

Д-р техн. наук
В.М.СТЕФАНОВСКИЙ
ВНИИХИ

Холодильно-технологические сети: системная интеграция

A new notion is introduced — a refrigerating-technological network. It is shown that not only a refrigerating installation and the product to be treated enter the refrigerating-technological network, but also a total amount of information about the quality of execution of technological operations. This will allow in due time to fulfil a managing influence on the system and thus to unnone obtaining of a high quality product. The main concept — a transition from private technological solutions to the branch network ones, taking into consideration specificity of a particular enterprise.

Среди звеньев непрерывной холодильной цепи, понятие о которой было введено в прошлом столетии, есть особое звено — холодильно-технологическое. Оно функционирует не как отдельная независимая единица, а является частью технологической сети, в которой сырье превращается в готовый продукт.

До сих пор ни технологи, ни механики-холодильщики не пытались численно оценить непосредственное или косвенное влияние на работу холодильно-технологического звена как самого продукта, так и других (не холодильных) машин и аппаратов в сети.

Руководителей же производств в большей степени интересуют не «лоскутные» холодильные разработки, а сквозные технологии, для реализации которых все сложнее находить верные решения на интуитивном уровне. Всегда есть опасение, что стремление к локальной оптимизации какой-либо части системы может нанести ущерб интересам других ее частей и системы в целом.

В отраслевых НИИ собственных разработок по реализации принципа сквозного управления производственными сетями, в частности холодильно-технологическими, явно недостаточно. Рекомендация же для внедрения на отраслевых предприятиях Методика определения стабильности и уровня целостности технологических систем, созданная в Россельхозакадемии академиками В.А.Панфиловым, Е.И.Сизенко и руководителем межотраслевой лаборатории С.П.Андреевым, носит общий характер и нуждается в уточнении применительно к конкретным отраслям. Наконец, готовность рынка к восприятию новых управленческих технологий также недостаточна.

Исходя из специфики ВНИИХИ, нам приходится решать проблемы, касающиеся холодильно-технологических сетей.

Холодильно-технологическая сеть — это новый термин. В отличие от общеизвестных инженерных сетей, таких как электрическая, водоснабжения, вентиляции, холодильно-технологическая сеть характеризуется тремя основными особенностями.

Первая особенность. Холодильно-технологическая сеть проводит через себя будущий пищевой продукт.

Поэтому один из основных классификационных признаков холодильных сетей — принадлежность к обслуживаемой отрасли промышленности. Приходится тесно взаимодействовать с отраслевыми группами предприятий. Для групп мясной, молочной, рыбной отраслей холодильно-технологическая сеть является довольно весомой, но не самой главной составляющей в общей технологической системе. В другой группе предприятий, например по выработке мороженого, быстрозамороженных блюд или полуфабрикатов и пищевого льда, холодильно-технологическая сеть представлена подавляющим большинством звеньев в общей технологической системе. В любой отраслевой группе холодильно-технологическая сеть несет в себе немалую долю ответственности за качество и безопасность пищевых продуктов.

Вторая особенность. Холодильно-технологическая сеть включает не только холодильную установку, где теплота отводится от продукта, но и сам обрабатываемый продукт:

Холодильно-технологическая сеть = Холодильная установка + Обрабатываемый продукт.

При этом качество полученного продукта зависит не только от набора, но и от последовательности технологических операций.

Третья особенность. Направленное воздействие на продукт, проходящий по холодильно-технологической сети, вызывает ответную реакцию, в результате чего изменяется работа оборудования в сети. Такого явления не наблюдается в других сетях, например в компьютерной, когда никакие алфавитно-цифровые данные, с которыми оперирует компьютер, не способны повлиять на его работу.

Анализ работы холодильно-технологической сети, предназначенной, например, для замораживания мяса в полутушах, показывает следующее:

- полутуши каждый раз по-новому формируют живое сечение в системе циркуляции воздуха;
- при загрузке в камеру очередной партии полутуш теплота, выделяемая мясом, вызывает бурное вскипание хладагента и значительное увеличение гидродинамического сопротивления в трубопроводах. В результате хладагент поступает в соседние воздухоохладители, а не в те, которые должны снимать пиковые тепловые нагрузки;
- влага, испарившаяся из мяса, вымораживается на отдельных воздухоохладителях неравномерно, и система воздухораспределения начинает подавать воздушный поток также неравномерно (расход воздуха по длине камеры изменяется);
- нестационарный тепломассообмен между полутушами и воздухом (вызванный различием теплофизических свойств мяса, формы полутуш и условий внешнего теплообмена) изменяет нагрузку на работающую холодильную машину и соответственно коэффициент подачи компрессора, степень за-

Под-система	Выходной показатель подсистемы	Статистические характеристики выходных показателей подсистем				
		$\bar{x}_i$	$\bar{x}_i \pm \sigma_i$	P_i	H_i	η_i
A	$v_{згр}$, Т/ч	8,3	6,3...10,3	0,8	0,71	0,29
B	u , м/с	0,38	0,21...0,55	0,6	0,97	0,03
C	t_c , °C	-24,4	-20,6...-28,2	0,7	0,88	0,12

Примечание. $v_{згр}$ — скорость загрузки туш в камеру; u — скорость движения воздуха в камере; t_c — температура воздуха в камере; $\bar{x}_i$ — среднееарифметическое значение случайной величины; σ_i — среднеквадратичное отклонение случайной величины.

