

УДК 681.5.08
DOI 10.47367/0021-3497_2025_4_265

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЛАЖНО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ**

**ASSESSMENT OF QUALITY OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
CONSTRUCTION FOR THE PROCESS OF WET-HEAT TREATMENT**

Е.А. РЫЖКОВА, Ю.С. КОМБАРОВ

E.A. RYZHKOVA, Y.S. KOMBAROV

(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: ryzhkova-ea@rguk.ru

В статье рассматривается проблема качественного подбора технических средств автоматики при построении системы управления влажно-тепловой обработкой. Показано, что при наличии неопределенности в характеристиках выбираемых технических средств качество системы управ-

ления снижается в соответствии с экспоненциальной зависимостью. В статье рассматриваются варианты оборудования, для которых требуются такие системы управления, и параметры, которые необходимо контролировать и регулировать для обеспечения технологических характеристик при влажно-тепловой обработке материалов.

This article examines the problem of selecting high-quality automation equipment when constructing a control system for wet-heat treatment. It is shown that when there is uncertainty in the characteristics of the selected equipment, the quality of the control system decreases exponentially. The article discusses equipment options that require such control systems and the parameters that must be monitored and adjusted to ensure the technological characteristics during wet-heat treatment of materials.

Ключевые слова: информационная неопределенность, технические средства автоматизации, система управления, оборудование, влажно-тепловая обработка, теория информации, мера неопределенности, качество системы управления.

Keywords: information uncertainty, automation technology, control system, equipment, wet-heat treatment, information theory, uncertainty measure, quality of the control system.

Введение

В условиях санкций создание современного отечественного оборудования и разработка систем управления таким оборудованием является актуальной задачей. Кроме того, построение качественной системы управления технологическим процессом позволяет значительно повысить эффективность, качество и безопасность работы оборудования, обеспечивает стабильность производства, снижение издержек и повышение конкурентоспособности.

При разработке системы управления необходимо учитывать большое количество факторов, влияющих на качество разрабатываемой системы. Это относится как к технологическим параметрам, которые подлежат регулированию и контролю, так и к оборудованию, реализующему эти функции.

От того, насколько полная будет информация о разрабатываемой системе, будет зависеть и качество работы системы управления, и время ее разработки. Комплексный подход к сбору и анализу данных о технических характеристиках оборудования, режимных параметрах обработки и свойствах материалов позволит построить оптималь-

ную систему управления, что, в свою очередь, оптимизирует технологический процесс, для которого стоит система управления. Как следствие, минимизируется брак и повысится энергоэффективность производства. Проведенный анализ [1] показывает справедливость данного утверждения по отношению к любому технологическому процессу, в том числе и к процессам влажно-тепловой обработки. Но система управления влажно-тепловой обработкой во многом зависит от целей использования оборудования и его типов.

Методы исследования

Влажно-тепловая обработка изделий текстильной и легкой промышленности является заключительным этапом производства [2]. Ее качество влияет на внешний вид изделия и его конкурентоспособность. Именно эта операция может изменить внешний вид изделия, сделав его более презентабельным или, наоборот, испортив изделие, вплоть до брака. Поэтому к оборудованию, на котором осуществляется влажно-тепловая обработка изделий текстильной и легкой промышленности, предъявляются жесткие требования.

Существует три основных типа оборудования, используемого для влажно-тепловой обработки [3].

Гладильные катки и каландры

Катки и каландры предназначены для глажения прямого белья, например, простыней, скатертей, штор.

При глажении на гладильном катке белье подается на вращающийся вал, обшитый специальным жаростойким материалом, далее белье увлекается валом и затягивается в зазор между ним и разогретой поверхностью гладильного лотка (рис. 1). После глажения белье поступает в приемный лоток.



Рис. 1

Катки используются для глажения белья с остаточной влажностью 25%. Поэтому перед глажением на катке необходимо использование сушильной машины, и при построении системы управления контур регулирования влажности не так важен.

Ширина гладильных катков в зависимости от модели составляет 1000 мм (каток гладильный ВГ-1018), 1200 мм (ВГ-1218), 1600 мм (ВГ-1630) и 2000 мм (ВГ-2030).

