

**2 АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

УДК 681.513.2:665.3-963

**САУ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ
МАСЕЛ ОТ ВОСКОВ: ПОВЫШЕНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ**Хобин В. А.¹, Мазур А.В.¹¹Одесская национальная академия пищевых технологий, ОдессаEmail: khobin@onaft.edu.ua

Copyright © 2014 by author and the journal "Automation technological and business - processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>ONAFT
Open Access**Аннотация**

Рассмотрены особенности и разработана структурная схема процесса очистки растительных масел от восков как объекта управления. С учетом этих особенностей разработаны альтернативные алгоритмы управления и проведен анализ их эффективности в переходных и установившихся режимах. Показано, что повышение интеллектуального уровня (и сложности) алгоритмов потенциально позволяет вести процесс очистки в энергосберегающих режимах.

Abstract

The features are considered and the block diagram of vegetable oils clearing process from waxes as control object is developed. Taking into account these features alternative algorithms of control are developed and the analysis of their efficiency in the transitive and established regimes is carried out. It is shown, that increase of an intellectual level (and complexities) of algorithms potentially allows to conduct process of clearing in energy-saving regimes.

Ключевые слова

Алгоритмы регулирования, эффективность, процесс очистки, объект управления, энергосберегающий режим, растительные масла, тепловой режим, вымораживание восков.

Постановка проблемы.

Растительные масла являются одним из товаров Украины, успешно конкурирующих на внутреннем и внешних рынках. Удержание завоеванных позиций и их усиление требует повышения качества масел и снижения их себестоимости. Эффективным, в том числе, малозатратным, путем решения этой проблемы является совершенствование систем автоматического управления технологическими процессами. При этом основу для совершенствования должны составить компьютерные средства, снимающие практически все ограничения на сложность реализуемых алгоритмов.

Анализ последних достижений и публикаций. Процесс производства высококачественного растительного масла является весьма энергоемким. Это предопределяет внимание разработчиков соответствующих технологий и оборудования к снижению удельных энергозатрат. Одним из традиционных способов их снижения является использование рекуперативных теплообменников. Используется он и в технологическом процессе очистки масел от восков за счет их вымораживания и последующей фильтрации [1–3].

Настоящая статья посвящена вопросам повышения динамической точности стабилизации тепловых режимов этого процесса, как необходимого условия обеспечения высокого качества очистки масел при