полнения хладагентом промежуточных сосудов, циркуляционных ресиверов и другие параметры, что снижает эффективность работы холодильной машины.

Такие свойства характерны для холодильно-технологической сети в целом и не проявляются на уровне ее отдельных элементов.

Чтобы получить реальную картину изменения состояния холодильно-технологической сети, необходимо обеспечивать своевременный сбор, хранение и анализ статистической информации о качестве исполнения технологических операций и вовремя осуществлять управляющее воздействие на сеть. Опыт свидетельствует о том, что эффективность работы холодильно-технологической сети зависит не столько от возможностей установленного оборудования, сколько от способности диагностической подсистемы выявить источник патологии и передать эту информацию лицам, принимающим решение в реальном масштабе времени.

Таким образом, «сетевые технологии» должны предусматривать работу как с продуктом, так и с информацией:

Холодильно-технологическая сеть = Холодильная установка + Продукт + Информация.

Одна из ключевых концепций ВНИХИ — переход от способов выполнения и машинно-аппаратурного оформления частных технологических решений к отраслевым «сетевым» решениям, учитывающим специфику каждого конкретного предприятия. Это новый шаг, суть которого — в создании систем управления качеством в работающей холодильно-технологической сети средствами информационных технологий. Основные этапы: выявление источников патологии; принятие превентивных мер, обеспечивающих адекватность параметров процесса показателям, заложенным в технологическую инструкцию; научно обоснованный выбор наилучших решений по совершенствованию или дальнейшему развитию технологической сети.

Приведем пример по мясоперерабатывающей отрасли. Как показывает практика эксплуатации холодильников мясокомбинатов, до недавнего времени фактические потери от усушки при однофазном замораживании мяса превышали нормативные более чем на 40 %, а продолжительность замораживания полутуш была в 2 — 2,5 раза больше указанной в технологической инструкции. Это подтверждено специалистами ВНИХИ, ВНИИМПа, Гипромясо

и других организаций при совместном проведении технологического аудита.

Холодильно-технологическую сеть в данном случае представили как совокупность подсистем A, B и C.

Подсистема A — это группа полутуш, размещенных на подвесном пути с определенным зазором и загружаемых с некоторой скоростью в зону холодильной обработки.

Подсистема B обеспечивает движение воздуха через живое сечение между полутушами с технологически необходимой скоростью.

Подсистема C поддерживает температуру воздуха, требуемую для замораживания полутуш в течение заданного времени.

Индекс качества исполнения технологических операций в сети (его называют также стабильностью) оценивали по выражению

$$\eta_i = 1 - H_i / H_{\max}, \quad (1)$$

где $H_{\max}$ — максимальное значение информационной энтропии, равное 1 для бинарной системы при полной неопределенности возможного исхода; H_i — энтропия в i -й подсистеме, рассчитываемая по формуле

$$H_i = -\sum P(x_i) \log P(x_i),$$

где $P(x_i)$ — вероятность попадания случайной величины в интервал $[x_{i-1}, x_i]$ технологического допуска.

Данные промышленных испытаний камер однофазного замораживания мяса показали, что стабильность подсистемы B относительно других подсистем наименьшая (см. таблицу).

Поэтому совершенствование холодильно-технологической сети следует начинать с поиска эффективного способа повышения стабильности подсистемы B, обеспечивающей выравнивание промораживания полутуш.

Из разработанного нами математического описания технологической операции «замораживание» ясно, что различные части полутуш следует обрабатывать воздухом разных температуры и скорости, в то время как традиционно их стремятся поддерживать одинаковыми и постоянными.

Предложено научно обоснованное решение об организации в камере двухконтурной циркуляции воздуха, обеспечивающей сбалансированный теплоотвод от полутуш. Испытания модернизированных камер показали, что стабильность подсистемы B увеличилась с 0,03 до 0,29. Производительность морозильной камеры возросла в 1,5 раза. Усушка мяса стала на 20 — 30 % ниже нормативной. Замораживание мяса в камерах на ряде мясокомбинатов проводят теперь в режиме суточной оборачиваемости без промежуточного оттаивания воздухоохладителей.

Таким образом, значительно повысить рентабельность конкретного производства можно не только путем технического перевооружения, что связано с необходимостью больших инвестиций, но и путем достижения сбалансированной работы подсистем холодильно-технологической сети с временной согласованностью между ними, а также регулярно проводимого тестирования подсистем.