

снижению коэффициента трения. Это объясняется попаданием индикатора трибометра FT-2 на частицы модификатора, которые выполняют роль «сухой смазки». Увеличение значения коэффициента трения на 6,8 % у образца, модифицированного ОМИГФ, связано с неоднородностью и низкой прирабатываемостью трущихся поверхностей.

При исследовании защитных свойств покрытий установлено, что очаги коррозии реже появляются на образцах с покрытием, где использовались модификаторы. Очевидно, это связано с благоприятным влиянием модификаторов на коррозионную защиту. Модифицированные композиционные покрытия, нанесенные непосредственно на поверхность стали, обеспечивает защиту от коррозии в среднем на 25–30 %.

Таким образом, экспериментально установлено, что введение модификаторов в полиамидное покрытие, в частности, олигоимидоаминофенилена и олигоимидоимидогидроксифенилена, приводит к изменению поверхностной структуры покрытий, улучшению триботехнических характеристик поверхности и повышению коррозионной стойкости деталей.

Результаты исследований свидетельствуют о перспективности применения разработанных покрытий в машиностроении, в частности, для деталей узлов трения автотракторной техники и технологического оборудования.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зборщик, А. М. Конспект лекций по дисциплине «Новые материалы в металлургии» / А. М. Зборщик. – Донецк: ГВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 235 с.
2. Яковлев, А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учебник для вузов. – 4-е изд., исправл. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. – 448 с.
3. Имидосодержащая меламиналкидная композиция: пат. 15323 РБ, МПК C08L 61/28, C08L 67/08 / А. И. Глоба [и др.]; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» – № а 20101151, заявл. 28.07.2010; опубл. 28.02.12.
4. Гаврилова, В. В. Триботехнические и композиционные материалы / В. В. Гаврилова, А. С. Антонов, С. А. Плещак. – Гродно: ГрГУ, 2013. – Часть I: Триботехнические материалы. Лабораторный практикум – 48 с.
5. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний: ГОСТ 9.308-85. – Введен 28.11.85. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам. – 1987. – 21 с.
6. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии: ГОСТ 15140-78. – Введен 01.01.79. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 12 с.

Материал поступил в редакцию 08.11.2018

#### SHUPAN P. I., LESHCHIK S. D. SHAVIRIN P. D. Research of structure and properties composite polymeric coverings on the basis of polyamide 6

Polymer composite coatings based on polyamide 6 containing oligomaleimidoaminophenylene and oligomaleimidohydroxyphenylene are have been obtained. The morphological characteristics of the surface of the composite coatings based on polyamide 6 have been studied using the light-microscopical method. Tribotechnical tests have shown that the use of an oligomaleimidoaminophenylene modifier as a modifying agent leads to a decrease in friction coefficient; it has been noted that this oligoimide has the properties of a dry lubricant. Corrosion tests have shown that modified coatings are less susceptible to corrosion.

УДК 681.518:303.732:004.45:637.131

Заец Н. А., Власенко Л. О., Луцкая Н. Н., Штепа В. Н.

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Введение.** Технологические комплексы (ТК) пищевых производств имеют сложную структуру и состоят из большого количества взаимосвязанных аппаратов, объединенных материальными, информационными, тепловыми и энергетическими потоками в отделения, цеха и производства [1].

В качестве примера приведен анализ молочного производства, особенностью которого является широкий ассортимент производимой продукции, разнообразие и количество видов которой может потребовать изменений в силу объективных факторов (изменения качества сырья, поступающего на предприятие, изменения спроса, состояния оборудования и т. п.) в условиях переработки быстропортящихся сырья и полуфабрикатов [2]. Для эффективной работы ТК молокозавода особое значение имеет определение узких мест и недопущение появления нештатных ситуаций и простоев. Это возможно только при своевременной и объективной информации о состоянии производства.