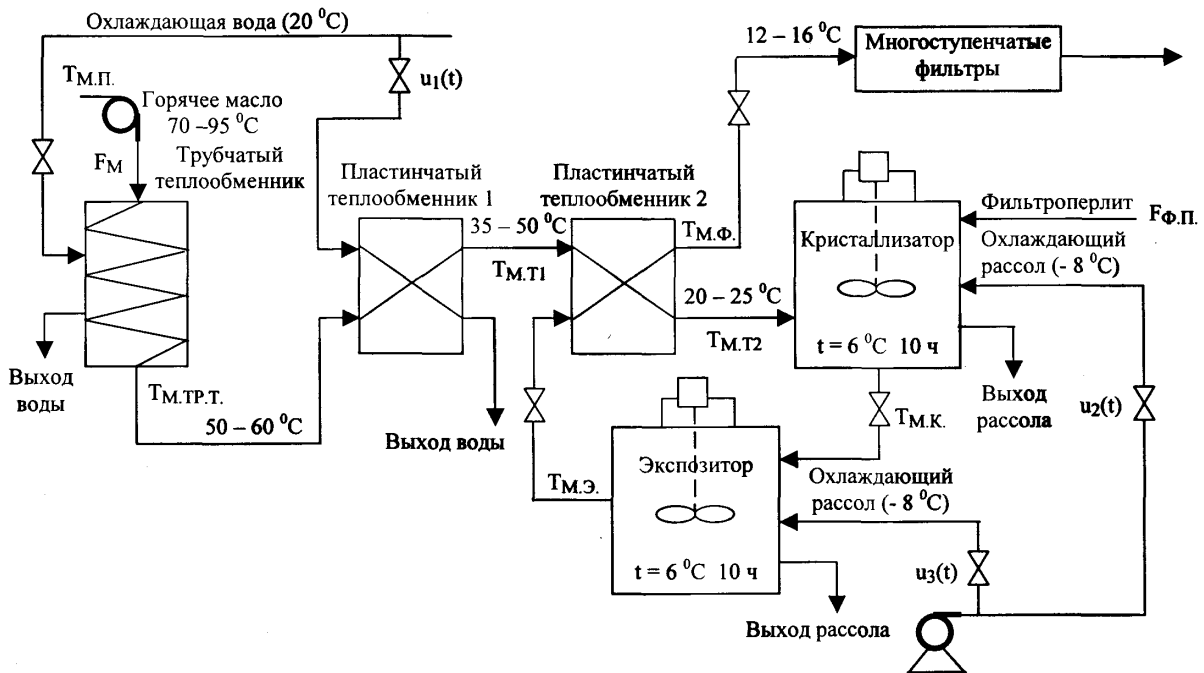


2 АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

снижении энергозатрат. Проблема состоит в том, что в данном процессе утилизируется тепло нагретого масла перед его охлаждением в кристаллизаторе для подогрева масляной эмульсии, идущей на фильтрацию восков. В такой технологической схеме из-за сильного взаимного влияния возникает противоречие между точностью стабилизации температуры масла в кристаллизаторе и температуры масляной эмульсии из-за чего штатные системы автоматизации не в состоянии эту точность обеспечить.

Цель статьи – показать решение данной проблемы за счет совершенствования систем управления.

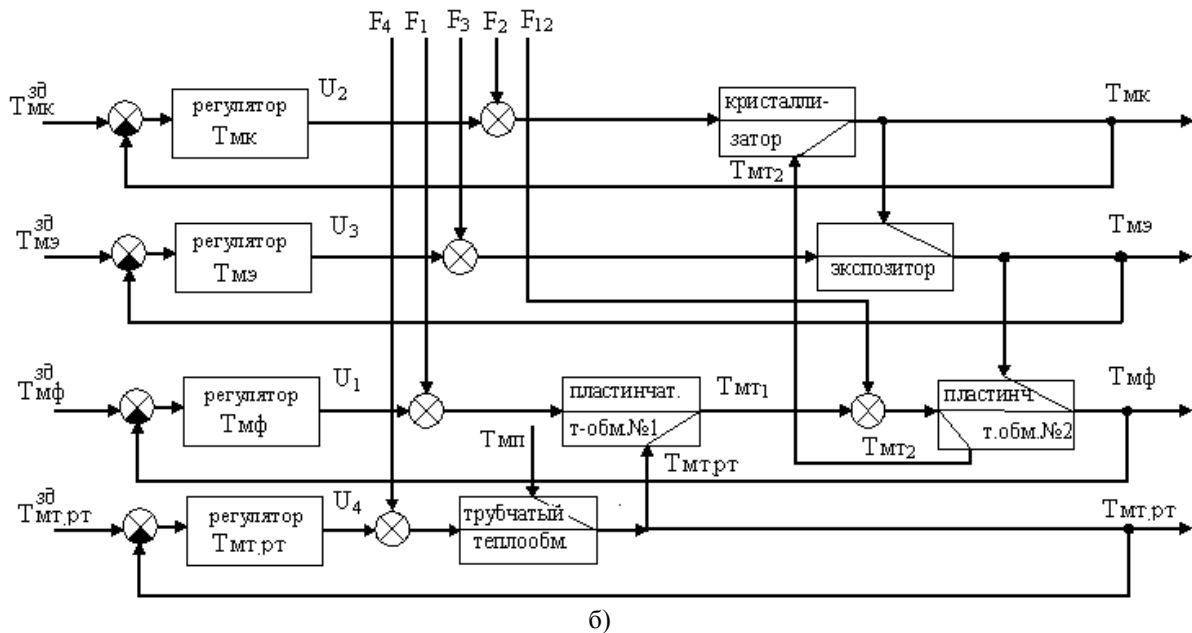
Рассмотрим кратко сущность технологического процесса вымораживания восков. Горячее масло из прессового цеха (см. рис. 1а) последовательно проходит трубчатый теплообменник (ТО), в котором охлаждается до температуры $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, пластинчатый ТО, в котором охлаждается до температуры $35-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и пластинчатый ТО типа «масло-масло». В нем горячее масло остывает, отдавая своё тепло холодному маслу, вышедшему из экспозитора, тем самым, подогревая его перед подачей на ступенчатые фильтры. Эта технология позволяет сэкономить энергоресурсы за счет утилизации холода. Далее масло поступает в кристаллизатор, где хладагент (рассол), имеющий температуру примерно $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, охлаждает масло до температуры $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. В кристаллизаторе в масло добавляется фильтрующий порошок (филтросперлит), который при низких температурах создает центры кристаллизации восков, растворенных в масле. Кристаллизатор оборудован механической мешалкой скребкового типа, с помощью которой осуществляется непрерывное перемешивание поступающего масла с фильтрующим порошком. Процесс идет около 10 часов. Для продолжения процесса кристаллизации (вымораживания), роста кристаллов и агрегирования их на филтросперлите, масло, точнее масляная суспензия, поступает в выдерживатель (экспозитор). Там она, продолжая перемешиваться, находится также около 10 часов при температуре $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перед подачей на пластинчатые горизонтальные многоступенчатые фильтры, где происходит удаление кристаллизированных восков, филтросперлита и механических примесей, суспензия проходит через ТО «масло-масло», в котором подогревается до температуры $12-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ встречным потоком масла, идущим на кристаллизацию. Подогрев необходим для снижения вязкости масла и облегчения его прохода через



