

Выводы. В ходе решения задачи проектирования структуры ТП был выполнен анализ, сформулирована постановка задачи проектирования производственной структуры, предложен эвристический метод решения и реализован в виде программы. Разработанный метод дает точный результат и может быть использован для технологических процессов, имеющих не более десяти операций, так как при их увеличении трудоемкость алгоритма резко возрастает. Использование данного программного средства позволяет оператору решить задачу определения оптимального состава оборудования и тем, самым повысить эффективность деятельности предприятия.

В дальнейшем необходимо: модифицировать метод для обработки непрерывного материального потока; решить задачу последовательности запуска материалов на обработку; синтезировать имитационную модель структуры технологического процесса и провести имитационные эксперименты.

Литература

1. Глазунов В.Н. Поиск принципов действия технических систем М.: 1990.
2. Кандырин Ю.В., Шкурина Г.Л. Процедуры генерации и выбора при проектировании технических объектов Волгоград, 1999.
3. Организация производственных процессов на механизированных почтовых предприятиях / И. И. Жадько, С. Н. Складенко, Я. М. Корж. - - Москва : Связь, 1979. - . - 222 с.

УДК 681.5:664.046

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СРЕДСТВАМИ ГАРАНТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ: УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

Хобин В.А., д-р техн. наук, профессор, Мазур А.В., канд. техн. наук, доцент,
Степанов М.Т., канд. техн. наук, доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В статье рассматривается путь снижения энергетических затрат на ведение технологических процессов тепловой обработки пищевых продуктов, связанный с совершенствованием систем автоматического управления процессами. Сформулированы два принципа такого совершенствования. Первый состоит в повышении динамической точности стабилизации регулируемых температур в окрестности заданных значений. Второй – в изменении этих заданных значений таким образом, чтобы температуры максимально приближались к их предельно допустимым значениям, не нарушая их с заданной гарантированной вероятностью. Эффективность сформулированных принципов иллюстрируется на примере пастеризации молока.

The questions of energy expenses reduction in technological processes of thermal processing foodstuff due to perfection of automatic control systems are considered. Two principles of such perfection are formulated. The first consists in increase of dynamic accuracy of stabilization of regulated temperatures of process in a vicinity of preset meaning. The second - in change of these given meaning so that these temperatures as much as possible approach to the own maximum-permissible meaning, but with beforehand guaranteed probability did not leave outside them. On the example of work pasteurizing plant the essence of offered principles is illustrated, and results of their application are shown.

Ключевые слова: пищевые технологии, тепловая обработка, автоматическое управление, энергосбережение, качество.

Технологические процессы (ТП), движущей силой которых является разность температур сред, участвующих в процессе, а целью взаимодействия этих сред является изменение температуры одной из них, называют тепловыми. В отраслях пищевой промышленности это, прежде всего, процессы тепловой обработки, которые составляют значительную часть технологий производства и хранения пищевых продуктов. Являясь весьма энергоемкими, они в значительной степени определяют себестоимость продукции. Стремление снизить энергетическую составляющую затрат в свое время стимулировало разработку и применение энергосберегающего оборудования, предусматривающего различные формы утилизации тепла. К настоящему времени ресурсы энергосбережения за счет утилизации тепла практически исчерпаны. **Необходимы новые подходы.** Не отрицая большой значимости в этих подходах поиска принципиально новых технологий, подчеркнем, что традиционные технологии сегодня реализуются энергетически недостаточно эффективно. Термин «реализуются» указывает на то, что в значительной мере эта неэффективность обуславливается неэффективностью управления этими тепловыми ТП (ТПП). Важно отметить, что когда идет речь об

управлении ТП, то под этим термином понимается *автоматическое управление*.

Важным резервом энергосбережения является ведение ТПП в энергосберегающих режимах. Однако их практическая реализация сдерживается весьма важным обстоятельством – энергосбережение возрастает по мере приближения технологических режимов к предельно-допустимым. Эти допуски обусловлены, прежде всего, биологическими изменениями в пищевых продуктах при их тепловой обработке:

- а) получение необходимого технологического эффекта тепловой обработки продукта обуславливает значения минимально-допустимых температур (ограничения «снизу»);
- б) сохранение необходимых свойств продукта обуславливает значения максимально-допустимых температур (ограничения «сверху»).