При глажении на каландре белье подается и прижимается на вал с помощью специальных гладильных лент, сушка и глажка белья производится с помощью нагретого вала. В отличие от катков, каландр способен прогладить и высушить белье с остаточной влажностью до 50%, благодаря чему можно использовать каландр сразу после стирки белья в стирально-отжимной машине (например, в машинах серии ВО Вязьма), исключая тем самым использование сушильной машины, но добавляя в систему управления контур контроля влажности. Основная задача каландра – сушить и гладить белье одновременно.

Ширина каландров в зависимости от модели составляет 1600 мм (каландр ВК-1640), 1800 мм (ВК-1840), 2000 мм (ВК-2050), 2200 мм (ВК-2250), 2400 мм (ВК-2450), 2800 мм (ВК-2800)

Гладильные катки используются в прачечных, гостиницах, ресторанах, детских садах, больницах и других учреждениях, где требуется глажка большого объема прямого белья (скатерти, простыни, полотенца, шторы). Они также применяются на швейных фабриках и в ателье для обработки больших текстильных полотен.

Преимущества гладильных катков: высокая производительность, качество глажения прямого белья, экономия времени, простота использования. Оборудование не требует сложной подготовки и легко управляется. Катки отличаются прочностью и долговечностью.

Прессы

Основное использование гладильных прессов – это прачечные, ателье, химчистки, т. е. все предприятия, где требуется быстро и качественно гладить большие объемы прямого белья. По своей сути, гладильный пресс – это утюг с очень большой площадью рабочей поверхности. Он прост в эксплуатации и требует минимум физических усилий. Сейчас выпускается масса моделей, предназначенных для домашнего использования.

Преимущества гладильных прессов: эффективность, компактность, экономия времени, безопасность.

Гладильные прессы бывают с парогенератором или без него, с рукавной платформой или без нее, с механическим, кнопочным или сенсорным управлением. Вес варьируется от 8,5 до 16 кг в зависимости от производителя и модели. Примеры оборудования представлены на рис. 2.

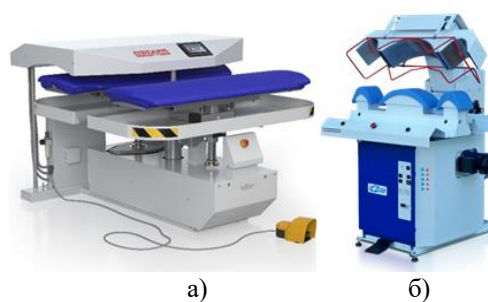


Рис. 2

Промышленный, профессиональный гладильный пресс для текстильных изделий, в отличие от гладильного катка или каландра, относится не только к гладильному, но и одновременно к финишному оборудованию, применяемому в прачечных и химчистках. Если основным назначением гладильного катка является разглаживание белья после стирки и отжима, а гладильный каландр добавляет к этому и функцию сушки, то функциональность и предназначение гладильного пресса, во многом схожие с катками и каландрами, все-таки имеют свои особенности и предполагают определенную специфику его использования. Главной особенностью и отличием является то, что гладильные катки и каландры ориентированы на разглаживание прямого белья (постели, полотенца, скатерти и т. п.), в то время как гладильный пресс рассчитан на одежду сложных форм, вязаные изделия и вещи с особым кроем.

По принципу работы существует два основных типа гладильных прессов:

электрический нагрев рабочей поверхности, в этом случае гладильный пресс превращается в утюг особой формы с наличием дополнительных возможностей;

нагрев рабочей поверхности при помощи пара, в этом случае процесс проходит более эффективно, а белью после глажки не обладает эффектом сухости и ломкости, что благоприятно сказывается на его долговечности.

Для любого пресса независимо от принципа его работы необходимо правильно выбрать форму рабочей поверхности, что поможет оптимизировать процесс глажки и увеличить производительность данной операции. Поверхность пресса может быть универсальная (прямоугольная) либо выполненная по форме конкретного изделия или его участка.

Утюги и отпариватели

Профессиональные утюги с парогенератором (рис. 3) предназначены для качественной и интенсивной работы с большими объемами ткани.