а)



2 АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ



$T_{M.п}$ – температура масла поступающего из прессового цеха; $T_{M.т.т}$ – температура масла после трубчатого теплообменника; $T_{M.т1}$ – температура масла после пластинчатого теплообменника 1; $T_{M.т2}$ – температура масла после пластинчатого теплообменника 2; $T_{M.к}$ – температура масляной суспензии в кристаллизаторе; $T_{M.э}$ – температура масляной суспензии в экспозиторе; $T_{M.ф}$ – температура масляной суспензии после пластинчатого теплообменника 2, идущей на фильтр

Рис. 1 – Схема технологического процесса вымораживания восков из масла (а) и структурная схема системы его автоматического управления (простейшей структуры) (б)

фильтры. Чем выше температура масла, тем ниже удельные энергозатраты на его фильтрацию, но превышение ее значения в 16 °С приводит к растворению кристаллов восков в масле.

Проведем анализ каждого из контуров регулирования САУ (см. рис. 1б) по двум факторам:

а) влияние точности стабилизации регулируемой переменной на эффективность ведения технологического процесса;

б) сложность или невозможность решения задачи обеспечения необходимой точности стабилизации регулируемой переменной на основе САР с типовыми алгоритмами регулирования.

САР температуры масла после трубчатого теплообменника – $T_{M.т.т}$. При превышении допустимых отклонений температуры после трубчатого теплообменника, масло, поступающее в пластинчатый теплообменник 2, может иметь температуру, не обеспечивающую расчетный режим работы этого теплообменника. Например, при заниженной температуре масла на его входе может не хватить ресурсов для нагрева до необходимой температуры масляной суспензии идущей на фильтрацию. Это обуславливается тем, что основные возмущения, действующие на этот объект регулирования ($T_{M.п}$ – температура масла поступающего из прессового цеха и $T_{охл.в}$ – температура охлаждающей воды) являются весьма низкочастотными. Главное требование к алгоритму – наличие И-составляющей.