Нарушения границ допусков приводит к потерям, которые могут быть несоизмеримо выше экономического выигрыша от реализации энергосберегающих режимов. Таким образом, возникает противоречие между выигрышем от энергосбережения и потерями, возникающими из-за нарушений регламентов ведения ТПП. Искать компромисс между ними, основываясь на экономических критериях, бесперспективно, т.к. появление нарушений и их экономические последствия не обладают статистической устойчивостью и, кроме того, они могут быть сопряжены с резко негативным влиянием на здоровье людей – потребителей продукции, а также потерей позиций предприятия на рынке.

Разрешить это противоречие, по крайней мере, максимально его сгладить, возможно совершенствуя системы автоматического управления (САУ) ТПП. Главным в этом совершенствовании должно стать повышение интеллектуального уровня этих систем, т.е. интеллектуального уровня алгоритмов, которые получают и обрабатывают информацию о ходе процесса, формируя на этой основе управляющие воздействия [1]. Материальной основой, позволяющей вести такое совершенствование, являются современные контроллерно-компьютерные программно-технические средства автоматизации, которые снимают практически любые ограничения на сложность реализуемых алгоритмов. Следует отметить, что заметного экономического эффекта от применения этих средств можно ожидать только тогда, когда они реализуют *новые* функции управления или на более высоком уровне реализуют традиционные функции. Именно это и обуславливает требование повышения интеллектуального уровня систем управления. Сама по себе замена простейших средств управления на самые совершенные при реализации последними тех же самых функций может дать лишь декоративный эффект.

Изложенное выше определяет следующие два основных принципа совершенствования САУ тепловыми процессами пищевых технологий:

- а) реализация системой *новой* функции – функции гарантированного соблюдения ограничений регламента (системы, реализующие такую функцию, были названы системами гарантирующего управления (СГУ) [1]);
- б) повышение качества реализации системой традиционной функции – функции регулирования.

Важно отметить, что функция регулирования обеспечивает стабилизацию регламентированных параметров процесса на заданных значениях, динамическая точность которой, в конечном итоге, определит степень близости рабочих режимов к предельно-допустимым, и, следовательно, и величину энергосбережения. Актуальность совершенствования функции регулирования, т.е. невысокая динамическая точность стабилизации регламентированных параметров, обуславливается характерными свойствами ТПП, как объектов управления (ОУ):

- а) каналы управления объектов имеют значительные запаздывания и инерционности, обусловленные распределенностью процессов теплообмена в пространстве;
- б) тепловые режимы в различных частях тепловых аппаратов из-за контуров утилизации существенно взаимозависимы.

Для демонстрации результатов решения задачи повышения энергетической эффективности ТПП на сформулированных выше принципах совершенствования САУ в качестве примера рассмотрим процесс пастеризации и охлаждения молока. Для него регламентированы и имеют ограничения следующие технологические переменные:

- а) температура пастеризации (θ_n) – ограничение «снизу» $\theta_n^{sp-} - 75$ °С. При «недогреве» молока включается его рециркуляция, что приводит к дополнительным затратам энергоносителя, снижению производительности пастеризационно-охладительной установки (ПОУ) и качества готовой продукции;
- б) температура охлаждения (θ_o) – ограничение «сверху» $\theta_o^{sp+} - 6$ °С. При «недоохлаждении» молока резко сокращаются сроки его хранения.

В традиционных системах управления указанные переменные поддерживаются регуляторами температуры пастеризации и температуры охлаждения молока в окрестности фиксированных заданных значений θ_n^{sd} , θ_o^{sd} , удаленных от границ θ_n^{sp-} и θ_o^{sp+} на такие расстояния, чтобы при всех возможных вариациях условий ведения процессов вероятность нарушения ограничений была бы незначительной, такой, чтобы эти нарушения существенно не снижали эффективность процесса. Очевидно, что численные значения вероятностей этих нарушений никогда не рассчитывались, а сами заданные значения определялись приблизительно исходя из опыта и принципа «лучше перестраховаться».