Технологический комплекс молочного завода относится к классу сложных систем, поскольку относится к предприятиям средней или

высокой мощности, является многофункциональным, разнородным, с комбинированной технологической топологией соединения элементов, с иерархической структурой, количество элементов превышает  $10^3$ . Кроме того, следует отметить, что производство можно разделить на подсистемы, соответствующие отдельному технологическому процессу или производству продукта. Поэтому ТК обладает определенной степенью автономности составляющих с возможностью управления ими на основании разных критериев оптимальности. Подсистемы при этом связаны сложными структурными и функциональными отношениями, что требует координации их работы между собой [3].

Для эффективной работы ТК молокозавода необходимо обеспечить следующие требования для каждой составляющей:

Сырье:

- обеспечение соответствующего качества исходного сырья;
- сохранение сырья со строгим соблюдением регламентированных условий: температурных, качественных (влажность, pH и т. д.) и других режимов;

**Заец Наталья Анатольевна**, к. т. н., доцент кафедры автоматизации и робототехнических систем им. акад. И.И. Мартыненко Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, доцент, e-mail: z-n@ukr.net.

Украина, 04300, г. Киев, ул. Героев Оборона 15, корпус 11.

**Власенко Лидия Александровна**, к. т. н., доцент кафедры интегрированных автоматизированных систем управления Национального университета пищевых технологий Украины, доцент, e-mail: lutskanm2017@gmail.com.

**Луцкая Наталья Николаевна**, к. т. н., доцент кафедры автоматизации и интеллектуальных систем Национального университета пищевых технологий Украины, доцент, e-mail: lutskanm2017@gmail.com.

Украина, 04300, г. Киев, ул. Владимирская, 68.

**Штепа Владимир Николаевич**, к. т. н., доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета а, доцент, e-mail: shns1981@gmail.com.

Беларусь, 225710, г. Пинск, ул. Днепровской Флотилии, 23.

- быстрое использование сырья в производстве из-за быстрого ухудшения качества;
- использование сырья в производстве в строго указанные сроки. Электроэнергия:
- обеспечение бесперебойной подачи электроэнергии. Тепловая энергия:
- обеспечение бесперебойной подачи тепловой энергии;
- обеспечение заданных параметров тепловой энергии (температуры, расхода, давления и т. п.). Газ:
- обеспечение бесперебойной подачи газа;
- обеспечение заданных параметров (расход, давление и т. д.). Хладагенты:
- обеспечение бесперебойной подачи хладагентов;
- обеспечение заданных параметров хладагентов (температуры, расхода, давления и т. п.). Оборудование:
- обеспечение бесперебойной работы технологических аппаратов;
- обеспечение бесперебойной работы микропроцессорных контроллеров;
- обеспечение бесперебойной работы электродвигателей;
- обеспечение бесперебойной работы электронасосов;
- обеспечение бесперебойной работы измерительных приборов;
- соблюдение графика проведения профилактических ремонтных работ.

Готовая продукция:

- строгое соблюдение технологического регламента при производстве;
- обеспечение соответствующего качества готовой продукции;
- сохранение готовой продукции со строгим соблюдением регламентированных условий и режимов;
- обеспечение требований по транспортировке готовой продукции в распределительной сети и / или до конечного потребителя;
- реализация готовой продукции в строго указанные сроки.

Учитывая указанные особенности, современные молочные предприятия ставят высокие требования к обеспечению ресурсами надлежащего качества, согласованности по времени и месту проведения совокупности технологических процессов, что достигается за счет бесперебойной работы технологического оборудования, элементов систем автоматизации и информационных устройств. Первоочередной задачей в этих условиях является удовлетворение требований по повышению оперативности и достоверности информации о состоянии оборудования, производственной информации, улучшению прогнозирования возможных простоев, поломок, незапланированных ремонтных работ.

