

УДК 004.384:631.544

КОМАНДНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛИЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ

М. Я. Брагинский, Д. В. Тараканов

*Сургутский государственный университет,
mick17@mail.ru, sprtdv@mail.ru*

Описано содержание проекта по созданию действующего макета автоматизированной системы управления тепличным комплексом, состоящей из контроллера, облачного сервера и удаленного клиента, обеспечивающей сбор данных о состоянии выращиваемых культур, управление микроклиматом, а также режимами освещения и питания. Дополнительный контроль за процессом выращивания растений осуществляется с помощью установленных в теплице камер видеонаблюдения, изображение с которых в реальном времени обрабатывается и сохраняется на облачном сервере, а затем передается удаленному клиенту.

Предлагаемый подход моделирования и оценки проектной деятельности построен на комплексной оценке показателей качества жизненного цикла (ЖЦ) проекта. Представлена логико-динамическая модель ЖЦ проектно-конструкторской стадии создания проекта. В качестве математического формализма используются расширенные сети Петри – E-сети, позволяющие описывать дискретные параллельные взаимодействующие процессы проектируемой системы. Иерархическая E-сетевая схема позволяет моделировать этапы (статус выполненных) работ, а также используемые при выполнении данных работ ресурсы. Результатом аналитико-имитационной работы являются рассчитанные интегральные оценки эффективности проекта, каждого ресурса, а также временная диаграмма работы с необходимой степенью детализации. Установлены численные показатели затрат ресурсов на выполнение проекта: затраты времени и материальные затраты на выполнение i -й операции.

Ключевые слова: сети Петри, теплица, система управления, разработка проекта, логико-динамическая модель.

COMMAND PATTERN OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR GREENHOUSE COMPLEX

M. Ya. Braginsky, D. V. Tarakanov

*Surgut State University,
mick17@mail.ru, sprtdv@mail.ru*

The article describes the project contents on the working model creation of an automated control system for a greenhouse complex, which includes a controller, a cloud server, and a remote client. The system manages data collecting on the state of crops, lighting, power, and microclimate. Additional control over the process of growing plants is carried out using surveillance cameras installed in the greenhouse, the image from which is processed in real time and stored on the cloud server, and then transferred to the remote client.

The proposed approach for modelling and evaluating project activities is based on a comprehensive assessment of the project's life cycle quality indicators. The logical dynamic model of the life cycle of the project design stage of the project creation is presented. As a mathematical formalism, the authors propose to use extended Petri nets – E-networks, which allow describing discrete parallel interacting processes when creating the system. The presented hierarchical E-network scheme allows modelling stages of work, as well as the resources used in the performance of these works. As a result of analytical and simulation work, both calculated integral evaluations of the project's effectiveness and effectiveness of each resource are presented. The result of the model as a timing diagram of the organization with the necessary level of detail is also given. The authors have

proposed the following numerical indicators of resources costs for the project: an indicator of time and an indicator of the material costs spent on the i -th task.

Keywords: Petri nets, greenhouse, management system, project design, logical dynamic model.

Введение. Существует большая потребность в формировании компетенций у студентов технических направлений в сфере практического применения знаний в области командного проектирования систем автоматики [1–4]. С первого курса студенты Политехнического института Сургутского государственного университета направления «Управление в технических системах» разрабатывают проектные задания на кафедре автоматики и компьютерных систем, одним из которых был проект «Умная теплица» по созданию действующего макета автоматизированной системы управления тепличным комплексом, включающего интегрированную систему сбора данных о состоянии выращиваемых культур, систему управления режимами освещения, питания, микроклиматом. Для решения поставленной задачи были сформированы 4 мини-группы (по 3–4 человека), два студента были назначены на роль лидеров-координаторов проекта.

Согласно стандарту ISO/IEC 15288:2002 Международной организации по стандартизации и Международной электротехнической комиссии (русскоязычный аналог ГОСТ Р ИСО МЭК 15288-2005) не существует единой универсальной модели жизненных циклов систем. Те или иные стадии жизненного цикла могут присутствовать в зависимости от каждого конкретного случая разработки системы [5].

