

АНАЛИЗ МНОГОСВЯЗНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова,
С. Н. А. Аль Кнфер, М. А. Д. Аль-Амиди, О. Х. Я. Аль-Хамами,
М. Л. Гогорян, Д. Г. Дмитриев**

*Кафедра «Информационные процессы и управление»,
terehova.aa@mail.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: диффузионная установка; задача управления; объект управления; производство сахара; технологический процесс; управляющее воздействие; цель управления.

Аннотация: Рассмотрено усовершенствование управления взаимосвязанными технологическими процессами в пищевых производствах, на примере экстракции сахара в диффузионных установках. Приведены методологические основы процесса разработки системы управления. Выявлены особенности объекта управления, недостатки существующих систем управления, изучены взаимосвязи входных и выходных величин, определены управляющие воздействия, учтены условия, которые должны соблюдаться при решении задачи управления.

Введение

Технологические процессы пищевых производств включают переработку сырья в продукты питания. Как и химические процессы, они основаны на фундаментальных положениях закона сохранения массы и закона сохранения энергии, однако обладают своей спецификой из-за сложного комплекса происходящих физико-химических, биохимических и микробиологических процессов.

В пищевых производствах часто применяются процессы массообмена, такие как экстракция, ректификация, абсорбция, адсорбция, растворение и кристаллизация, сушка. Многие технологические процессы идут с образованием неоднородных смесей, которые необходимо разделять. Различные фазы вступают во взаимодействие друг с другом, при этом происходит обмен растворенных в них веществ.

В пищевой промышленности экстрагированию подвергают в основном такое сырье, как сахарную свеклу, различные масличные, фрукты. Например, когда сахарную свеклу, изрезанную на мелкие кусочки, так называемую свекловичную стружку, промывают водой, то сахар, который находится в клетках свеклы, переходит в воду. Данный процесс происходит из-за разности концентрации сахара в свекле и воде. Скорость перехода сахара уменьшается с увеличением его концентрации в воде и снижении в стружке. Процесс останавливается при выравнивании концентраций, так как движущей силой массообменных процессов является разность концентраций.

Анализ технологического процесса

Одна из самых ответственных стадий сахарного производства – получение диффузионного сока в диффузионных установках [1], где при контакте воды со свекловичной стружкой образуется диффузионный сок, содержащий сахар и некоторые несхаристые вещества [2].

На сахарных заводах применяются разнообразные диффузионные установки, среди которых наибольшее распространение получили наклонные установки непрерывного действия (рис. 1).

Свекловичная стружка, полученная на свеклорезках 2 из чистой свеклы, ленточным транспортером 4, на котором установлены автоматические конвейерные весы 3, подается в наклонный шнековый диффузионный аппарат 5. Для извлечения из стружки сахара в диффузионный аппарат добавляется возвратная жомопрессовая вода из сборника 1 и свежая вода из сборника 14. Жомопрессовая вода получается при прессовании жома (обессахаренной стружки), выходящего из диффузионного аппарата и грабельным транспортером 13 направляемого на весы. Вода из прессов освобождается от мезги, стерилизуется и насосами нагнетается в сборник 1. Свежую воду (конденсат выпарных аппаратов) подают в сборник 14. Полученный в диффузионном аппарате сок насосами 9 перекачивается в мезголоушку 6, где очищается от содержания в нем мезги. Очищенный диффузионный сок собирается в сборник 7, из которого насосами 8 его подают на очистку. Камеры диффузионного аппарата обогреваются паром. Конденсат пара из камер через водоотводчики 12 поступает в сборник 11, из которого насосами 10 перекачивается в общезаводской сборник конденсата.