Существующие автоматизированные системы основаны на разных методах и подходах оптимального и робастного управления [4], координации, ситуационно-сценарного подхода [5], экспертных оценках и др. Как правило, работа их основана на анализе и коррекции технологических параметров, а состояние оборудования не учитывается. При этом следует отметить, что разного рода поломки оборудования приводят к нештатным ситуациям, а иногда и к предаварийным и аварийным.

Для обеспечения стабильной работы ТК молокозавода следует разработать автоматизированную систему, которая формировала бы управляющие воздействия на основании технологических параметров объекта, но и обеспечивала бы анализ текущей ситуации (штатная / нештатная / аварийная), оцениванием состояния оборудования.

**Постановка задачи.** Разработать структуру системы автоматизированного управления молокозаводом на основании сценарно-целевого подхода с учетом состояния оборудования.

**Материалы и методика исследований.** При автоматизации ТК возникает ряд специфических задач [6]: определение количества подсистем, связанных между собой сложными структурными, информационными, энергетическими, электрическими и функциональными отношениями; возможность управления выделенными подсистемами на основе различных критериев оптимальности; решения

задач оперативной оптимизации для выделенных подсистем; реализация координации их работы. Решение поставленных задач невозможно без учета основной причины увеличения финансовых затрат при работе ТК, а именно, возникновение поломок и, как следствие, простоев. Причин выхода технологического, электрического и технического оборудования из строя много, к основным можно отнести:

- несоблюдение технологического регламента;
- изменение качества сырья;
- резкие колебания в электрической сети;
- несвоевременное проведение регламентных ремонтных работ;
- несвоевременное / некачественное тестирование оборудования, в частности микропроцессорного;
- нарушение графика профилактических работ;
- разного типа повреждения оборудования и приборов (например, механические);
- дефекты в конструкции, которые проявляются со временем;
- чрезмерная нагрузка на подшипники и валы;
- засорения и заклинивания клапанов;
- различные виды закупорки;
- неправильное распределение вещества в аппаратах, недостаточное перемешивание, перегрев, появление осадка, разрушения материалов под химическим воздействием различных веществ, которые используются в процессе, и др.

Для оценки режимов функционирования ТК целесообразно выделить последовательность состояний системы  $E_1, E_2 \dots E_k, \dots$  каждый из которых оценивается определенными показателями системы  $X_k, Y_k, U_k$  и внешней среды (включая риски)  $\Theta_k$  [7]:

$$E_k \{R_{sd}^-, R_{os}^-, R_{tr}^-, R_{tr}^+\} = f(X_k, Y_k, U_k, \Theta_k), \quad (1)$$

где  $X_k$  – вектор внутренних параметров (конструктивные, технологические и др. показатели);  $Y_k$  – вектор внешних параметров (технические, экономические и др. показатели качества функционирования системы);  $U_k$  – вектор управляющих параметров.

Все действия и мероприятия, которые проводятся на заводе, направленные на обеспечение штатного режима  $R_{sd}$  работы ТК, при котором все показатели  $X_k, Y_k, U_k, \Theta_k$  находятся в априорно заданных интервалах. Когда отдельные показатели или определенные сообщения показателей выходят за пределы заданных интервалов, система переходит в нештатный режим  $R_{os}$ . Переход системы в нештатный режим соответствует переходному режиму: неуправляемому  $R_{tr}^-$ , который обусловлен действием множества  $M_{tr}$  факторов риска, которые приводят к нештатному режиму:

$$R_{tr}^- : R_{sd} \xrightarrow{M_{tr}} R_{os}. \quad (2)$$

Переход системы в нештатный режим соответствует переходному режиму: управляемому  $R_{tr}^+$ , когда под действием влияния управления  $U_{tr}$  система возвращается из нештатного режима в штатный:

$$R_{tr}^+ : R_{os} \xrightarrow{U_{tr}} R_{sd}. \quad (3)$$

Для нахождения системы в рабочем состоянии необходимо обеспечить соответствие следующим условиям:

$$\eta_i^- < \eta_i \leq \eta_i^+, W_i^- < W_i \leq W_i^+, T_{O_i} \leq T_{O_i}^{don}, \quad (4)$$