Процедура проектирования «Умной теплицы». При проектировании осуществлялось исследование объекта управления, сбор данных об объекте автоматизации, а также оценка качества функционирования объекта. Была разработана концепция оригинальной адаптивной системы управления локальной теплицей [6–7]. Обобщенная структурная схема системы управления ресурсами теплицы представлена рис. 1.

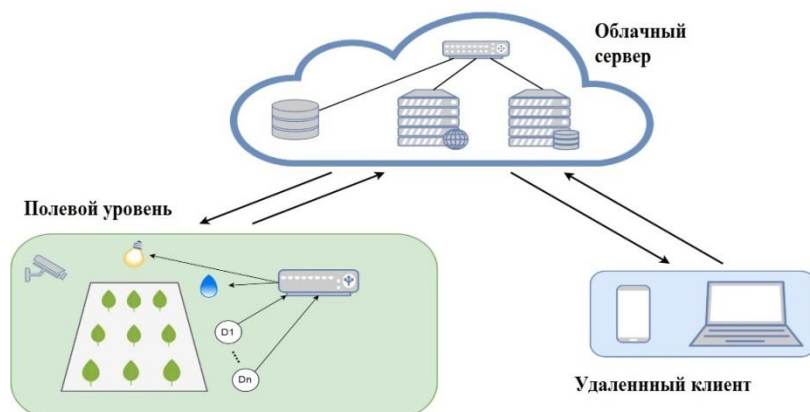


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы управления ресурсами теплицы

Структурная схема включает следующие компоненты: контроллер; облачный сервер; удаленный клиент.

Контроллер с помощью датчиков управляет основными параметрами теплицы: температурой, влажностью, освещением, обеспечивая получение информации об их текущем значении.

Изменение параметров осуществляется путем вычисления управляющих воздействий для систем: освещения, полива, увлажнения воздуха [8–9]. Управляющие воздействия вычисляются контроллером на основе текущих значений параметров и необходимых значений, полученных с сервера.

Дополнительный контроль за процессом выращивания растений осуществляется с помощью установленных в теплице камер видеонаблюдения, изображение с которых в реальном времени обрабатывается и сохраняется на облачном сервере, а затем передается уда-

ленному клиенту. Облачный сервер служит хранилищем для истории наблюдения за параметрами теплицы, а также каналом связи между удаленным клиентом и контроллером и состоит из WEB-сервера; сервера базы данных; сетевого хранилища.

WEB-сервер обеспечивает работу web-приложения, выполняющего роль удаленного клиента, а также отправляет на контроллер управляющие воздействия и получает данные об основных параметрах теплицы из контроллера.

Удаленный клиент представляет собой web-приложение, с помощью которого осуществляется первоначальная настройка параметров управления, а также наблюдение и управление процессом выращивания растений. Все части системы связаны с помощью интернета.

Проработаны требования (показатели качества) к адаптивной системе управления теплицей. Система автоматического регулирования локальной теплицы предназначена для поддержания следующих параметров, оптимальных для выращивания растений:

1. Освещение:
 - величина освещенности – 9 000... 11 000 Люкс;
 - 255 уровней освещенности;
 - 5 цветовых каналов (лампы разных спектров).
2. Регулирование процесса питания растений (включение/выключение насоса).
3. Микроклимат в теплице:
 - температура – 20 °C ... 21 °C , погрешность 0,5 °C;
 - влажность 60–70 %;
 - содержание CO₂ в воздухе.
4. Питательный раствор:
 - температура питательного раствора;
 - Ph – 5,8 ... 6, погрешность 0,1.

Разработка концепции адаптивной системы управления теплицей. Принято решение о проектировании и реализации системы управления по двум траекториям: демонстрационная система управления на платформе Arduino [10] и промышленная система управления. Разработана демонстрационная система управления на платформе Arduino (рис. 2).

