

вен 75,47 %, по оптимальному варианту – 77,96 %.

Исходя из приведенных расчетов, определили, что оптимальный вариант раскроя обрезных досок на брусковые мебельные заготовки для производства столярного стула экономичнее на 2,49 %.

Библиографический список

1. Новоселова И.В. Моделирование и

оптимизация технологических процессов производства брусковых мебельных заготовок: дисс. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1994. 267 с.

2. Новоселова И.В. Оптимизационная модель технологических режимов производства брусковых мебельных заготовок // Лес. Наука. Молодежь – 2003 : матер. по итогам НИР молодых ученых / ВГЛТА. Воронеж, 2003. С. 339–340.

УДК 674.046

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФАНЕРНОГО СЫРЬЯ

В. С. Петровский, Е. А. Мануковский, В. А. Фиронов

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»

appvglta@bk.ru

В настоящее время высокоэффективные системы автоматического управления, как правило, создаются на основе принципа инвариантности (независимости) к любым внешним воздействиям. В первый период развития теории автоматического регулирования и управления методы анализа и синтеза создавались для систем автоматического управления, подверженных действию детерминированных возмущений, а во второй период – статистически заданных возмущений. В последующие годы разрабатывались также методы синтеза применительно к системам, на которые действуют произвольно изменяющиеся воздействия с неизвестными статистическими характеристиками [1].

В этой связи представляется необходимым, с одной стороны, снизить инерци-

онность объектов в процессах регулирования неединичными обратными связями, с другой стороны, разработать систему, инвариантную к возмущающим воздействиям [2].

Разработка систем управления с охватом бассейнов гидротермической обработки древесины простыми гибкими положительными обратными связями

Бассейн гидротермической обработки древесины из-за своих габаритов обладает большой инерционностью, что приводит к длительным переходным процессам при проварке древесины, сопровождающимся перерасходом тепловой энергии на прогрев [5]. Для улучшения показателей

качества регулирования нужно снизить инерционность бассейна гидротермической обработки древесины в процессе управления. Это достигается охватом объектов регулирования простыми гибкими обратными связями.

При использовании ПИ – регулятора внезапное появление сильного возмущения не обеспечивает достаточного быстрого действия в восстановлении температурного режима бассейна.

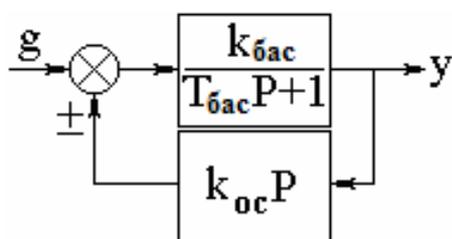


Рис. 1. Охват бассейна гидротермической обработки гибкой обратной связью:

$k_{об}$ – коэффициент усиления объекта;
 $k_{ос}$ – коэффициент усиления обратной связи; $T_{об}$ – постоянная времени объекта регулирования; P – оператор Лапласа, при нулевых начальных условиях $P = \frac{d}{dt}$

Поэтому охват бассейна гибкими положительными обратными связями повышает чувствительность системы АСР и малейшее отклонение температуры от заданной форсировано устраняется. Кроме того, охват гибкими положительными обратными связями фактически снижает инерционность бассейна в процессе регулирования, что видно из следующего обоснования. Бассейн гидротермической обработки древесины характеризуется тем, что теплоноситель подается непосредственно в воду, то есть он является инерционным

объектом первого порядка с передаточной функцией

$$W(P)_{бас} = \frac{k_{бас}}{T_{бас}P + 1} = \frac{t_e(P)}{t_{г.г}(P)}, \quad (1)$$

где $k_{бас}$ – коэффициент усиления бассейна;

$T_{бас}$ – постоянная времени бассейна гидротермической обработки древесины, с;

t_e – температура воды в бассейне гидротермической обработки, °С ;

$t_{г.г}$ – температура греющей воды, подаваемой в бассейн гидротермической обработки, °С .

В качестве передаточной функции гибкой обратной связи использовалось дифференцирующее звено

$$W(P)_{ос} = k_{ос} \cdot P = \frac{t_{г.ф}(P)}{t_{г.з}(P)}, \quad (2)$$

где $k_{ос}$ – коэффициент усиления неединичной гибкой положительной обратной связи;

$t_{г.ф}$ – фактическая температура воды в бассейне гидротермической обработки, °С ;

$t_{г.з}$ – заданная температура в бассейне гидротермической обработки, °С .