где  $\eta_i$  – степень риска, то есть вероятность появления нежелательных последствий действия каких-либо факторов риска в момент времени  $T_i \in T^\pm$  в процессе функционирования системы;  $W_i$  – уровень риска, то есть величина ущерба нежелательных последствий любых факторов риска в момент времени  $T_i \in T^\pm$ ;  $T_O$  – ресурс допустимого риска, то есть продолжительность периода функционирования системы в определенном режиме, в течение которого степень и уровень риска в результате действия факторов риска не превысят априорно заданных допустимых значений.

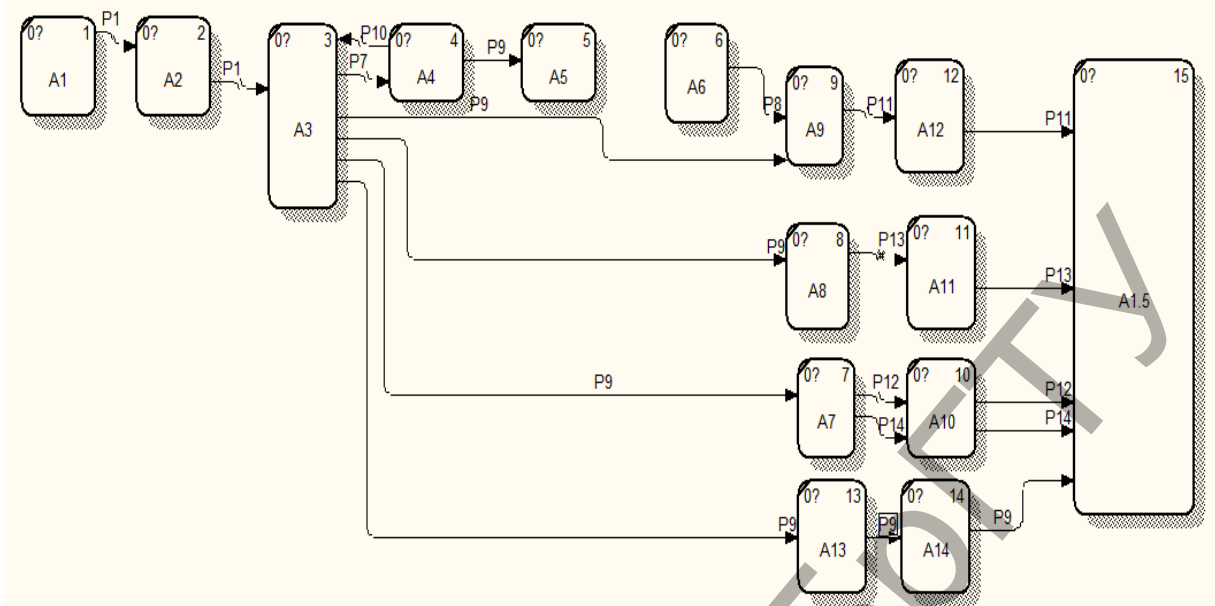


Рисунок 1 – А-сценарий работы ТК молокозавода

Решение поставленных проблем невозможно без проведения грамотного системного анализа ТК на начальном этапе, которое позволит установить четкие связи между его элементами, определить проблемные и узкие места, которые являются основой для разработки эффективных стратегий в дальнейшем. Обязательным условием является четкое формулирование единых целей и задач для дальнейшего определения путей наиболее эффективного их решения как для системы в целом, так и для отдельных ее составляющих. Для этого используем сценарно-целевой подход, предложенный А. С. Юдицким [8].