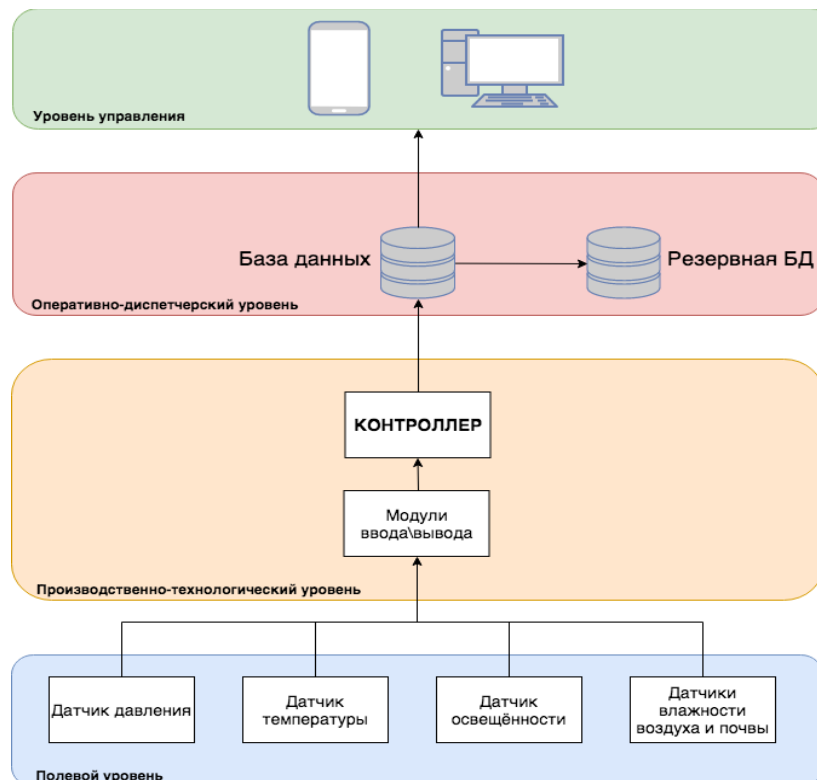


Рис. 2. Структура построения системы управления

Пользовательский интерфейс системы состоит из трех основных экранов: авторизация; первоначальная настройка теплицы; наблюдение за процессом выращивания.

Система управления является облачной с хранением данных пользователя на сервере и получением доступа к ним по логину и паролю для контроля и наблюдения из любой точки мира с помощью устройства, подключенного к интернету.

Экран первоначальной настройки теплицы служит для выбора необходимых параметров, определяющих работу теплицы. Пользователю предлагается выполнить пошаговую настройку, например: осуществить выбор растения, тип или модель теплицы; скорость выращивания. На основе выбранных параметров происходит определение конкретной программы выращивания.

Экран для наблюдения за процессом выращивания позволяет просматривать изображение с камер видеонаблюдения в реальном времени и наблюдать за текущими значениями параметров. Каждое значение параметра сопровождается цветовым индикатором, который показывает отклонение параметра от должного значения, что позволяет быстро заметить неполадки в работе системы. Для получения полной информации о состоянии теплицы и ее систем пользователь может нажать на соответствующую кнопку (рис. 3).

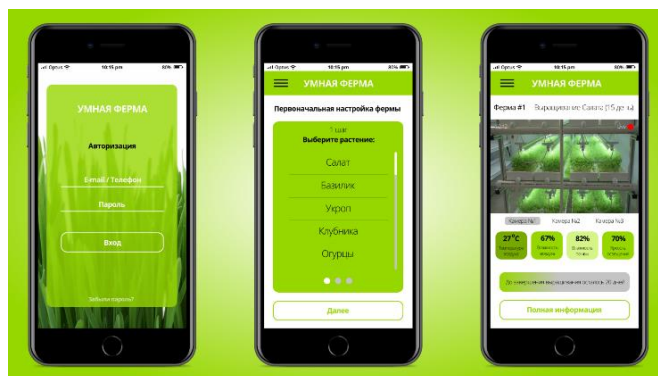


Рис. 3. Эскиз интерфейса системы

Прорабатывается процедура обработки видеoinформации для оценки состояния выращиваемых культур. На рис. 4 схематично отмечены основные этапы обработки изображения. В качестве классификатора предлагается использовать искусственную нейронную сеть, которая адаптируется на базе обучающих выборок.