Структурная схема СГУ рассматриваемым ТТП, реализующая функцию регулирования с повышенной динамической точностью и функцию гарантирования приведена на рис. 1 Темным тоном на рисунке выделены модули, реализующие необходимые дополнения к традиционным алгоритмам управления.

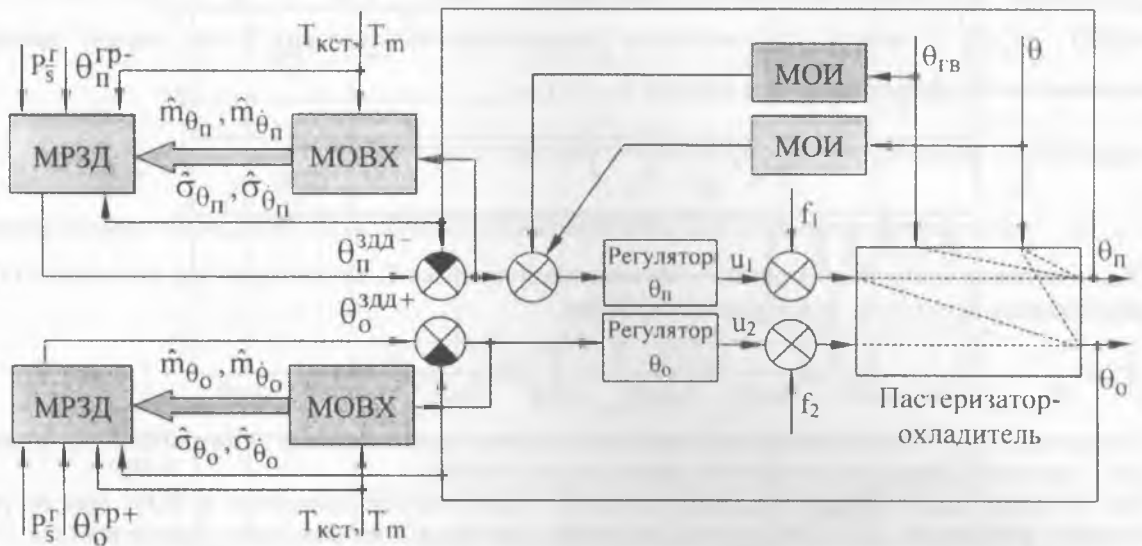


Рис.1 Структурная схема СГУ процессами пастеризации и охлаждения молока в ПОУ

Рассмотрим конкретные пути реализации рассмотренных принципов. Целесообразным путем повышения динамической точности стабилизации регламентированных (регулируемых) переменных, который показал свою эффективность на практике, является путь использования в алгоритмах систем автоматического регулирования (САУ) дополнительной информации о ходе процессов. Она позволяет обеспечить упреждающую реакцию управляющего устройства на возмущения. Для тепловых процессов, оборудование которых представляет собой распределенные в пространстве теплообменники, получение такой информации принципиальных трудностей не вызывает. В зависимости от того, информация о каких переменных используется, САУ строится на основе принципов инвариантности, автономности или каскадности. В рассматриваемом примере для повышения динамической точности САУ использован принцип инвариантности (независимости) температуры пастеризации молока θ_n относительно колебаний температур молока на входе секции пастеризации (θ) и температуры греющей воды ($\theta_{гв}$). Он реализуется за счет введения в алгоритм управления специальных корректирующих алгоритмов, формируемых модулями обеспечения инвариантности (МОИ), сигналы с выходов которых подаются на вход регулятора температуры θ_n . Конкретный вид этих алгоритмов определяется в ходе соответствующей процедуры их синтеза. Их реализация сводится к решению в реальном времени дифференциальных уравнений первого или второго порядка с непрерывно-изменяющейся входной переменной.

Повышение динамической точности, хотя и является важным шагом для повышения энергетической эффективности работы ПОУ, но оно принципиально не может обеспечить ее максимально-достижимое значение. В реальных, изменяющихся непредсказуемым образом условиях работы ПОУ, выполнить требование гарантированного соблюдения установленных регламентом ограничений без введения функции гарантирования невозможно.