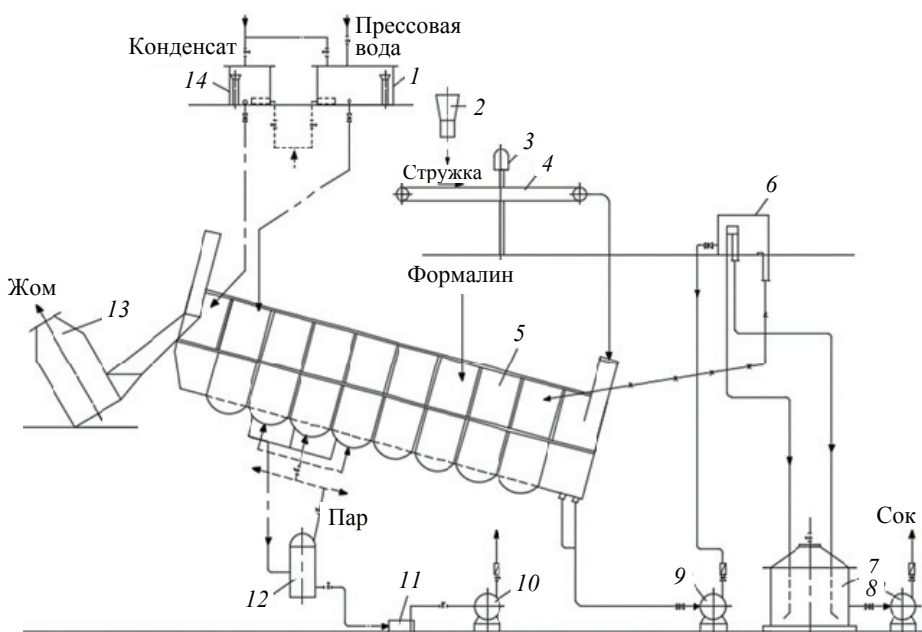


Рис. 1. Технологическая схема свеклоперерабатывающего отделения с наклонным шнековым диффузионным аппаратом

Объектом управления на стадии получения диффузионного сока является наклонный шнековый диффузионный аппарат, где сахар, растворенный в свекловичном соке корнеплода, извлекается из клеток противоточной диффузией, при которой стружка поступает в головную часть агрегата и движется к хвостовой части, отдавая сахар путем диффузии в движущуюся навстречу экстрагенту высокоживанную воду. Из конца хвостовой части агрегата выводится стружка с малой концентрацией сахара (жом), а экстрагент, обогащенный сахаром, выводится как диффузионный сок.

Для выбора режимов работы системы автоматизированного управления процессами, протекающими при получении диффузионного сока, необходимо провести анализ входных и выходных потоков технологического процесса и получить математическое описание объекта управления [3].

Анализ литературных источников [1 – 11] и опыта промышленной эксплуатации позволил выявить следующие особенности объекта:

1. Неустойчивое качество сырья, влияющее на концентрацию сахарозы в диффузионном соке (зависимость от условий выращивания свеклы, хранения и т.д.). Величина коэффициента диффузии сахарозы в большой степени зависит от состояния тканей сахарной свеклы. Например, в недозрелой свекле коэффициент сахарозы на 15 – 20 % ниже, чем в спелой свежееубранной, а в замороженной и оттаявшей – наоборот, на 15 – 20 % выше.

2. На коэффициент диффузии сахарозы в тканях свеклы влияют температура, площадь свекловичной стружки, длительность процесса экстракции.

3. Активная экстракция сахарозы начинается с момента полной денатурации белков в свекловичной стружке и заканчивается с выходом обессахаренной стружки из экстрактора. Большая длительность экстракции приводит к тому, что от воздействия температуры клеточные стенки свеклы размягчаются и пектиновые вещества переходят в сок; в хвостовой части диффузионного аппарата концентрация сахарозы в стружке снижается и резко возрастают неучтенные потери сахарозы в результате интенсивного развития микроорганизмов, которые в процессе обмена веществ потребляют сахар. Продолжительность пребывания свекловичной стружки в диффузионном аппарате зависит от производительности аппарата.

4. С увеличением расхода свежей питающей воды снижаются потери сахарозы в жоме, но увеличивается расход топлива на выпаривание избыточной воды из диффузионного сока.

5. Большая инерционность по каналу управления концентрацией сахарозы в диффузионном соке, который содержит сахарозу и несахара: растворимые белки, пектиновые вещества и продукты их распада, редуцирующие сахара, аминокислоты, слабые азотистые основания, соли органических и неорганических кислот, а также другие химические вещества и примеси.

6. Колебания расхода жомопрессовой и свежей воды, температуры поступающей свеклы.

7. Нестационарность процесса, обуславливаемая изменением теплофизических свойств смеси свекловичной стружки, мезги и питательной воды, находящейся внутри аппарата, и наличием застойных зон.