**Результаты исследований.** Работу ТК молокозавода в общем виде можно представить в виде А-сценария (абстрактного сценария), который описывает преобразования входного объекта в выходной без учета внутренней структуры объектов (рис. 1). Выделяются цели и факторы, влияющие на их достижения.

А-сценарий не раскрывает внутреннюю структуру объектов, взаимосвязи в системе и задается набором:

$$AS = \langle F, P, \Phi, R, C \rangle, \quad (5)$$

где  $F$  – множество операций;  $P$  – множество потоков;  $\Phi$  – множество факторов, влияющих на выполнение сценария;  $R$  – множество ресурсов;  $C$  – множество целей.

В сценарии (рис. 1)  $A_0$  – это верхний уровень, соответствующий сценарию в целом, он, в свою очередь, детализируется операциями  $A_1, \dots, A_n$ . На вход подаются объектные (согласно заказам, мощности завода, технологического графика выпуска) и ресурсные (как правило, определяются запасами на складе) потоки, которые могут быть также входящими потоками для любой внутренней операции в разном соотношении; на выходе указываются выходные потоки, причем для предотвращения путаницы каждой одной исходной стрелке ставится в соответствие строго одна исходная внутренняя стрелка.

Для построения А-сценария выделены операции:  $A_1$  – приемка и учет количества молока;  $A_2$  – накопление и охлаждения сырого цельного молока;  $A_3$  – пастеризация;  $A_4$  – сепарирование;  $A_5$  – резервирование нормализованного молока;  $A_6$  – приготовление закваски;  $A_7$  – приготовление сметаны;  $A_8$  – приготовления творога;  $A_9$  – приготовление кефира;  $A_{10}$  – фасовка сметаны;  $A_{11}$  – фасовка творога;  $A_{12}$  – фасовка кефира;  $A_{13}$  – охлаждение пастеризованного молока;  $A_{14}$  – фасовки молока;  $A_{15}$  – хранение готовой продукции.

Для построения абстрактного  $A_0$ -сценария ТК молокозавода приведены основные объектные и ресурсные потоки. Основные потоки:  $P_1$  – сырое цельное молоко;  $P_7$  – информационные потоки;  $P_8$  – закваска;  $P_9$  – пастеризованное молоко;  $P_{10}$  – сливки;  $P_{11}$  – кефир;  $P_{13}$  – творог;  $P_{14}$  – сметана.

Построение А-сценария производилось с помощью программного продукта AllFusion Process Modeler (рис 1).

При построении С-сценария, детализирует А-сценарий, согласно

с методологией объектно-ориентированного подхода, учитывается "мутация" или эволюция объектов, передаваемых между операциями, описываются определенным множеством атрибутов с соответствующим набором значений. Этот же набор значений атрибутов является основой для определения текущего состояния объекта.

В С-сценарии каждая операция А-сценария рассматривается как отдельный класс, а экземпляры – соответствующие операциям объекты.

Для детализации А-сценариев выделяются атрибуты  $a_{1.1} - a_{n.m}$ . Для наследственных атрибутов начальные значения формируются в тех классах, из которых эти атрибуты наследуются. Атрибуты является одним из оснований для построения эволюционно-поточной диаграммы.

На рис. 2 представлен фрагмент С-сценария для ТК молокозавода, класс 7, где  $a_{1.1}$  – температура молока,  $a_{1.2}$  – жирность молока,  $a_{1.3}$  – кислотность молока,  $a_{7.1}$  – жирность сливок,  $a_{7.2}$  – температура подогретых сливок,  $a_{7.3}$  – температура сквашивания,  $a_{7.4}$  – pH,  $a_{7.5}$  – время выдержки,  $a_{7.6}$  – органолептические требования;  $S_{7.1}$  – подогрев сливок,  $S_{7.2}$  – охлаждение до температуры сквашивания,  $S_{7.3}$  – внесение закваски,  $S_{7.4}$  – проверка качества сметаны.