Среди возможных альтернатив построения СГУ [2] в качестве наиболее целесообразного к практическому применению выбран принцип построения СГУ с расчетом гарантирующего управления непосредственно по модели нарушения регламента. В этом случае вместо **фиксированных** заданных значений температур пастеризации θ_n^{zd} и охлаждения θ_o^{zd} в реальном времени непрерывно рассчитываются новые максимально близкие к θ_n^{zd} и θ_o^{zd} , допустимые заданные значения температур пастеризации и охлаждения θ_n^{zd-} и θ_o^{zd+} :

$$\theta_n^{zd-}(t) = \theta_n^{zd} - \hat{\sigma}_{\theta_n}(t) \sqrt{2 \ln \left| \frac{T \hat{\sigma}_{\theta_n}(t)}{2\pi \hat{\sigma}_{\theta_n}(t) \ln P_s^z(\theta_n^{zd-}, T)} \left\{ \exp \left(-\frac{\hat{m}_{\theta_n}^2(t)}{2\hat{\sigma}_{\theta_n}^2(t)} \right) + \frac{\sqrt{2\pi} \hat{m}_{\theta_n}(t)}{\hat{\sigma}_{\theta_n}(t)} \Phi \left(\frac{\hat{m}_{\theta_n}(t)}{\hat{\sigma}_{\theta_n}(t)} \right) \right\} \right|}, \quad (1)$$

$$\theta_o^{zd+}(t) = \theta_o^{zd} + \hat{\sigma}_{\theta_o}(t) \sqrt{2 \ln \left| \frac{T \hat{\sigma}_{\theta_o}(t)}{2\pi \hat{\sigma}_{\theta_o}(t) \ln P_s^z(\theta_o^{zd+}, T)} \left\{ \exp \left(-\frac{\hat{m}_{\theta_o}^2(t)}{2\hat{\sigma}_{\theta_o}^2(t)} \right) - \frac{\sqrt{2\pi} \hat{m}_{\theta_o}(t)}{\hat{\sigma}_{\theta_o}(t)} \Phi \left(\frac{\hat{m}_{\theta_o}(t)}{\hat{\sigma}_{\theta_o}(t)} \right) \right\} \right|}, \quad (2)$$

где $P_i^z(\theta^{гр±}, T)$ – наперед заданные (гарантируемые) значения вероятностей отсутствия нарушений ограничений $\theta^{гр±}$ на интервале времени T (здесь и далее отсутствие у обозначения температуры индекса «п» или «о» означает, что указываемое относится и к θ_p и к θ_o);

$\hat{m}_\theta(t)$, $\hat{m}'_\theta(t)$ – оценки изменяющегося математического ожидания и его первой производной, вычисляемые на скользящем интервале времени $T_m \ll T_{кст}$:

$$\hat{m}_\theta(t) = \frac{1}{T_m} \int_t^{t+T_m} \theta(t) dt, \quad \hat{m}'_\theta(t) = \frac{1}{T_m} \int_t^{t+T_m} \dot{\theta}(t) dt. \quad (3)$$