Входными величинами процесса получения диффузионного сока являются степень открытия клапана на линии подачи пара μ (управляющая величина), а также расходы жомопрессовой $G_{ж.в}$ и свежей $G_в$ воды, температуры жомопрес-

совой $T_{ж.в}^{ВХ}$ и свежей $T_{в}^{ВХ}$ воды на входе в аппарат, давление в линии подачи пара $P_{п}$, производительность аппарата по свекле (частота вращения шнека) $n_{ш}$, температура поступающей свеклы $T_{св}^{ВХ}$, температура окружающей среды $T_{ОС}$, качество сырья K_c , площадь свекловичной стружки F_c . Перечисленные величины относятся к возмущающим воздействиям.

Выходные величины следующие: концентрация сахарозы в диффузионном соке C_c , расход пара в диффузионный аппарат $G_{п}$, общий расход смеси из аппарата $G_{общ}$, состоящий из расхода диффузионного сока G_c и жома $G_{ж}$, температура смеси в диффузионном аппарате T_d . На рисунке 2 представлены входные и выходные параметры технологического процесса экстракции в наклонном шнековом диффузионном аппарате как объекте управления. В качестве промежуточной выходной величины, имеющей малую инерционность, будем рассматривать коэффициент диффузии сахарозы D , значение которого в основном определяется температурой смеси в диффузионном аппарате T_d и площадью свекловичной стружки F_c .

На рисунке 3 показаны взаимосвязи параметров объекта управления. Зависимости выходных и промежуточного параметров от управляющих и возмущающих воздействий следующие:

$$C_c = f(G_{ж.в}, G_{в}, T_{ж.в}^{ВХ}, T_{в}^{ВХ}, T_{св}^{ВХ}, T_{ОС}, K_c, F_c, D, \mu, n_{ш});$$

$$G_{п} = f(G_{ж.в}, G_{в}, T_{ж.в}^{ВХ}, T_{в}^{ВХ}, P_{п}, T_{св}^{ВХ}, T_{ОС}, K_c, \mu, n_{ш});$$

$$G_{общ} = f(G_{ж.в}, G_{в}, T_{ж.в}^{ВХ}, T_{в}^{ВХ}, T_{св}^{ВХ}, T_{ОС}, \mu, n_{ш});$$

$$D = f(T_{ж.в}^{ВХ}, T_{в}^{ВХ}, T_{св}^{ВХ}, T_{ОС}, K_c, F_c, \mu, n_{ш}).$$



Рис. 2. Входные и выходные параметры объекта управления

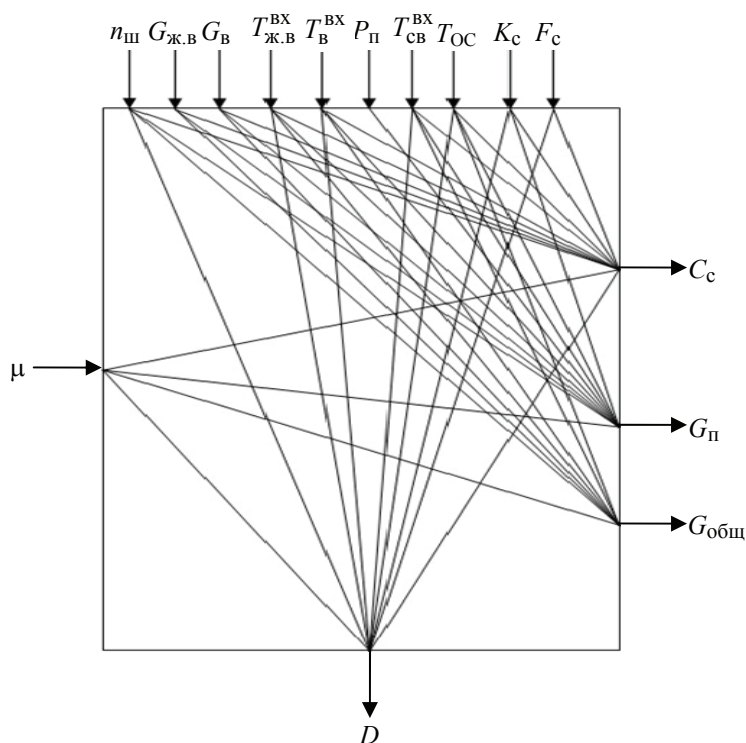


Рис. 3. Взаимосвязь параметров объекта управления

Постановка задачи управления

Цель управления – интенсификация процесса экстракции в условиях действия переменного качества сырья и температуры.