САР температуры масляной суспензии на выходе кристаллизатора – $T_{M.к}$. Если температура масляной суспензии, поступающая из кристаллизатора в экспозитор, не поддерживается на заданном уровне, тогда процесс вымораживания не будет соответствовать требованиям технологического регламента. Это приведет к ухудшению удаления восков и качества масла. Здесь требование повышенной динамической точности к стабилизации регулируемой переменной не может быть реализовано в классе САР с типовыми алгоритмами регулирования из-за больших возмущений по температуре масла после пластинчатого теплообменника 2 и большого запаздывания в канале регулирования.

САР температуры масляной суспензии в экспозиторе – $T_{M.э}$. Если температура масляной суспензии в экспозиторе, не поддерживается на заданном уровне, тогда процесс вымораживания не будет соответствовать требованиям технологического регламента. Это приведет к ухудшению удаления восков и качества масла.



2 АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Здесь требование повышенной динамической точности к стабилизации регулируемой переменной реализуется просто – в классе САР с типовыми алгоритмами регулирования. Это обуславливается тем, что основные возмущения, действующие на этот объект регулирования (температура масляной суспензии на выходе кристаллизатора – $T_{М.К}$ и температура охлаждающего агента $T_{Х}$) изменяются либо очень незначительно, либо являются весьма низкочастотными, а инерционность самого канала регулирования очень большая.

САР температуры масляной суспензии, подаваемой на фильтрацию – $T_{М.Ф}$. Если масляная суспензия, прошедшая пластинчатый теплообменник 2, имеет температуру ниже заданной технологическим регламентом (это может быть вызвано низкой температурой масла поступающего навстречу из пластинчатого теплообменника 1), тогда масляная суспензия будет чрезмерно вязкой, что приведет к быстрому засорению фильтров, большому перепаду давления на фильтрах. Если оно будет длительным, то к разрушению фильтров и к полной остановке процесса с потерей партии масла. Если масляная суспензия, прошедшая пластинчатый теплообменник 2 имеет температуру выше предельно допустимой технологическим регламентом, то это приведет к плавлению восков и прохождению их через фильтры. Кроме того, чем выше температура масляной суспензии, тем ниже удельные энергозатраты на ее фильтрацию. Но, как уже отмечалось, превышение температурой масляной суспензии значения в $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к растворению кристаллов восков в масле, что недопустимо, даже кратковременно, т.к. растворившиеся воска фильтрацией удалить невозможно. Здесь требование повышенной динамической точности к стабилизации регулируемой переменной не может быть реализовано в классе САР с типовыми алгоритмами регулирования из-за больших возмущений по температуре масла после пластинчатого теплообменника 1 и большого запаздывания в канале регулирования $T_{М.Ф}$.

Анализ показывает, что совершенствование необходимо для САР температуры масляной суспензии на выходе кристаллизатора и САР температуры масляной суспензии, подаваемой на фильтрацию, которые имеют сильную взаимосвязь из-за взаимосвязи тепловых процессов в теплообменнике «масло – масло».

В качестве основного пути такого совершенствования выбран путь использования в алгоритмах регулирования дополнительной информации о переменных, характеризующих ход процесса. Использование такой информации приводит к алгоритмам регулирования, использующие принципы каскадности, инвариантности, автономности. В данной статье рассматриваются следующие варианты двухмерной САР: 1 – простейшей структуры; 2 – с каскадной структурой регулирования $T_{М.Ф.}$; 3 – с каскадной структурой регулирования $T_{М.Ф.}$ и инвариантностью относительно колебаний температуры масла $DT_{М.Т.Р.Т.}$ на выходе трубчатого теплообменника при регулировании $T_{М.Ф.}$; 4 – с каскадной структурой регулирования $T_{М.Ф.}$ и инвариантностью относительно колебаний температуры масла $DT_{М.Т.Р.Т.}$ на выходе трубчатого теплообменника при регулировании $T_{М.Ф.}$, и с автономностью контура регулирования $T_{М.К}$ относительно контура регулирования $T_{М.Ф.}$; 5 – с каскадной структурой регулирования $T_{М.Ф.}$ инвариантностью относительно колебаний температуры масла $DT_{М.Т.Р.Т.}$ на выходе трубчатого теплообменника при регулировании $T_{М.Ф.}$, с автономностью контура регулирования $T_{М.К}$ относительно контура регулирования $T_{М.Ф.}$, и инвариантностью $T_{М.К}$ относительно колебаний температуры масла $DT_{М.Т.2}$ на выходе пластинчатого теплообменника.