Рис. 4. Этапы обработки видеоряда для анализа состояния растений

Методика моделирования и оценки проектной деятельности. Предлагаемый подход моделирования и оценки проектной деятельности построен на комплексной оценке показателей качества жизненного цикла (ЖЦ) проекта «Умная теплица». Нижний уровень абстракции отождествляет относительные характеристики затрат ресурсов каждого этапа создания проекта и каждого подразделения, участвующего в последовательности этапов. При этом на одном этапе ЖЦ могут быть задействованы в работе несколько подгрупп, а также любое подразделение может участвовать в нескольких этапах ЖЦ.

Следующий уровень отражает эффективность этапа ЖЦ создания проекта и учитывает взаимосвязь между элементами и вклад каждого показателя в интегральную характеристику эффективности процессов проектирования, тестирования и отладки проекта.

На рис. 5 представлена логико-динамическая модель (ЛДМ) ЖЦ проектно-конструкторской стадии создания проекта. В качестве математического формализма предложено использовать расширенные сети Петри – *E*(evaluation)-сети [11–12], которые позволяют описывать дискретные параллельные взаимодействующие процессы при создании проектируемой системы.

Представленная иерархическая *E*-сетевая схема позволяет моделировать этапы (статус выполненных) работ и используемые ресурсы при выполнении проектных работ. Результатом аналитико-имитационной работы является расчет интегральных оценок эффективности проекта и каждого ресурса, а также временная диаграмма работы с необходимой степенью детализации.