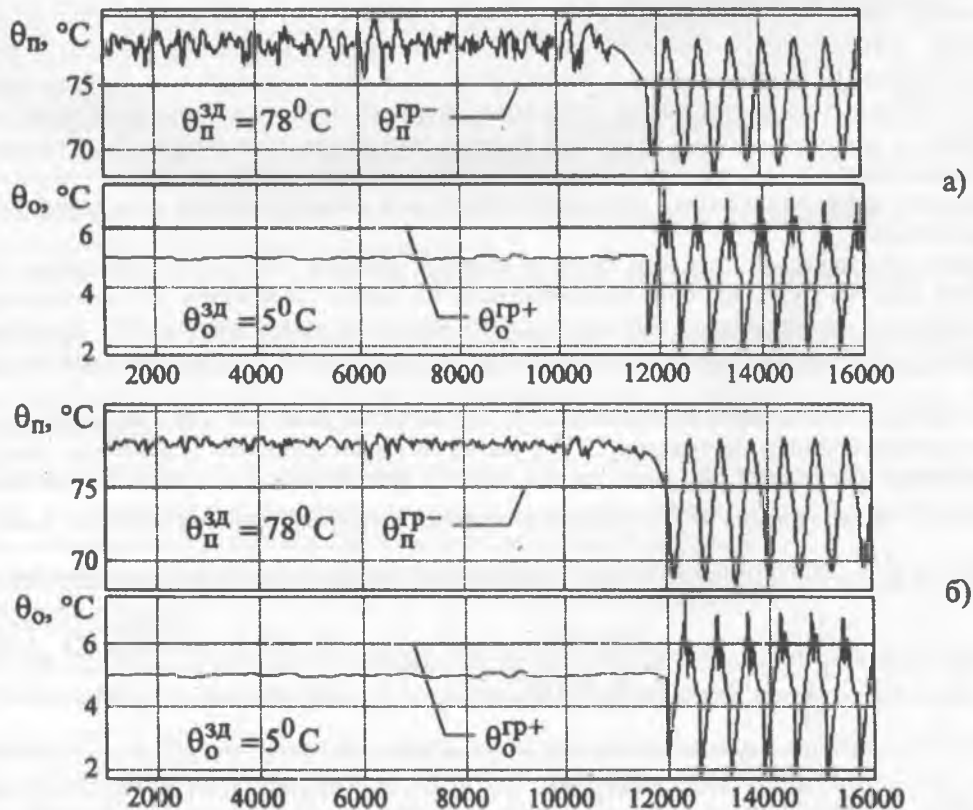
$\hat{\sigma}_\theta$, $\hat{\sigma}'_\theta$ – оценки среднеквадратических отклонений, вычисляемые на скользящих интервалах времени $T_{кст} \leq T$ ($T_{кст}$ – интервал квазистационарности – минимальный интервал T , для которого еще выполняется гипотеза о квазистационарности $\theta(t)$ на этом интервале времени).

$$\hat{\sigma}_\theta = \frac{1}{T_{кст}} \int_t^{t+T_{кст}} (\theta(t) - \hat{m}_\theta)^2 dt; \quad \hat{\sigma}'_\theta = \frac{1}{T_{кст}} \int_t^{t+T_{кст}} (\dot{\theta}(t) - \hat{m}'_\theta)^2 dt. \quad (4)$$

Алгоритмы (1) и (2) реализуются модулями расчета допустимых заданных значений (МРЗД), а алгоритмы (3) и (4) – модулями оценки вероятностных характеристик (МОВХ).

Рис. 2 иллюстрирует изменения энергетической эффективности процессов в ПОУ при ее работе с различными вариантами САУ. Результаты получены методами имитационного моделирования [3]. Они показали, что при управлении тепловыми процессами на основе СГУ, за счет повышения динамической точности функции регулирования и целенаправленного непрерывного перерасчета текущих заданных значений – реализации функции гарантирования, удастся снизить удельные энергозатраты примерно на 20 % при гарантированном соблюдении ограничений, установленных его регламентами.

При моделировании были приняты следующие цены на энергоносители: пар – 300 грн./т; рассол – 50 грн./т; вода – 3,5 грн./т. Следует отметить, что абсолютные значения приведенных цен влияют на значения соотношений удельных энергозатрат $Z_{уд}$ незначительно. Величины удельных энергозатрат (см. рис. 2 «г») определялись к моменту на интервале времени 0...12000 с. (За этим интервалом времени модель ПОУ отражает режим ее работы, когда коэффициенты теплопередачи из-за отложения сухих веществ на стенках теплообменников не позволяют прогревать молоко до нужной температуры без его рециркуляции).