Передаточная функция бассейна гидротермической обработки древесины, охваченного гибкой обратной связью, имеет вид

$$W(P)_{ос.бас} = \frac{W(P)_{бас}}{1 \pm W(P)_{бас}W(P)_{ос}}. \quad (3)$$

Подставляя в выражение (1) и (2) в (3) и преобразовывая, получим

$$W(P)_{oc.бас} = \frac{k_{бас}}{T_{бас} \cdot P \pm k_{бас} \cdot k_{oc} \cdot P + 1} = \frac{k_{бас}}{(T_{бас} \pm k_{бас} \cdot k_{oc}) \cdot P + 1}. \quad (4)$$

Если обратная связь отрицательная, то инерционность бассейна в процессе регулирования увеличивается $(T_{бас} + k_{бас} \cdot k_{oc}) > T_{бас}$, а если положительная, то инерционность бассейна в процессе регулирования уменьшается $(T_{бас} - k_{бас} \cdot k_{oc}) < T_{бас}$. Для снижения инерционности бассейна гидротермической обработки в процессе регулирования лучше всего подходит гибкая положительная обратная связь. Таким образом, изменяя величины $k_{бас} \cdot k_{oc}$ относительно $T_{бас}$, можно добиться изменения свойств системы:

1. При $k_{об} \cdot k_{oc} < T_{об}$ исходная инерционность бассейна в процессе регулирования значительно уменьшается, улучшается эффективность регулирования инерционных тепловых процессов прогрева древесины.

2. При $k_{об} \cdot k_{oc} = T_{об}$ система становится безынерционной.

3. При $k_{об} \cdot k_{oc} > T_{об}$ АСР с такой обратной связью будет неустойчивой [2].

Снижение инерционности системы в процессе управления процессом гидротермической обработки древесины простыми гибкими положительными обратными свя-

зями обеспечивает более эффективное регулирование, форсированный выход режимных показателей на заданные уровни, т. е. уменьшение времени переходного процесса и снижение расхода тепловой энергии на сам процесс регулирования температуры воды в бассейне. Для максимального снижения инерционности бассейна гидротермической обработки в процессах регулирования, целесообразно к закону ПИД-регулирования добавить гибкую положительную обратную связь. Структурная схема такой системы показана на рис. 2.

Средствами среды VisSim 6.0 была разработана и представлена на рис. 3 переходная характеристика АСР температуры греющей воды в бассейне гидротермической обработки древесины с простой гибкой положительной обратной связью.

Для исследования использовались следующие значения параметров АСР, отражающих реальные параметры Череповецкого фанерно-мебельного комбината:

$$k_{pec} = 3; t_{из} = 8400 c; t_{np} = 2 c; k_{ИМ} = 2; T_{ИМ} = 1 c; k_{oc} = 1500; k_{бас} = 0.5; T_{бас} = 8400 c.$$

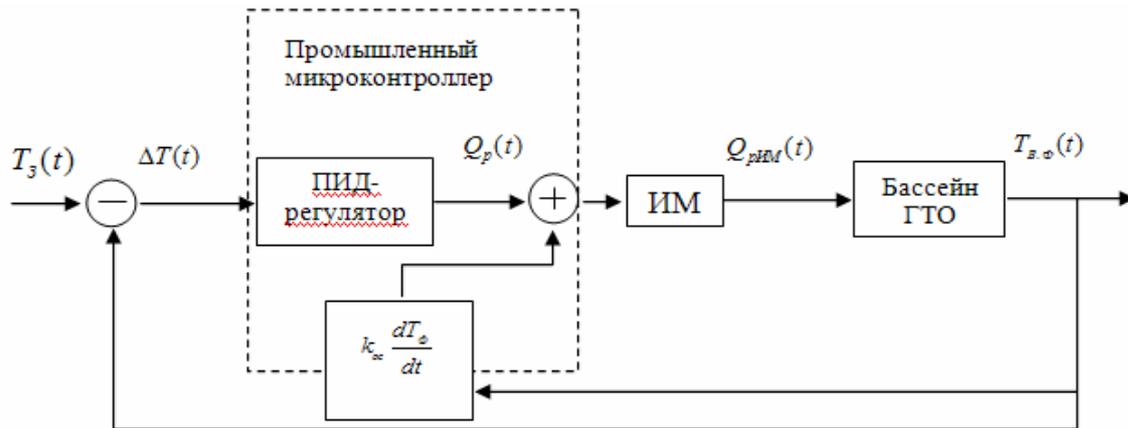


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического регулирования температурного режима бассейна, охваченного простой гибкой положительной обратной связью:

$T_{B,\phi}(t)$ – фактическая температура воды в бассейне; $T_{B,3}(t)$ – заданная температура воды в бассейне; $\Delta T(t)$ – ошибка регулирования температуры; $Q_p(t)$ – регулирующие воздействие регулятора, направленное на изменение температуры греющей воды в бассейне; $k_{oc} \frac{dT_\phi}{dt}$ – простая гибкая положительная обратная связь; ИМ – исполнительный механизм; $Q_{pИМ}(t)$ – изменение подачи тепла в бассейн

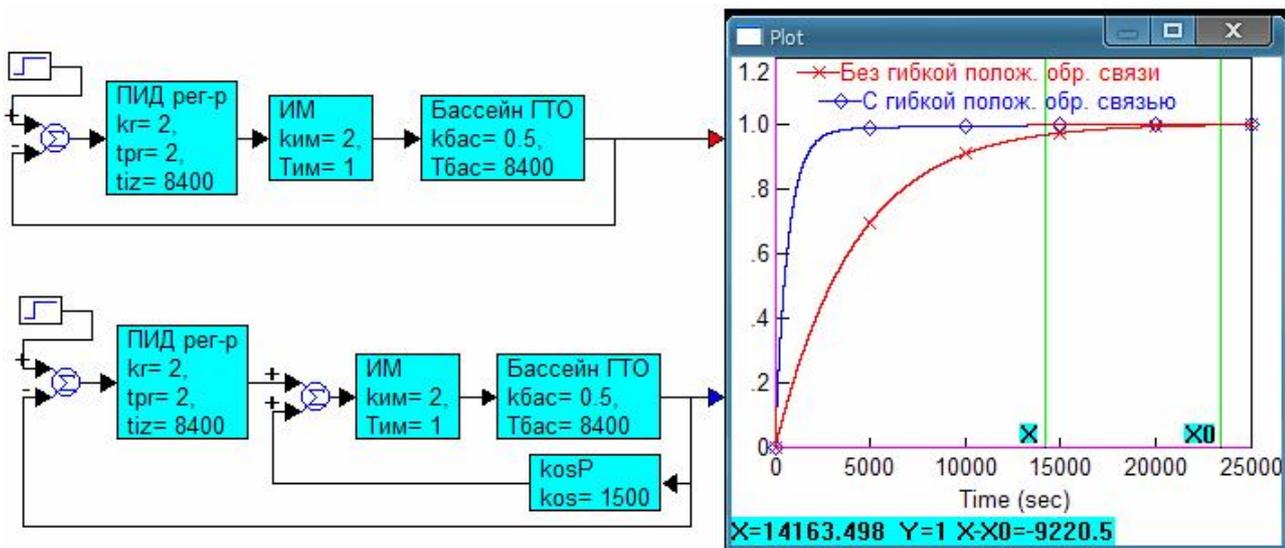


Рис. 3. Переходные характеристики АСР температуры греющей воды

Разработка систем управления режимами прогрева древесины инвариантных к изменениям температуры окружающей среды [4]

В процессе гидротермической обработки древесины на АСР температуры во-

ды в бассейне воздействуют возмущения в виде изменения в течение суток температуры окружающей среды. В этом случае нужно создать систему независимости (инвариантности) температуры воды в бассейне гидротермической обработки древесины от возмущающего воздействия, ре-

лизуя блок коррекции $\phi(P)$ (рис. 4) [3].