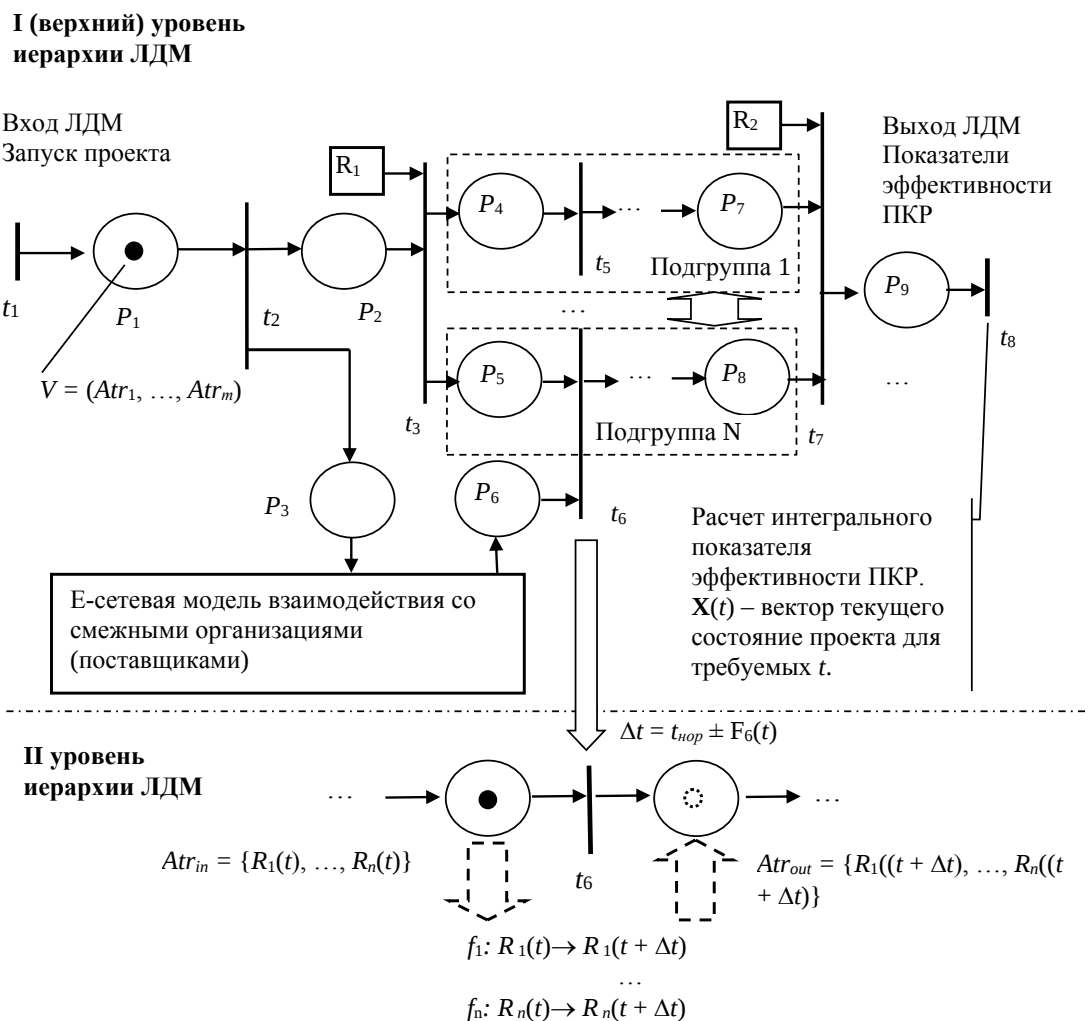


Рис. 5. Е-сетевая логико-динамическая модель выполнения проектно-конструкторских работ

На рис. 5 срабатывание переходов t_i соответствует началу выполнения определенного этапа работы, например, переход t_1 моделирует запуск (заявку) проекта. Срабатывание переходов t_2 моделирует начало работ в заданных организациях, t_3 распределяет задачи между структурными подразделениями. Представленная модель учитывает параллельные процессы при создании проектируемой системы (иллюстрируют данные процессы переходы t_5, t_6), с возможностью возврата к предыдущему этапу проектной деятельности. Кроме того, существует возможность учета взаимодействия со смежными организациями и т. д. Время срабатывания переходов в Е-сетевой модели происходит за конечное время Δt , которое можно условно представить как сумму нормы времени $t_{\text{нор}}$ для выполнения заданной операции (этапа) и вариационной составляющей $\pm F(t)$, зависящей от различных факторов: уровня компетенции коллектива, сложности задачи, работы смежных организаций и т. д. Позиции Е-сетевой схемы P_i отражают этапы проекта. Передача информации в Е-сетях осуществляется с помощью фишек V_i . С фишкой можно ассоциировать упорядоченный конечный набор, или кортеж числовых атрибутов, определяющих информационное содержание фишки: $V = (Atr_1, Atr_2, \dots, Atr_n)$, где Atr_i – значение i -го атрибута.

Фишка является динамическим элементом сети, способным перемещаться из одной позиции в другую в результате срабатывания переходов. Распределение фишек по позициям задает текущую маркировку сети, которую можно трактовать как ее текущее состояние [13–16]. При срабатывании перехода осуществляется (при необходимости) изменение атрибута согласно заданному правилу. Правило преобразования атрибута может быть любым: аналитическим, табличным, случайным.