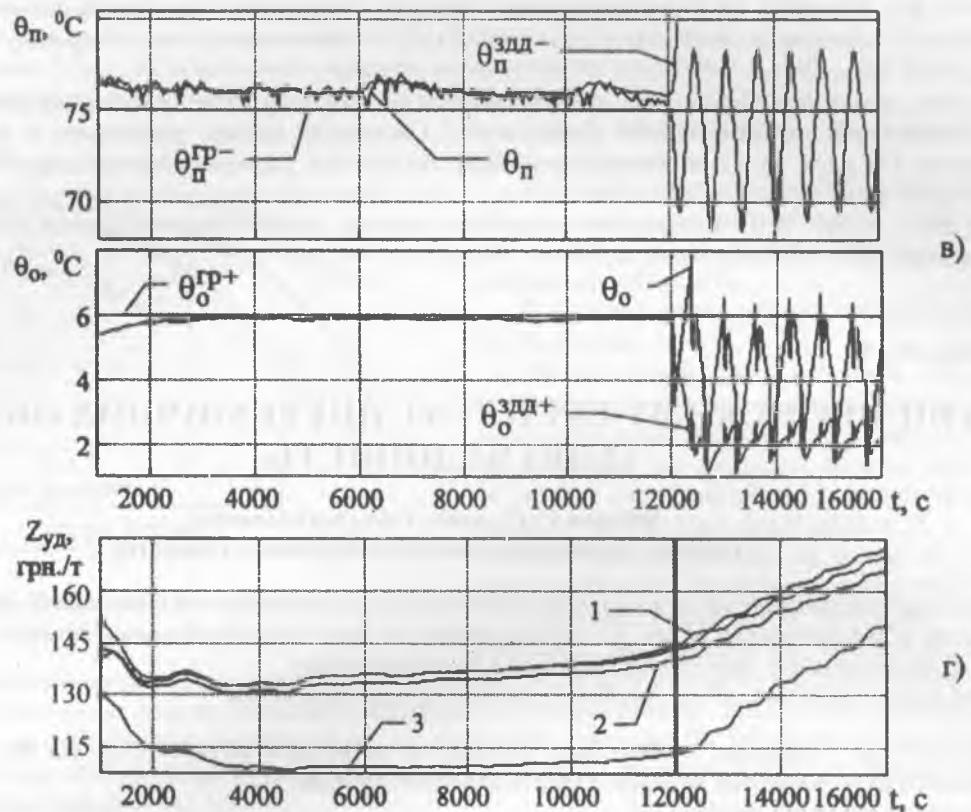


Рис. 2 Фрагменты моделирования работы ПОУ. Изменения температур пастеризации θ_p и охлаждения θ_o , величины удельных энергозатрат $Z_{уд}$ для различных вариантов САУ: а) САУ простейшей структуры; б) САР инвариантная к θ и $\theta_{п}$; в) СГУ с САР по п. б); г) динамика изменения удельных энергозатрат на пастеризацию и охлаждение молока для различных вариантов САУ

Выводы. Результаты данных исследований, а также анализ большого числа других ТТП пищевых производств, в частности [4, 5], позволяет сделать вывод о возможности существенного повышения их энергетической эффективности за счет совершенствования САУ этими ТТП. Принципы такого совершенствования для всех ТТП одинаковы и состоят в следующем.

1. Совершенствование в САУ функции регулирования регламентированных температур. Цель – повышение динамической точности их стабилизации в окрестности заданных значений. Средство – использование в САУ дополнительной информации о процессе и придание системе свойств инвариантности, автономности, каскадности и/или совершенствование базовых алгоритмов регулирования.

2. Введение в САУ новой функции – функции гарантирования. Цель – стабилизация на уровне заданного значения вероятности соблюдения ограничений регламентов температур при изменении условий ведения процессов. Средство – непрерывный автоматический анализ вероятностных характеристик процессов регулирования этих температур и коррекция их заданных значений.

Реализация этих принципов в САУ ТТП позволит вести процессы при максимально-возможном приближении регламентированных температур к своим ограничениям, т.е. при максимально достижимой в текущих условиях энергетической эффективности, и одновременно даже в условиях интенсивных изменений характеристик сырья, энергоносителей, состояния рабочих зон технологических агрегатов, гарантировать соблюдение этих ограничений.

В статье не рассматривался эффект повышения качества пищевых продуктов, связанных со снижением температур при их тепловой обработке, когда управление ТТП ведется такими САУ. Но он также будет. Его величину в каждом конкретном случае могут оценить специалисты-технологи.