Поскольку объект управления существенно нелинеен, то процедуру разработки САР, реализующих эти принципы, целесообразно вести на основе метода имитационного моделирования. Используя при этом специальную организацию машинных экспериментов, в частности параметрическую оптимизацию алгоритмов и сравнительный анализ большого количества их альтернативных вариантов для переходных и установившихся процессов, полученные результаты будут иметь высокий уровень достоверности и не потребуют на реальном объекте существенных доработок.

В качестве критерия оптимизации выбрана интегральная взвешенная квадратичная ошибка стабилизации регулируемых переменных:

$$I = I_{T_{М.Ф.}} + I_{T_{М.К.}} = K_{T_{М.Ф.}} \int_0^{\infty} \Delta T_{М.Ф.}^2(t) dt + K_{T_{М.К.}} \int_0^{\infty} \Delta T_{М.К.}^2(t) dt ,$$

где $K_{T_{М.Ф.}}$, $K_{T_{М.К.}}$ – весовые коэффициенты, значения которых обратно пропорциональны квадратам максимально допустимых динамических отклонений в $T_{М.Ф.}$ и $T_{М.К.}$:

$$K_{T_{М.Ф.}} = 1/(1)^2 = 1, \quad K_{T_{М.К.}} = 1/(2,5)^2 = 0,16.$$

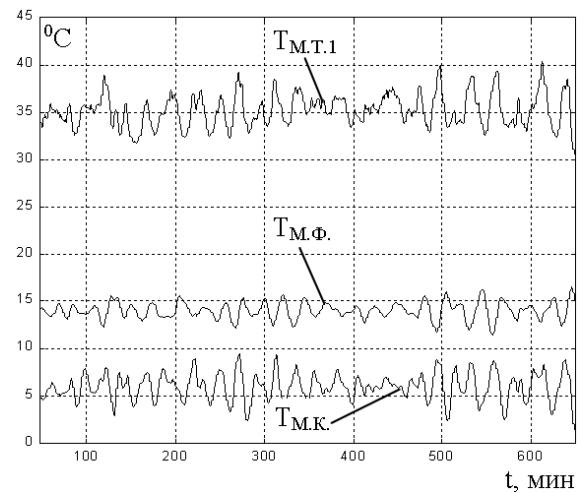
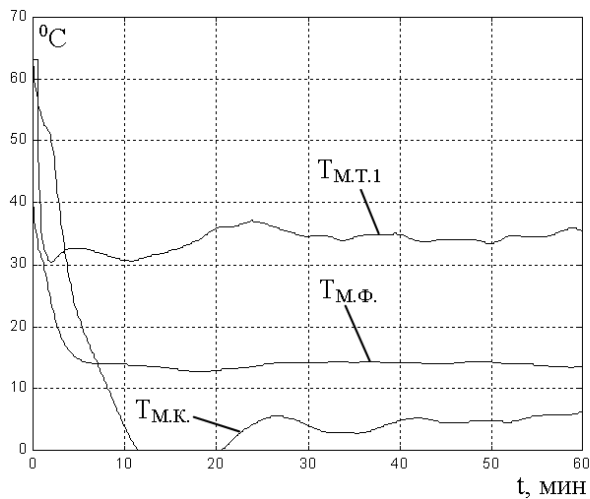
Значения этого критерия и его составляющих, а также значения среднеквадратических отклонений регулируемых переменных для всех рассматриваемых вариантов САР сведены в табл. 1, а рис. 2 иллюстрирует характер переходных и установившихся процессов в некоторых параметрически оптимальных вариантах САР.