Задача управления технологическим процессом получения диффузионного сока сформулирована следующим образом:

– необходимо найти такой вектор управляющих воздействий $u = \{\mu^*\}$, при котором достигается минимум критерия оптимальности I с учетом воздействия возмущений

$$v = \{n_{ш}, T_{ж.в}^{BX}, T_{в}^{BX}, P_{п}, T_{св}^{BX}, T_{ос}, G_{ж.в}, G_{в}, K_{с}, F_{с}\}$$

и ограничений:

$$w = \{C_{с}, G_{п}, t_{д}, G_{общ}\};$$

$$f(u, v, w) = \max_{u \in U} I; \tag{1}$$

$$u \in U; \tag{2}$$

$$v \in V; \tag{3}$$

$$w \in W, \tag{4}$$

где U, V, W – множество векторов соответственно управляющих и возмущающих воздействий, а также выходных величин.

В качестве критериев оптимальности рассмотрены концентрация сахарозы $C_{с}$ в выходящем из аппарата диффузионном соке и ее отклонение от заданного значения.

Анализ существующих подходов к управлению диффузионными аппаратами в сахарном производстве показал, что применяемые в них методы управления не обеспечивают увеличение и стабилизацию концентрации сахарозы в выходящем диффузионном соке и не являются достаточно эффективными в условиях воздействия возмущений, нестационарности и инерционности процессов.

Выявленные недостатки известных способов управления подобными процессами показали, что при большой инерционности обеспечивается необходимое качество регулирования только при малых возмущениях [12 – 18]. Главная причина состоит в неумении преодоления инерционности объекта.

Совершенствование управления процессом экстракции в наклонном шнековом диффузионном аппарате должно состоять в использовании системой управления:

- промежуточной выходной величины с меньшей инерционностью, что улучшит динамические характеристики системы;
- управляющих величин, определенных по математической модели процесса, учитывающей нестационарность процесса.

Усовершенствование системы управления состоит в следующем.

Для достижения цели управления предлагается принцип управления процессом экстракции в наклонном шнековом диффузионном аппарате, состоящий:

1) в выборе в качестве малоинерционной выходной величины коэффициента диффузии сахарозы, в большей степени определяемого температурой смеси в аппарате;

2) сведение задачи управления концентрацией сахарозы в выходящем из аппарата диффузионном соке к управлению коэффициентом диффузии сахарозы.

Для реализации данной концепции необходимо построить математическую модель, учитывающую нестационарность процесса, и разработать алгоритм управления.

Список литературы

1. Сапронов, А. Р. Технология сахарного производства / А. Р. Сапронов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Колос, 1999. – 495 с.
2. Лысянский, В. М. Процесс экстракции сахара из свеклы. Теория и расчет / В. М. Лысянский. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 223 с.
3. Горбатюк, В. И. Процессы и аппараты пищевых производств / В. И. Горбатюк. – М. : Колос, 1999. – 335 с.
4. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевой технологии / Г. Д. Кавецкий, В. П. Касьяненко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : КолосС, 2008. – 591 с.
5. Бугаенко, И. Ф. Технологические отклонения в сахарном производстве. Причины, предупреждения, устранение / А. Коваржик, О. Бем, Й. Буреш [и др.] ; пер. с чеш. и ред. И. Ф. Бугаенко. – М. : Агропромиздат, 1986. – 262 с.
6. Силин, П. М. Технология сахара / П. М. Силин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Пищевая промышленность, 1967. – 624 с.
7. Иванец, В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств : учеб. пособие / В. Н. Иванец, И. А. Бакин, С. А. Ратников. – Кемерово : Кемеровский технологический ин-т пищевой промышленности, 2004. – 180 с.
8. Болотов, В. М. Технология получения, свойства и применение пищевых красителей на основе природных антоциановых и каротиноидных соединений / В. М. Болотов, Е. В. Комарова, П. Н. Саввин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 124 – 133. doi: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.124-133

9. Казуб, В. Т. Особенности кинетики процесса экстрагирования под воздействием импульсного поля высокой напряженности / В. Т. Казуб, А. Г. Кошкарова, С. П. Рудобашта // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 134 – 139. doi: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.134-139

10. Промтов, М. А. Интенсификация процесса экстрагирования в роторном импульсном аппарате с профилированным ротором / М. А. Промтов, А. Ю. Степанов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 86 – 91. doi: 10.17277/vestnik.2019.01.pp.086-091

11. Промтов, М. А. Критериальные зависимости для расчета процесса экстрагирования гуминовых кислот из торфа и биогумуса в роторном импульсном аппарате / М. А. Промтов, А. Ю. Степанов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 263 – 274. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.263-274

12. Ладанюк, А. П. Оперативное управление технологическими процессами в пищевой промышленности / А. П. Ладанюк, В. Г. Перепечаенко. – Киев : Урожай, 1987. – 160 с.