В качестве атрибутов фишек в предлагаемой модели используется вектор состояния ресурсов $R(t)$. Компоненты вектора R включают в себя материальные ресурсы R_1 , трудовые R_2 , финансовые R_3 , временные R_4 , информационные R_5 , программные R_6 . В свою очередь ресурсы детализируются на среднем уровне иерархии: $R_{1,1}, R_{1,2}$ представляют аппаратные и программные средства соответственно. При этом к аппаратным ресурсам можно отнести оборудование и инструменты, ЭВМ, коммуникационные системы, сети и т. д. Аналогично программные ресурсы можно детализировать на пакеты прикладных программ моделирования, САПР 3D и т. п. К трудовым ресурсам отнесены квалификация участника проекта, его мотивация, степень новизны задания [17–19].

Формальное представление показателей качества. Структура и взаимодействие ресурсов на этапе ЖЦ проекта моделируется Е-сетевой структурой. Преобразование ресурсов осуществляется при срабатывании переходов (на рис. 5 – II уровень иерархии ЛДМ). Вычисление затрат ресурсов осуществляется при срабатывании переходов модели, что означает эволюцию проекта во времени $f_i: R_i(t) \rightarrow R_i(t + \Delta t)$. Предлагается ввести следующие численные показатели затрат ресурсов на выполнение этапов:

Относительный показатель затрат времени на выполнение i -й операции (задания):

$$R_4(t_i) = \frac{t_i}{T_{\text{норм}i}}, \quad (1)$$

где t_i – фактическое время выполнение i -й операции (задания);

$T_{\text{норм}i}$ – нормативное время выполнения i -й операции.

Если $R_i = 1$, то время выполнения текущей операции с заданной точностью равняется нормативу. В формуле (1) при $R_i < 1$ текущие затраты меньше нормативного времени.

Аналогично можно определить относительный показатель материальных затрат (ресурсов) на выполнение i -й операции:

$$R_k(t_i) = \frac{r_i}{R_{\text{норм}i}}. \quad (2)$$

Для визуального представления показателей качества проектирования целесообразно представить результаты вычислений в виде лепестковой диаграммы (рис. 6).

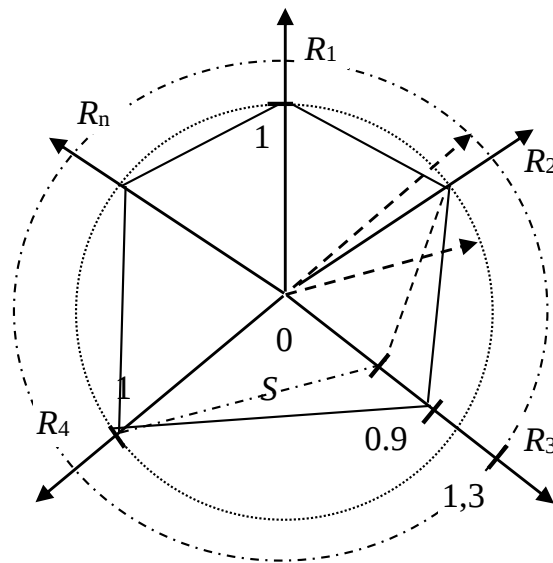


Рис. 6. Лепестковая диаграмма относительных показателей качества

По координатным осям данной диаграммы откладываются относительные показатели затрат ресурсов R . Значение меньшей площади S полученной фигуры (рис. 6) соответствует большей эффективности процессов проектирования системы [20]. Кроме того, с помощью данной диаграммы можно отследить степень разброса относительных показателей качества проектирования.

В ходе выполнения коллективной работы студенты на практическом опыте ознакомились с проектной деятельностью. Обучающиеся «прочувствовали» ошибки, которые были допущены на начальном этапе проектирования (например, был выбран не совсем удачный компонент «Умной теплицы» с низкими показателями надежности, не было предусмотрено резервирование энергоснабжения и т. д.).

Одним из главных результатов проектной работы является получение студентами ценного опыта работы в команде, опыт решения неформализованных задач с учетом возможности выбора вариантов проектных решений из большого многообразия.