Литература

1. Хобин В.А. Интеллектуализация алгоритмов управления – экономичный путь повышения эффективности производства // Наук. пр. ОДАХТ / Міністерство освіти України. – Одеса: 2002. – Вип. 24. – С. 405 – 407.
2. Хобин В.А. Системы гарантирующего управления: научные основы // Автоматизация виробничих і бізнес-процесів. – О., 2010. – № 1(19). – С. 62 – 69.

1. Мазур О.В., Степанов М.Т. Моделювання процесів управління пастеризаційно-охолоджувальною установкою у середовищі MATLAB // Наук. пр. ОДАХТ / Міністерство освіти України. – Одеса: 2001. – Вип. 22. – С. 124 – 128.
2. Хобин В.А., Мазур А.В. Повышение эффективности и ресурса эксплуатации абсорбционных холодильных машин средствами гарантирующего управления // Системный анализ, управление и информационные технологии: Сб. науч. тр. 12-ой Международ. конф. по автомат. упр-нию «Автоматика – 2005» / Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – № 55. – С. 19 – 24.
3. Хобин В.А., Мазур А.В. Управление процессом очистки растительных масел от восков // Олійно-жировий комплекс. – Дніпропетровськ, 2004. – № 1 (4). – С. 46 – 48.

УДК 621.18:66.096.5

ПРО ВПЛИВ РЕЖИМУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЇХНЮ НАДІЙНІСТЬ

Воїнова С. О., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій

Проанализировано влияние режима эксплуатации технических объектов на их надежность.

Influencing of the exploitation mode of technical objects on their reliability is parsed. Voinova S. A. About the influencing of the exploitation mode of technical objects on their reliability

Ключові слова: технічний об'єкт, надійність, режим експлуатації, вплив.

Надійність (Нд) – важлива технологічна властивість технічного об'єкта (ТО). На Нд впливає безліч чинників різного роду. Найбільш істотний вплив режиму експлуатації ТО.

Розглянемо вплив цього чинника.

Режим експлуатації (виробничого використання) ТО складається з

режиму технічного застосування, на який впливають фактори:

вплив технологічного потоку речовини, що переробляється, або енергії (навантаження технологічному) вплив комплексу зовнішніх і внутрішніх, детермінованих і випадкових джерел збурювань різного роду, керуючий вплив;

режиму технічного обслуговування ТО, на який впливають фактори:

експлуатаційне обслуговування – оперативна компенсація поточних відхилень стану ТО від його регламентованого рівня – і

ремонтне обслуговування – наступна компенсації відхилень стану ТО від його регламентованого рівня.

На рис. 1 наведено структурно-логічну схему, що розкриває зазначений зв'язок Нд ТО й режиму його експлуатації.

На технологічну ефективність ТО, зокрема, на важливу її складову – Нд – впливає час, тривалість роботи, у процесі якої об'єкт перетерплює фізичне зношування. При цьому, його властивості й характеристики деградують, погіршуються.

Привертає увагу важлива обставина: вплив часу проявляється у двох напрямках.

Перший напрямок. У момент (T_0) пуску в роботу нового ТО його вихідна Нд ($N_{дисх}$) характеризується максимальним значенням (рис. 2). У цей момент Нд потенційна ($N_{дпот}$), тобто доступна для використання, рівна ($N_{дисх}$). Із часом, внаслідок зношування ТО, його $N_{дпот}$ безупинно знижується: графік $N_{дпот}(T)$. Так, у момент часу T_1 це зниження становить ($N_{дисх} - N_{дпот1}$).

Другий напрямок. У момент (T_0) пуску в роботу



Рис. 1 - Структурно-логічна схема впливу складових режиму експлуатації ТО на його надійність

нового ТО його фактична (реалізована) Нд ($N_{дфкт}$) характеризується максимальним значенням. При этом, має місце рівняння

$$N_{дфкт} = N_{дисх} = N_{дпот}$$

Із часом, внаслідок зношування, безупинно змінюються властивості ТО. у їхньому числі змінюються властивості його як об'єкта управління (тобто змінюються регульовальні характеристики об'єкта). У той же час,