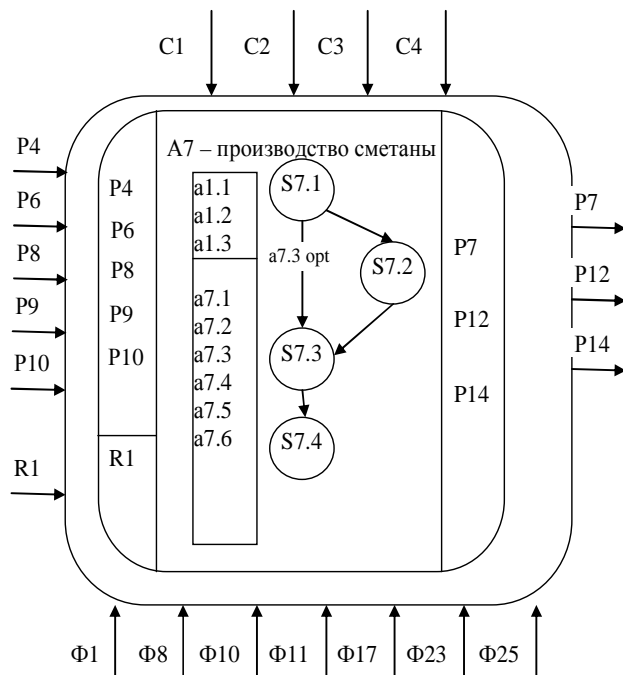


Рисунок 2 - Фрагмент С-сценария для ТК молокозавода, класс 7

C1, C2, C3, C4 – векторы целей соответственно изготовления продукции, технического обслуживания оборудования, обеспечения качества, управление запасами, которые согласуются с вектором экономических целей C0; R1 – заквасочные культуры; P4 – горячая вода; P6 – холодная вода; Ф1 – соблюдение технологического регламента; Ф8 – проверка изоляции теплового оборудования согласно графику; Ф10 – обеспечение бесперебойной работы котла; Ф11 – соблюдение технологии охлаждения воды; Ф17 – соблюдение графика плановых ремонтных работ; Ф23 – прогнозирование затрат на ремонт оборудования, узлов и механизмов; Ф25 – анализ причин поломок.

На основании составляющих С-сценария, на каждом жизненном цикле можно построить оптимизационную задачу и найти оптимальные значения атрибутов. Примером такой постановки задачи для класса 7 будет

$$J(\bar{a}, \bar{P}, \bar{R}, \bar{\Phi}) = \varphi(\bar{a}, \bar{P}, \bar{R}, \bar{\Phi}) \rightarrow \underset{\substack{\Phi \in \Omega_{\Phi}, \\ P \in \Omega_P}}{exrt}}{a7.3opt},$$

где множества  $\bar{a}, \bar{P}, \bar{R}, \bar{\Phi}$  задаются соответственно своими составляющими;  $\Omega_{\Phi}, \Omega_P$  – ограничения на соответственные множества; функция  $\varphi()$  описывает сводный критерий класса, основанный на целях C1–C4.

Результатом выполнения С-сценария является вектор из элементов множеств  $X_7, Y_7, U_7, \Theta_7$ , который описывает текущие состояния системы на каждом жизненном цикле  $E_7$ . На основании данной информации можно сделать вывод о рабочей или нештатной оперативной ситуации.

В дальнейшем планируется разработка программного обеспечения подсистемы поддержки принятия решений, которая в оперативном режиме будет обеспечивать советы оператору относительно работы отделений молокозавода, уменьшать простои за счет своевременного выявления и устранения возможных причин поломок, проведение внеплановых мелких ремонтных работ с целью предотвращения серьезных ремонтов.

**Заключение.** Системный анализ ТК молокозавода позволил выявить ряд причин выхода технологического, электрического и автоматического оборудования из строя, что приводит к переходу систе-

мы в нештатный режим работы. Формализован переход системы из нештатного режима в рабочий при помощи использования сценарно-целевого подхода, построения А- и С-сценариев, которые являются основанием для проведения имитационного моделирования на этапе разработки подсистемы поддержки принятия решения.