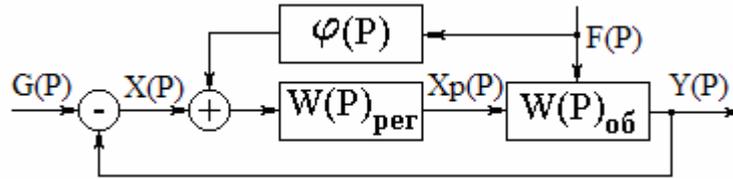


Рис. 4. Схема системы комбинированного управления температурным режимом бассейна гидротермической обработки древесины:

$G(P)$ – изображение по Лапласу задающего воздействия по температуре бассейна;
 $X(P)$ – изображение по Лапласу ошибки регулирования температуры; $Xp(P)$ – изображение по Лапласу регулирующего воздействия, изменяющего подачу тепла в бассейн;
 $Y(P)$ – изображение по Лапласу фактической температуры бассейна; $F(P)$ – изображение по Лапласу возмущающего воздействия (изменения температуры окружающей среды)

Для высокоточной стабилизации температуры греющей воды в процессе гидротермической обработки древесины необходимо провести синтез системы комбинированного управления $W_f(P)$ по отклонению $X(P)$ и по возмущающему воздействию $F(P)$. Введем понятие передаточной функции системы в разомкнутом состоянии по возмущающему воздействию

$$W_f(P)_{раз} = \frac{Y(P)}{F(P)}. \quad (5)$$

Передаточная функция системы в разомкнутом состоянии по задающему воздействию

$$W(P)_{раз} = \frac{Y(P)}{G(P)} = W(P)_{рег} W(P)_{об}. \quad (6)$$

Передаточная функция системы по ошибке от возмущающего воздействия в замкнутом состоянии

$$W_f(P)_{зам} = \frac{X(P)}{F(P)}. \quad (7)$$

Рассматривая структуру (рис. 4), получим передаточную функцию АСР температуры греющей воды в бассейне гидротермической обработки в замкнутом со-

стоянии, инвариантную к основному возмущающему воздействию

$$W_f(P)_{зам} = \frac{W_f(P)_{раз} - \phi(P) \cdot W(P)_{раз}}{1 + W(P)_{раз}}, \quad (8)$$

где $W(P)_{раз} = W(P)_{рег} W(P)_{об}$ – передаточная функция системы управления режимом гидротермической обработки древесины в разомкнутом состоянии по каналу задающего воздействия;

$W_f(P)_{раз} = W(P)_{рег} W_f(P)_{об}$ – передаточная функция системы управления режимом гидротермической обработки древесины в разомкнутом состоянии по каналу возмущающего воздействия;

$W(P)_{рег}$ – передаточная функция ПИД-регулятора;

$W(P)_{об}$ – передаточная функция бассейна гидротермической обработки по основному каналу регулирования температуры воды в бассейне.

$$W_f(P)_{об} = \frac{k_f}{T_f \cdot P + 1} = \frac{t_g(P)}{t_{e.c}(P)} - \text{переда-}$$

точная функция бассейна гидротермической обработки по каналу возмущающего воздействия изменения температуры окружающей среды, $T_{BC}(t)$,

где k_f – коэффициент передачи бассейна гидротермической обработки по каналу возмущающего воздействия, $T_{BC}(t)$;

T_f – постоянная времени бассейна гидротермической обработки по каналу возмущающего воздействия, с;

t_g – температура воды в бассейне гидротермической обработки, °C ;

$$\phi(P) = \frac{W_f(P)_{раз}}{W_{раз}(P)} = \tau_0 + \tau_1 \cdot P + \tau_2 \cdot P^2 + \tau_3 \cdot P^3 + \dots, \quad (9)$$

где $\tau_0, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$ – константы.

Для эффективной компенсации влияния изменений температуры окружающей среды достаточно реализовать три члена ряда. Следовательно, передаточная функция блока коррекции, компенсирующего возмущающее воздействие, будет иметь вид

$$\phi(P) = \tau_0 + \tau_1 \cdot P + \tau_2 \cdot P^2, \quad (10)$$

где

$$\tau_0 = \frac{k_f}{k_{\text{бас}}}; \quad \tau_1 = \frac{k_f \cdot T_{\text{бас}}}{k_{\text{бас}}} - \frac{k_f T_f}{k_{\text{бас}}};$$

$$\tau_2 = -k_f \cdot (T_{\text{бас}} - T_f) \cdot \frac{T_f}{k_{\text{бас}}}.$$

Уместно отметить, что в состав коэффициента k_f входит коэффициент усиления датчика – измерителя возмущающего воздействия $f(t)$. Использование только устройств реализации скорости и ускорения возмущающего воздействия формально не обеспечивает абсолютно полной ин-

$t_{g.c}$ – температура окружающей среды бассейна гидротермической обработки, °C .