С их помощью можно не только отгладить сложные заломы, привести сшитую в ателье одежду в товарный вид, но и отпари-

вать швы, дезинфицировать детское белье, чистить обивку мебели. Это незаменимые бытовые приборы для работников ателье и гладильного цеха. Функция вертикального отпаривания позволяет работать с вещами, не снимая их с вешалки. Помогает освежить мебельную обивку, тюль, устраняет неприятные запахи.



Рис. 3

Каждый из приведенных типов оборудования имеет систему управления, содержащую контур управления температурой, контур контроля влажности, системы автоматики, характерные для конкретного оборудования.

Независимо от типа оборудования при установлении параметров влажно-тепловой обработки необходимо учитывать [4]:

- 1) достижение и длительное сохранение необходимого технологического эффекта влажно-тепловой обработки, обеспечение высокого качества изделия;
- 2) сохранение физико-механических свойств ткани;
- 3) максимальное использование оборудования;
- 4) повышение производительности труда, снижение трудоемкости обработки изделия.

Рациональные режимы влажно-тепловой обработки определяются на предприятиях в зависимости от вида ткани, вида оборудования и технологической операции, как правило, на основе проведения экспериментальных исследований. Превышение установленных параметров влажно-тепловой обработки приводит к появлению лас, пятен, опалов, тепловой усадке, оплавлению ворса

и опорной поверхности ткани, чрезмерному утонению рыхлых пушистых тканей, изменению цвета и др. Дефекты влажно-тепловой обработки в основном не удаляемы, плохо поддаются исправлению, а для отдельных материалов, например ворсовых, синтетических, трикотажных, недопустимы.

Основными факторами, которые необходимо контролировать, являются:

- температура сушки;
- скорость распространения тепла по нагреваемой поверхности;
- равномерность распределения тепла по нагреваемой поверхности;
- давление и сила прижатия;
- использование системы вакуумного прижатия;
- пар и его интенсивность;
- время температурного воздействия;
- влажность обрабатываемого материала.

Все эти факторы должны быть учтены при построении системы управления процессом влажно-тепловой обработки. От качества разработанной системы управления будет зависеть и качество изделий, получаемых после влажно-тепловой обработки.

При построении системы управления также важно осуществить правильный подбор технических средств автоматики, которые не только обеспечат выполнение заданных функций, но и будут энергоэффективны [5]. Они не должны иметь никакой избыточности – ни информационной, ни аппаратной, ни энергетической, ни программной. Каждый элемент, входящий в систему управления, должен выполнять предъявляемые к нему требования и при этом быть эффективным и надежным, только в этом случае система управления может считаться качественной [1, 8].

Результаты и обсуждения

В настоящее время оценка качества разработанной системы управления осуществляется только по результатам ее реализации в ходе технологического процесса, т. е. оценивается ее точность, быстрдействие, надежность, но не проводится оценка того, насколько целесообразно были подобраны средства автоматики: нет ли их избыточности или, наоборот, они работают на пределе

своих возможностей и очень быстро вырабатывают свой ресурс. А поскольку современный рынок продукции легкой промышленности очень мобилен, важным показателем является и то, насколько быстро может быть построена или перенастроена система управления под новый ассортимент. Поэтому очень важно, чтобы при построении системы управления было максимально полно составлено техническое задание и правильно подобраны технические средства автоматики. Отсутствие информации в техзадании или при выборе технических средств для построения системы управления либо приостановит работу, либо приведет к появлению некоторой неопределенности при выборе соответствующего элемента в системе управления.

В соответствии с теорией информации меру неопределенности любого процесса можно характеризовать энтропией H этого процесса [6]. Но энтропия обладает свойством аддитивности, то есть энтропия сложной системы, состоящей из нескольких независимых систем, равна сумме энтропий каждой системы [9]. Поскольку элементы системы управления независимы, можно определить энтропию всей системы по формуле [6]:

$$H = -a \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^S p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (1)$$

где p_{ij} – вероятность своевременного получения недостающей информации об элементе системы управления; m – количество элементов, по которым нет полной информации; S – количество неполученной информации, т. е. количество вопросов о технических средствах, не имеющих ответа; a – постоянный коэффициент.