Внедрение предложенной подсистемы поддержки принятия решений позволит повысить эффективность работы ТК за счет уменьшения простоев, своевременного определения текущей ситуации и принятия, на основании сделанных выводов, оперативного решения относительно состояния оборудования и технологического процесса.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Korobiichuk, I. Modern Development Technologies and Investigation of Food Production Technological Complex Automated Systems / I. Korobiichuk, A. Ladanyuk, L. Vlasenko, N. Zaiets Proceedings of 2-nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering ICMSCE 2018. – Amsterdam, Netherlands. – February 21–23. – 2018. – P. 52–56.
2. Машкін, М. І. Технологія молока і молочних продуктів: Навч. видання / М. І. Машкін, Н. М. Париш. – К.: Вища освіта, 2006. – 351 с.: іл.
3. Ладанюк, А. П. Системний аналіз складних систем управління: навч. посіб. / А. П. Ладанюк, Я. В. Смітюх, Л. О. Власенко, Н. А. Заєць, І. В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2013. – 274 с.
4. Лошак, Т. В. Оптимальне управління технологічним комплексом молочного заводу / Т. В. Лошак // Аграрна наука і освіта. – К.: НАУ, 2006. – Том 7. – № 1–2. – С. 108–113.
5. Власенко, Л. О. Особливості проведення системного аналізу технологічного комплексу молокозавода на основі ситуаційно-сценарного підходу / Л. О. Власенко, Т. В. Савченко, Є. В. Довженко // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 1. – С. 159–264.
6. Ладанюк, А. П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія / А. П. Ладанюк, Н. А. Заєць, Л. О. Власенко. – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.
7. Згуровський, М. З. Основи системного аналізу / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К.: Видавничка група BVH, 2007. – 544 с.: іл.
8. Юдицкий, А. С. Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем / А. С. Юдицкий. – М.: СИНТЕГ, 2001. – 112 с.

Материал поступил в редакцию 20.11.2018

#### ZAIETS N.A., VLASENKO L.O., LUTSKAYA N.N., SHTEPA V.N. Modern technologies for estimating the operation modes of technological complexes of food production

A systematic analysis of a typical technological complex of a dairy plant was carried out to further predict equipment malfunction. Dairy production is divided into separate components, on the basis of which an A-scenario was developed for the entire production. The task of assessing the operating modes of the control system (standard, non-standard, transitional), as well as options for the transition to normal mode is formalized.

The subsystem C-script is executed, the use of which on each life cycle will make it possible to solve the optimization problem.

УДК 621.311.24

Алексеевский Д. Г., Прокопеня О. Н., Панкова О. О., Манаев К. В.

### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛЕЦИРОВАНИЕМ

**Введение.** Ветроэнергетические установки с аэродинамическим мультиплицированием (АДМ) является альтернативной концепцией построения ветроэнергетических установок (ВЭУ) электромеханических систем [1, 2]. Ее главное преимущество перед классической ВЭУ состоит в том, что ветроэлектрогенерирующая система с АДМ

позволяет избавиться от механического мультипликатора при отсутствии необходимости использования массивного тихоходного генератора. Результаты исследования свойств данной системы были приведены в работах [3, 4, 5].

Алексеевский Дмитрий Геннадиевич, к. т. н., доцент кафедры электронных систем Запорожской государственной инженерной академии.

Манаев Кирилл Вячеславович, аспирант кафедры электронных систем Запорожской государственной инженерной академии.

Панкова Ольга Олеговна, аспирант кафедры электронных систем Запорожской государственной инженерной академии.

Украина, ЗГИА, 69006, г. Запорожье, пр. Соборный, 226.

Прокопеня Олег Николаевич, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.