Литература

1. Work in the automation age: sustainable careers today and into the future // Association for Advancing Automation. Ann Arbor, April 2017. URL: <https://www.a3automate.org/docs/Work-in-the-Automation-Age-White-Paper.pdf> (дата обращения: 11.02.2019).
2. Laker D. The Differences Between Hard and Soft Skills and Their Relative Impact on Training Transfer // Human Resource Development Quarterly. 2011. Vol. 22, Is. 1. P. 111–122. DOI doi.org/10.1002/hrdq.20063.
3. Toner P. Workforce Skills and Innovation: An Overview of Major Themes in the Literature // OECD. 2011. 78 p. URL: <https://www.oecd.org/sti/inno/46970941.pdf> (дата обращения: 21.03.2019).
4. Skills for a Digital World. Policy Brief on The Future of Work // OECD. 2016. URL: <http://www.oecd.org/els/emp/Skills-for-a-Digital-World.pdf> (дата обращения: 04.03.2019).
5. Широкова Г. В., Клемина Т. Н., Козырева Т. П. Концепция жизненного цикла в современных организационных и управленческих исследованиях // Вестн. Санкт-Петербург. ун-та. Сер. 8. Менеджмент. 2007. Вып. 2. С. 3–31.

6. Гайкович А. И. Основы теории проектирования сложных технических систем. СПб. : МОРИНТЕХ, 2001. 432 с.
7. Товб А. С., Ципес Г. Л. Управление проектами: стандарты, метод, опыт. М. : Олимп-Бизнес, 2003. 240 с.
8. Гудвин Г. К., Гребе С. Ф., Сальгадо М. Э. Проектирование систем управления. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 911 с.
9. Кэмп П., Тиммерман Г. Компьютерное управление микроклиматом в теплицах. Центр инноваций и практического обучения в Эдде, 1997. 178 с.
10. Sommer U. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / пер. с нем. ; 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2016. 256 с.
11. Basu S., Bultan T. On Deciding Synchronizability for Asynchronously Communicating Systems // Theor Comput Sci. 2016. No. 656. P. 60–75.
12. Hennicker R., Bidoit M., Dang T.-S. On Synchronous and Asynchronous Compatibility of Communicating Components // In Coordination Models and Languages : 18th IFIP WG 6.1 International Conference, COORDINATION 2016, Held as Part of the 11th International Federated Conference on Distributed Computing Techniques, DisCoTec 2016, Heraklion, Crete. Greece, June 6–9, 2016. P. 138–156.
13. Lomazova I. A. Resource Equivalences in Petri Nets // Proc of PETRI NETS. Lecture Notes in Computer Science. 2017. P. 19–34.
14. Andrews A., Abdelgawad M., Gario A. World Model for Testing Urban Search and Rescue (USAR) Robots using Petri Nets // Proceedings of the 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development. Rome, 2016. P. 663–670. DOI 10.5220/0005782106630670.
15. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V., Tsapko S. G. E-Network Modelling of Process Industrial Control Systems in Building Computer Simulators // Control and Communications (SIB-CON) : Proceedings of the XII International Siberian Conference. Moscow, May 12–14, 2016. M., 2016. P. 185–191.
16. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V., Tsapko S. G. Hierarchical Analytical and Simulation Modelling of Human-Machine Systems with Interference // Journal of Physics : Conference Series. 2017. Vol. 803. Information Technologies in Business and Industry (ITBI2016) : International Conference, 21–26 September 2016. Tomsk, Russian Federation. P. 120–126.
17. Шеремет А. Д. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия. М. : ИНФРА-М, 2014. 367 с.
18. Русак Н. А., Стражев В. И., Мигун О. Ф. и др. Анализ хозяйственной деятельности в промышленности ; 6-е изд. М. : Высш. шк., 2015. 480 с.
19. Козлов А. А. Управление трудовыми ресурсами промышленных предприятий при переходе к рынку. Минск, 2010. 512 с.
20. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Моделирование взаимодействия коллектива операторов в процессе управления технической системой // Вестник кибернетики. 2018. № 4 (32). С. 100–106.