Если принять, что вероятность отсутствия информации о каждом элементе одинакова, то для определения энтропии рассматриваемого процесса можно воспользоваться формулой Хартли [7]:

$$H = -a \ln K, \quad (2)$$

где $K = \sum_{j=1}^m S_j$.

Известно, что количество информации I о процессе равно уменьшению информационной энтропии этого процесса [11]. Допустим, что $K_{\max}=n$, и обозначим соответствующую этому предельному случаю энтропию через H_1 . Тогда

$$I = H_1 - H = a \ln \frac{n}{K} \quad (3)$$

отсюда

$$K = ne^{-I/a}. \quad (4)$$

В этом случае относительное уменьшение качества разрабатываемой системы управления $f(K)$ может быть найдено по формуле:

$$f(K) = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^K \tau_i, \quad (5)$$

где τ_i – потеря качества, вызванная неопределенностью данных для i -го устройства, входящего в систему управления.

Умножим правую и левую части выражения (5) на K . Тогда на основании формул (3) и (4) получим выражение для оценки качества разрабатываемой системы управления:

$$R_{\Pi} = R_0(1 + n_0 e^{I/I_0}), \quad (6)$$

где $n_0 = \frac{n}{KR_0} \sum_{i=0}^K \tau_i$; $I_0=a$,

где R_0 – максимально возможный показатель качества системы управления при условии полной информационной определенности; I – информационная обеспеченность процесса построения системы управления в целом.

При $\tau_i=\tau=\text{const}$ формула для определения коэффициента n_0 упрощается:

$$n_0 = n\tau/R_0. \quad (7)$$

Данная формула универсальна и позволяет оценить качество системы управления по различным факторам. Так, если оценить качество системы с точки зрения времени, затраченного на ее разработку или перенастройку, то зависимость времени проектирования системы от информационной обес-

печенности процесса будет выражена убывающей экспоненциальной зависимостью, представленной на рис. 4.

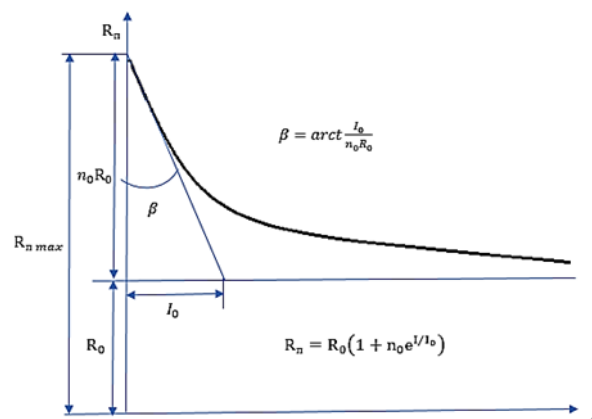


Рис. 4

Заключение

Проведенное исследование выявило прямую зависимость качества системы управления процессом влажно-тепловой обработки от полноты информации об используемом оборудовании, что подтверждается полученными аналитическими соотношениями. Результаты работы подчеркивают необходимость комплексного подхода к сбору и анализу данных о технических характеристиках оборудования, режимных параметрах обработки и свойствах материалов, что позволит оптимизировать процессы ВТО, минимизировать брак и повысить энергоэффективность производства. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется разработка интеллектуальных систем управления на основе IoT-технологий и адаптивных алгоритмов, способных учитывать динамические изменения параметров обработки в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луфуа В.Л.Х., Борисова О.В. Основные ошибки в проектировании автоматизированных систем управления // Трансформация науки и образования в современном обществе: теория и практика междисциплинарных исследований. Ростов-на-Дону: Манускрипт, 2024. С. 106...108.
2. Азимов А.М., Нысанбек М.М. Особенности влажно-тепловой обработки текстильных материалов и их свойства // Инновационные решения в промышленной инженерии. Курск, 2023. С. 228...231.

3. *Атаева Ф.А.* Совершенствование конструкции рабочих органов современных прессов и паровоздушных манекенов для повышения формоустойчивых характеристик при влажно-тепловой обработке одежды // Исследования ВКР – в практику профессиональной жизни. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. Ч. 2. С. 154...158.