13. Еременко, Б. А. Автоматическое управление процессами свеклосахарного производства / Б. А. Еременко. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 223 с.

14. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 654 с.

15. Математические модели многосвязных объектов управления / М. Н. М. Саиф, В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 53 – 62. doi: 10.17277/vestnik.2019.01.pp.053-062

16. Управление объектами с взаимосвязанными величинами / М. Н. М. Саиф, В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 206 – 218. doi: 10.17277/vestnik.2019.02.pp.206-218

17. Управление сложными технологическими процессами на примере сушки в аппаратах псевдоожиженного слоя / М. Н. М. Саиф, В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский [и др.] // Системы управления и информационные технологии. – 2020. – № 4 (82). – С. 55 – 58. doi: 10.36622/VSTU.2020.38.74.013

18. Разработка программного комплекса системы управления сложными производственными процессами / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 168 – 184. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.168-184

The Analysis of a Multiple-Connected Technological Process as a Control Object Using the Example of Food Industries

V. G. Matveikin, B. S. Dmitrievsky, A. A. Terekhova, S. N. A. Al Knfer, M. A. D. Al-Amidi, O. H. Y. Al-Hamami, M. L. Gogoryan, D. G. Dmitriev

*Department of Information Processes and Control,
terekhova.aa@mail.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: diffusion installation; management task; control object; sugar production; technological process; control action; management goal.

Abstract: The paper considers the improvement of the management of interconnected technological processes in food production, using the example of sugar extraction in diffusion plants. The methodological foundations of the process

of developing a control system are given. The features of the control object, the shortcomings of existing control systems are revealed, the relationship between input and output values is studied, control actions are determined, the conditions that must be observed when solving the control problem are taken into account.

References

1. Sapronov A.R. *Tekhnologiya sakharnogo proizvodstva* [Technology of sugar production], Moscow: Kolos, 1999, 495 p. (In Russ.)
2. Lysyanskiy V.M. *Protsess ekstraktsii sakhara iz svekly. Teoriya i raschet* [The process of extraction of sugar from beets. Theory and calculation], Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1973, 223 p. (In Russ.)
3. Gorbatyuk V.I. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Processes and apparatuses for food production], Moscow: Kolos, 1999, 335 p. (In Russ.)
4. Kavetskiy G.D., Kas'yanenko V.P. *Protsessy i apparaty pishchevoy tekhnologii* [Processes and apparatuses of food technology], Moscow: KolosS, 2008, 591 p. (In Russ.)
5. Kovarzhik A., Bem O., Buresh Y. [et al.], Bugayenko I.F. [Ed.] *Tekhnologicheskiye otkloneniya v sakharnom proizvodstve. Prichiny, preduprezhdeniya, ustraneniye* [Technological deviations in sugar production. Causes, warnings, elimination], Moscow: Agropromizdat, 1986, 262 p. (In Russ.)
6. Silin P.M. *Tekhnologiya sakhara* [Technology of sugar], Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1967, 624 p. (In Russ.)
7. Ivanets V.N., Bakin I.A., Ratnikov S.A. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv: uchebnoye posobiye* [Processes and apparatuses of food production: a tutorial], Kemerovo: Kemerovskiy tekhnologicheskiiy institut pishchevoy promyshlennosti, 2004, 180 p. (In Russ.)
8. Bolotov V.M., Komarova Ye.V., Savvin P.N. [Technology for obtaining, properties and use of food dyes based on natural anthocyanin and carotenoid compounds], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 124-133, doi: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.124-133 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Kazub V.T., Koshkarova A.G., Rudobashta S.P. [Features of the kinetics of the extraction process under the influence of a high-intensity pulsed field], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 134-139, doi:10.17277/vestnik.2018.01.pp.134-139 (In Russ., abstract in Eng.)
10. Promptov M.A., Stepanov A.Yu. [Intensification of the extraction process in a rotary impulse apparatus with a profiled rotor], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 86-91, doi: 10.17277/vestnik.2019.01.pp.086-091 (In Russ., abstract in Eng.)
11. Promptov M.A., Stepanov A.Yu. [Criteria dependencies for calculating the process of extraction of humic acids from peat and biohumus in a rotary pulse apparatus], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 263-274, doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.263-274 (In Russ., abstract in Eng.)
12. Ladanyuk A.P., Perepechayenko V.G. *Operativnoye upravleniye tekhnologicheskimi protsessami v pishchevoy promyshlennosti* [Operational management of technological processes in the food industry], Kyiv: Urozhay, 1987, 160 p. (In Russ.)