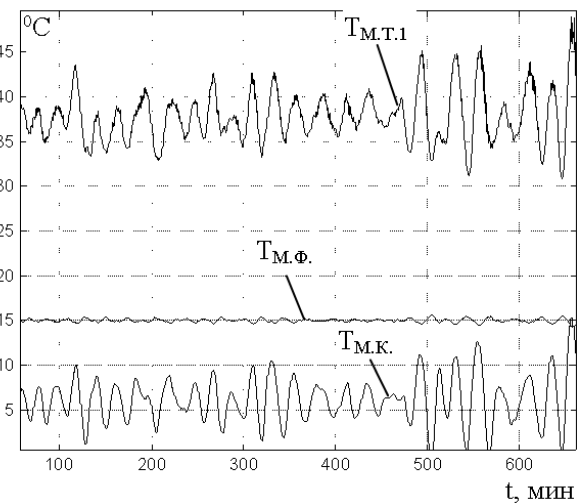
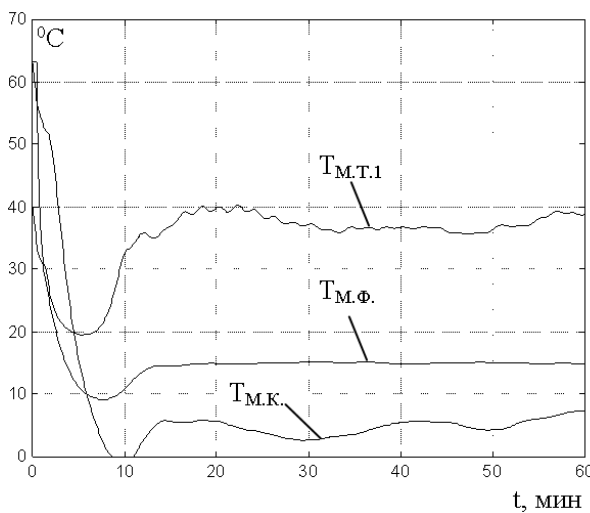
**2 АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

Таблица 1 – Значения критерия оптимизации I , его составляющих $I_{T_{M.Ф.}}$ и $I_{T_{M.К.}}$, среднеквадратических отклонений $\sigma_{T_{M.Ф.}}$, $\sigma_{T_{M.К.}}$ регулируемых переменных в параметрически оптимальных САР

Критерий	Алгоритм	Режим	$I_{T_{M.Ф.}}$, °C ²	$\sigma_{T_{M.Ф.}}$, °C	$I_{T_{M.К.}}$, °C ²	$\sigma_{T_{M.К.}}$, °C	$I = I_{T_{M.Ф.}} + I_{T_{M.К.}}$, °C ²
			1	переходный	установившийся	726	–
			479	0,89	197	1,42	676
2	переходный	установившийся	799	–	1213	–	2012
			139	0,48	519	2,32	659
3	переходный	установившийся	778	–	1208	–	1986
			22,4	0,19	542	2,37	565
4	переходный	установившийся	824	–	1230	–	2054
			52,5	0,30	207	1,47	259
5	переходный	установившийся	777	–	1232	–	2010
			23,4	0,20	213	1,49	237



а)



б)