4. *Бахиркин М.В., Лукин В.Н.* Современные реалии управления программными проектами // Моделирование и анализ данных. 2021. Т. 11, № 4. С. 72...86. – DOI 10.17759/mda.2021110406.

5. *Куркина В.В., Спиринова М.С., Александров Д.А.* Обеспечение диагностируемости технологического процесса минимальным числом датчиков на основе энтропийного критерия // Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2021. Т. 1. С. 239...242.

6. *Хартли Р.* Передача информации // Теория информации и ее приложения. М.: ИЛ, 1959. С. 5...35.

7. *Хадеева З.И.* Analysis and processing of data using various programs // Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации. М., 2023. Р. 84...87.

8. *Пахомова Т.В., Волощук Л.А., Шибайкин В.А., Гиляжева Д.Н.* Обработка статистических данных с помощью корреляционно-регрессионного анализа // Экономика и предпринимательство. 2023. № 9(158). С. 1192...1195. – DOI 10.34925/EIP.2023.158.09.231.

9. *Jung D., Dong Y., Frisk E. etc.* Sensor selection for fault diagnosis in uncertain systems // International journal of control. 2020. V. 93. No.3. P. 629...639. – doi.org/10.1080/00207179.2018.1484171

10. *Хуснулина А.С.* Современные методы анализа данных // Современные тренды развития регионов: управление, право, экономика, социум. Челябинск, 2022. С. 361...364.

11. *Gogunskii V., Kolesnikova K., Lukianov D.* (2022). Entropy analysis of organizations' knowledge systems on the example of project management standards. Applied Aspects of Information Technology. 5. P. 91...104. – 10.15276/aait.05.2022.7.

2. *Azimov A.M., Nysanbek M.M.* Features of wet-heat treatment of textile materials and their properties // Innovative solutions in industrial engineering. Kursk, 2023. Pp. 228...231.

3. *Атаева Ф.А.* Improving the design of the working bodies of modern presses and steam-air dummies to improve the shape-resistant characteristics of wet-heat treatment of clothing // Research into the practice of professional life. Moscow: RSU named after A.N. Kosygina, 2023. Part 2. Pp. 154...158.

4. *Bagirkin M.V., Lukin V.N.* Modern software project management systems // Data management and analysis. 2021. Vol. 11, No. 4. Pp. 72...86. – DOI 10.17759/mda.2021110406.

5. *Kurkina V.V., Spirinova M.S., Aleksandrov D.A.* Ensuring the diagnosability of the technological process with a minimum number of sensors based on the entropy criterion // International Scientific Conference on Management Problems in Technical Systems. 2021. Vol. 1. P. 239...242.

6. *Hartley R.* Information transmission // Theory of information and its applications. Moscow: IL, 1959. Pp. 5...35.

7. *Khadeeva Z.I.* Data analysis and processing using various programs // Actual aspects of the development of science and society in the era of digital transformation. Moscow, 2023. P. 84...87.

8. *Pakhomova T.V., Voloshchuk L.A., Shibai-kin V.A., Gilyazheva D.N.* Statistical data processing using correlation and regression analysis // Economics and entrepreneurship. 2023. № 9(158). Pp. 1192...1195. – DOI 10.34925/EIP.2023.158.09.231.

9. *Jung D., Dong Y., Frisk E. etc.* Sensor selection for fault diagnosis in systems with uncertainty // International Journal of Management, 2020. Vol. 93. No. 3. P. 629...639. – doi.org/10.1080/00207179.2018.1484171

10. *Khusnulina S.* Modern methods of data analysis // Modern trends in regional development: management, law, economics, society. Chelyabinsk, 2022. pp. 361...364.

11. *Gogunsky V., Kolesnikova K., Lukyanov D.* (2022). Entropy analysis of knowledge systems of organizations using the example of project management standards. Applied aspects of information technology. 5. P. 91...104. – 10.15276/aait.05.2022.7.

REFERENCES

1. *Lufua V. L.H., Borisova O.V.* The main mistakes in the design of automated control systems // Transformation of science and education in modern society. Rostov-on-Don: Manuscript, 2024. Pp. 106...108.

Рекомендована кафедрой автоматизации и промышленной электроники РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 10.06.25.