Для полного устранения ошибки регулирования температуры ($\Delta T(t) = 0$) от колебаний температуры окружающей среды $T_{BC}(t)$, уравнение (8) должно иметь вид

$$\frac{W_f(P)_{раз} - \phi(P) \cdot W(P)_{раз}}{1 + W(P)_{раз}} = 0.$$

Преобразовав полученное выражение, находим передаточную функцию блока коррекции $\phi(P)$, форсировано подавляющего возмущающее воздействие $T_{BC}(t)$

вариантности системы к этому воздействию. Однако для промышленных технологий такое решение будет приемлемым, так как отбрасывание третьей и более высоких производных в блоке коррекции $\phi(P)$ дает пренебрежительно малые ошибки компенсации возмущений.

Структурную реализацию блока компенсации возмущающего воздействия можно представить на рис. 5. Уместно отметить, что подобные комбинированные системы управления в технической реализации на аналоговых средствах автоматизации малоперспективны. Эта задача более эффективно решается при использовании микропроцессорных программируемых средств, реализующих алгоритмы $W(P)_{рег}$, $\phi(P)$, а также при использовании неединичных гибких положительных обратных связей [2].

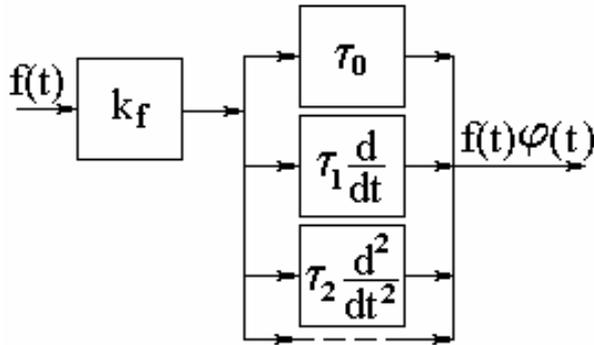


Рис. 5. Структура блока компенсации влияния

Для реализации комбинированной АСР температуры греющей воды в бассейне гидротермической обработки древесины, инвариантной к возмущающему воз-

действию, необходимо введение специального блока компенсации $\varphi(P)$, который обеспечивает форсированное введение в процесс регулирования температурного режима бассейна первой и второй производной изменения температуры окружающей среды. Реализация данной системы проведена на базе промышленного микроконтроллера, что позволило дополнительно к ПИД-регулированию обеспечивать устранение колебаний температуры воды в бассейне от колебаний температуры окружающей среды. Структурная схема такой системы представлена на рис. 6.

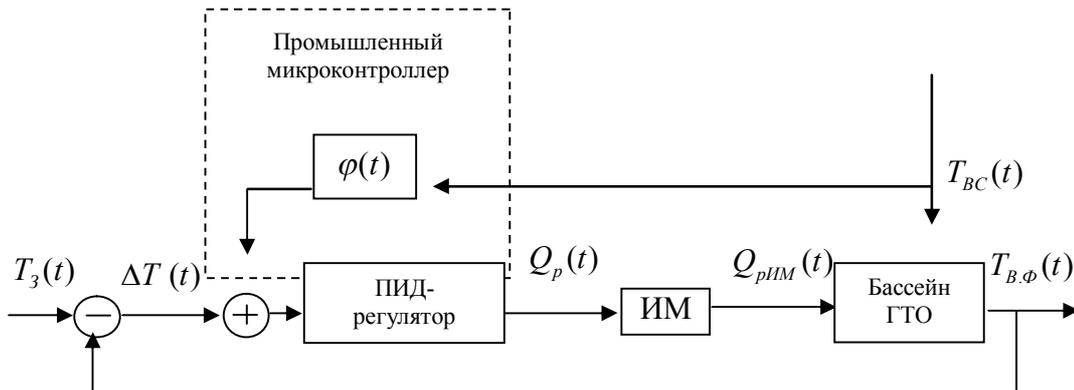


Рис. 6. Структурная схема АСР температуры греющей воды в бассейне, инвариантная к колебаниям температуры окружающей среды:

$T_{B,\Phi}(t)$ – фактическая температура греющей воды; $\Delta T(t)$ – ошибка регулирования температуры воды в бассейне; $Q_p(t)$ – регулирующие воздействие регулятора, направленное на стабилизацию температуры воды в бассейне; $T_{B,3}(t)$ – заданная температура воды в бассейне; $\varphi(P)$ – блок компенсации возмущающего воздействия; $T_{BC}(t)$ – температура окружающей среды; ИМ – исполнительный механизм; $Q_{pИМ}(t)$ – изменение подачи тепла в бассейн