13. Yeremenko B.A. *Avtomaticheskoye upravleniye protsessami sveklosakharnogo proizvodstva* [Automatic control of sugar beet production processes], Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1976, 223 p. (In Russ.)

14. Pupkov K.A., Yegupov N.D. *Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya T. 1: Matematicheskiye modeli, dinamicheskoye kharakteristiki i analiz sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of classical and modern theory of automatic control. Vol. 1: Mathematical models, dynamic characteristics and analysis of automatic control systems], Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Baubana, 2004, 654 p. (In Russ.)

15. Saif M.N.M., Matveykin V.G., Dmitriyevskiy B.S., Bashkatova A.V., Mamontov A.A. [Mathematical models of multiply connected control objects], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 53-62, doi: 10.17277/vestnik.2019.01.pp.053-062 (In Russ., abstract in Eng.)

16. Saif M.N.M., Matveykin V.G., Dmitriyevskiy B.S., Bashkatova A.V., Mamontov A.A. [Management of objects with interrelated values], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 25, no. 2, pp. 206-218, doi: 10.17277/vestnik.2019.02.pp.206-218 (In Russ., abstract in Eng.)

17. Saif M.N.M., Matveykin V.G., Dmitriyevskiy B.S., Terekhova A.A., Al' Knfer S.N.A. [Control of complex technological processes on the example of drying in fluidized bed apparatuses], *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii* [Control systems and information technologies], 2020, no. 4 (82), pp. 55-58, doi: 10.36622/VSTU.2020.38.74.013 (In Russ., abstract in Eng.)

18. Matveykin V.G., Dmitriyevskiy B.S., Terekhova A.A., Al' Knfer S.N.A., Al' Amidi M.A.D. [Development of a software complex for a control system for complex production processes], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 168-184, doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.168-184 (In Russ., abstract in Eng.)

Analyse eines mehrfach verbundenen technologischen Prozesses als Kontrollobjekt am Beispiel von Lebensmittelproduktionen

Zusammenfassung: Am Beispiel der Zuckergewinnung in Diffusionsanlagen ist die Verbesserung der Steuerung vernetzter technologischer Prozesse in der Lebensmittelindustrie betrachtet. Die methodischen Grundlagen des Prozesses zur Entwicklung eines Steuerungssystems sind gegeben. Es sind die Merkmale des Kontrollobjekts, die Mängel bestehender Kontrollsysteme aufgedeckt, die Beziehungen zwischen Eingabe- und Ausgabewerten sind untersucht worden, Kontrollaktionen sind bestimmt, die Bedingungen, die bei der Lösung des Kontrollproblems eingehalten werden müssen, sind berücksichtigt.

Analyse du processus technologique multi-couplé en tant qu'objet de commande à l'exemple de la production alimentaire

Résumé: Est examiné le perfectionnement de la commande des processus technologiques interconnectés dans la production alimentaire, à l'exemple de l'extraction du sucre dans des installations de diffusion. Sont présentées les bases

méthodologiques du processus de l'élaboration du système de commande. Sont montrées les caractéristiques de l'objet de commande, les défauts des systèmes de commande existants; sont étudiées les relations entre les valeurs d'entrée et de sortie; sont définis les effets de commande; sont prises en compte les conditions à respecter lors de la résolution du problème de commande.

Авторы: *Матвейкин Валерий Григорьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные процессы и управление»; *Дмитриевский Борис Сергеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные процессы и управление»; *Терехова Анастасия Андреевна* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Аль Кифер Самер Нахи Альван* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Аль-Амиди Мустафа Абдулкадим Дхаир* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Аль-Хамами Омар Хашиш Яхья* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Гогорян Михаил Леонович* – студент; *Дмитриев Дмитрий Геннадьевич* – студент, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.