервирование системы) | | ++ | +++ | | max |
| 1.5 | Преимственность разработки, унификация узлов | | ++ | ++ | | высокая |
| Функциональные требования | | | | | | |
| 2.1 | Коэффициент запаса по холодопроизводительности, % | Степень НД: 55 Степень ВД: 45 | +++ | ++ | 15 | |
| 2.2 | Влияние на окружающую среду | Отсутствует | +++ | ++ | Отсутствует (если R22) | Отсутствует |
| 2.3 | Температура кипения хладагента | | | | | выше |
| | – высокотемпературный холод | - 10 °С | ++ | +++ | -4...-10 °С -7 °С +3 °С | |
| | – низкотемпературный холод | - 40 °С | ++ | +++ | -25 °С -35 °С | |
| 2.4 | Температура конденсации хладагента | 25...33 °С | +++ | ++ | 35...45 °С | ниже |

* Приоритеты по показателям эффективности: +++ «отлично»; ++ «хорошо»; + «удовлетворительно»; – «плохо».

Таблица 4. Сравнение показателей эффективности систем холодоснабжения птицефабрики на этапе 3б

| №№ | Наименование показателя эффективности | Аммиачная система | | Фреоновая система | | Критерии |
|----------------------------------|---|---------------------------------|------------|-------------------|-------------------------------|-------------|
| | | Этап 3б | Приоритет* | Приоритет* | Этап 3б | |
| Общие требования | | | | | | |
| 1.1 | Капитальные затраты, тыс. EUR | | | | | min |
| | • на холодильное оборудование | 2 409 | ++ | + | 2 448 | |
| | • на строительство специальных помещений и сооружений для оборудования | 750 | - | +++ | 80 | |
| | ИТОГО: | 3 159 | - | +++ | 2 528 | |
| 1.2 | Эксплуатационные расходы, тыс. EUR в год: | | | | | min |
| | • затраты на электроэнергию (0,053 евро/кВтч) | 440 | +++ | - | 703 | |
| | • затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования | 48 | ++ | + | 49 | |
| | • заработная плата обслуживающего персонала | 33 | - | ++ | 18 | |
| | • дополнительные затраты – стоимость расходуемой воды на нужды испарительных конденсаторов | 8 | | | | |
| | – стоимость расходуемых умягчителей и ингибиторов | 3 | + | ++ | 0 | |
| | ИТОГО: | 532 | +++ | - | 770 | |
| 1.3 | Ресурс | | +++ | +++ | | >10 лет |
| 1.4 | Надёжность (резервирование системы) | | ++ | +++ | | max |
| 1.5 | Преимственность разработки, унификация узлов | | ++ | ++ | | высокая |
| Функциональные требования | | | | | | |
| 2.1 | Коэффициент запаса по холодопроизводительности, % | Степень НД: 12 Степень ВД: 4 | + | ++ | 15 | |
| 2.2 | Влияние на окружающую среду | Отсутствует | +++ | ++ | Отсутствует (если R22) | Отсутствует |
| 2.3 | Температура кипения хладагента | | | | | выше |
| | – высокотемпературный холод | - 10 °С | ++ | +++ | -4...-10 °С -7 °С +3 °С | |
| | – низкотемпературный холод | - 40 °С -30 °С | ++ | +++ | -25 °С -35 °С | |
| 2.4 | Температура конденсации хладагента | 25...33 °С | +++ | ++ | 35...45 °С | ниже |

* Приоритеты по показателям эффективности: +++ «отлично»; ++ «хорошо»; + «удовлетворительно»; - «плохо».

Таблица 5. Сравнение эксплуатационных требований к системам холодоснабжения

| №№ | Наименование показателя эффективности | Аммиачная система | | Фреоновая система | | Критерии |
|-----|---|--|------------|-------------------|--|----------|
| | | Этапы 1а и 3б | Приоритет* | Приоритет* | Этапы 1а и 3б | |
| 3.1 | Пожаро-взрывобезопасность | Аммиак – пожаровзрывоопасное вещество. Смесь с содержанием NH ₃ 200 мг/л – взрывоопасна. Горит NH ₃ при объемном содержании в воздухе 78,5 мг/л | – | +++ | - | min |
| 3.2 | Токсичность | Аммиак токсичен. Предельно допустимая концентр. 0,02 мг/л | – | +++ | - | min |
| 3.3 | Удобство обслуживания | Малое количество компрессоров и агрегатов, большая часть которых всегда работает | +++ | ++ | Большое количество компрессоров и агрегатов со свободным доступом к каждому из них | max |
| 3.4 | Ремонтопригодность | Вместо отказавшего агрегата вводится в строй резервный, а затем производится ремонт | ++ | +++ | Сломанный агрегат отключается и ремонтируется | max |
| 3.5 | Степень автоматизации (автономность) | Параметры поддерживаются автоматически, контроль и управление производится с центрального пульта в машинном отделении | +++ | ++ | параметры поддерживаются автоматически. Управление осуществляется из компрессорных и локальных агрегатов | max |
| 3.6 | Кол-во обслуживающего персонала, чел | Этап 1а: 12 Этап 3б: 15 | + | +++ | Этап 1а: 5 Этап 3б: 8 | min |
| 3.7 | Уровень квалификации обслуживающего персонала | Необходимо иметь специальное образование. Не реже одного раза в 12 мес. проводится проверка знаний персонала по обслуживанию холодильной установки, технике безопасности, инструкции по эксплуатации оборудования и практическим действиям по оказанию доврачебной помощи. | – | +++ | Необходимо иметь свидетельство о окончании специального учебного заведения или курсов | min |

*Приоритеты по показателям эффективности: +++ «отлично»; ++ «хорошо»; + «удовлетворительно»; – «плохо».

Эксплуатационные расходы определялись за год работы холодильного оборудования. Ключевым параметром, определяющим уровень эксплуатационных расходов, является годовое потребление электроэнергии. Для его определения использовались специально разработанные системные математические модели. В моделях, кроме реального суточного и годового графика холодопотребления предприятием, учитывались суточные и годовые колебания температуры и влажности окружающего воздуха.

Как видно из результатов расчета на этапе 1а явным преимуществом обладает фреоновая распределенная система, а на этапе 3б централизованная аммиачная.

В рассмотренной методике ТЭО концепции холодоснабжения пищевого предприятия с привлечением алгоритма инженерного синтеза, для расчета годового энергопотребления используются специально разработанные системные математические модели холодильных установок, позволяющие учесть влияние параметров окружающей среды и реальный график холодопотребления. В отличие от обычно используемых расчетов энергопотребления на основе холодильного коэффициента и коэффициента загрузки системы, результаты, получаемые на основе системного моделирования, являются значительно точнее, а принимаемое решение более обоснованным.

Конечное решение по выбору концепции холодоснабжения должен принимать Заказчик исходя из располагаемых ресурсов, перспектив развития рынка, допустимых коммерческих рисков, тенденций роста цены на электроэнергию и т.д. Задача же разработчиков ТЭО состоит в рассмотрении возможных вариантов решения поставленной задачи и выработке объективных показателей эффективности.

Литература

1. *Лебедев А.А., Баранов В.Н., Бобронников и др.* Основы синтеза систем летательных аппаратов / Под ред. *Лебедева А.А.* – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с., ил.
2. *Чумак И.Г., Никульшина Д.Г.* Холодильные установки. Проектирование: Учеб. пособие для вузов. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 280 с. – 97 ил. – Библиогр.: 44 назв.

© Горбенко Г.А., Турна Р.Ю., 2006