Для исследования использовались следующие значения параметров АСР, отражающих реальные параметры бассейна Череповецкого фанерно-мебельного комбината:

$$k_{pez} = 2; t_{uz} = 8400 c;$$

$$t_{np} = 2 c; k_{ИМ} = 2; T_{ИМ} = 1 c; k_{\delta ac} = 0,5;$$

$$T_{\delta ac} = 8400 c; k_f = 0,2; T_f = 70 c.$$

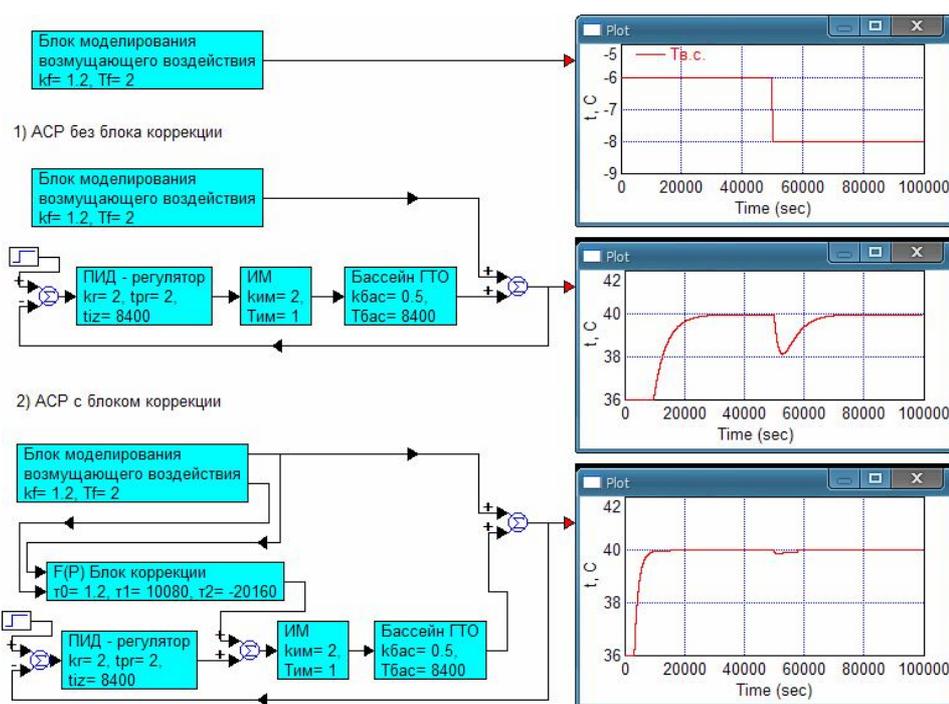


Рис. 7. Переходные и установившиеся процессы АСР температурного режима бассейна

Охват бассейна гидротермической обработки простой гибкой положительной обратной связью позволил снизить инерционность бассейна, построенные переходные характеристики показали, что снизилось время выхода на режим в среднем на 2,5 часа, а следовательно, снизились затраты на энергоресурсы. Произведён синтез АСР температуры греющей воды, входящей в состав САУ режимом прогрева древесины, который позволил показать эффективность введения в закон ПИД-регулирования дополнительного корректирующего звена, обеспечивающего инвариантность САУ к возмущающему воздействию, построенные переходные характеристики показали, что введение корректирующего звена по возмущающему воздействию – температуры окружающей среды практически устраняет отклонение от температурного режима.

Библиографический список

1. Петров Б.Н., Солодовников В.В., Топчиева Ю.И. Современные методы проектирования систем автоматического управления. М.: Машиностроение, 1967. 703 с.
2. Глухов Д.А., Петровский В.С. Инвариантная АСУ процессами сушки материалов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. № 7. С. 20–21.
3. Петровский В.С. Теория автоматического управления. Воронеж, 2010. 247 с.
4. Мануковский Е.А., Петровский В.С. Математические модели САПР параметров бассейнов гидротермообработки древесины // Вестник ВГТУ. 2009. Т. 5. № 7. С. 76–78.
5. Данилов А.Д., Петровский В.С. Анализ проблемы энергосбережения при автоматизированном проектировании теплообменных аппаратов // Вестник ВГТУ. 2009. Т. 5. № 7. С. 96–98.