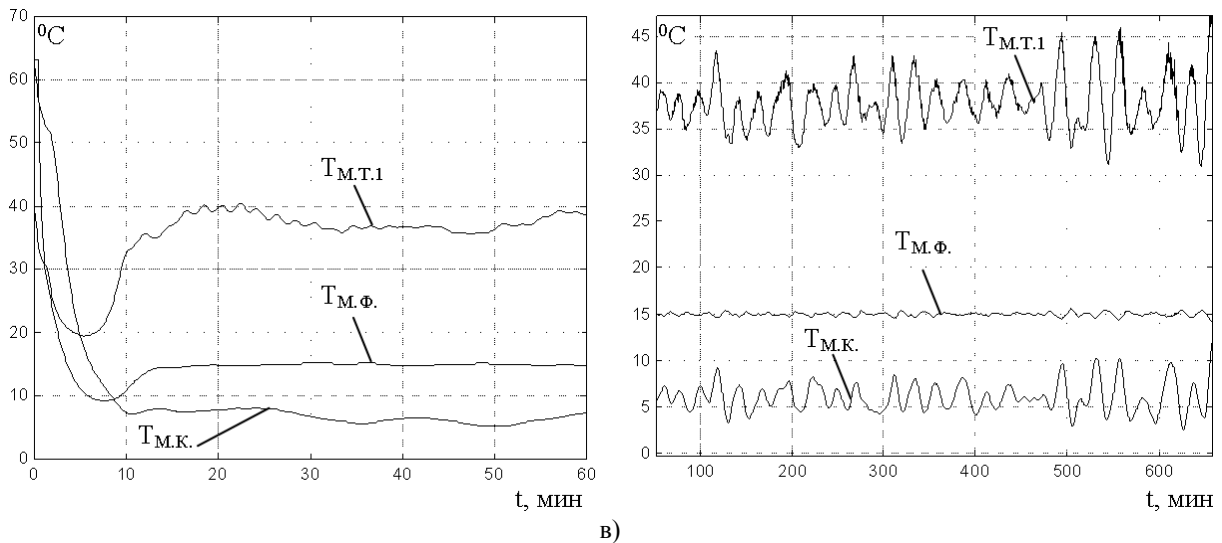
**2 АВТОМАТИЧНІ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

Рис. 2 – Иллюстрация процессов стабилизации температурных режимов в переходных и установившихся процессах для некоторых альтернативных вариантов САР:
а) вариант 1; б) вариант 3; в) вариант 5

Выводы: Анализ результатов исследования подчеркивает сформулированную ранее взаимную противоречивость задач повышения точности стабилизации каждой из регулируемых переменных, а также показывает несоответствие экстремумов показателей качества САР в переходных и установившихся процессах. В этих условиях выбор наилучшего варианта, по сути, является выбором варианта компромисса. Учитывая большую значимость точности регулирования для $T_{M.Ф.}$ и то, что переходные процессы составляют малую часть длительности процесса, целесообразным для применения можно рассматривать пятый вариант системы. Он имеет весьма существенное преимущество перед САР простейшей структуры по динамической точности. Это позволяет повысить качество масла и вести процесс его фильтрации в среднем при более высокой температуре, что позволит снизить удельные энергозатраты на прессование, увеличить срок службы фильтров.

Необходимо отметить, что повышение динамической точности стабилизации температурных режимов процесса вымораживания, хотя и является необходимым шагом для повышения эффективности процесса очистки, но он принципиально не может обеспечить ее максимально достижимого значения в конкретных условиях. Поэтому дальнейшее развитие САУ процессом связано с использованием принципов гарантирующего управления [4].

Литература:

1. Антипов С. Т. Описание процесса вымораживания воска из растительного масла в криогенном аппарате / С. Т. Антипов, С. М. Яценко, В. Ю. Овсянников // Вестник международной Академии Холода. – Вып. 4, 2000. – С. 39–40.
2. Установка для вымораживания растительного масла УВРМ–2,5/380–200 <http://www.ross.kharkov.com/>
3. Автоматическое управление криогенного аппарата для вымораживания масел / Масложировая промышленность, 2001. – № 3. – С. 36–37.
4. Хобин В. А. Функция гарантирования в системах автоматического управления / В. А. Хобин // Всеукр. наук.-техн. журнал «Автоматизация виробничих процесів». – Київ, 2002. – № 1(14). – С. 145–150.