

МНОГОАГЕНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

MULTIAGENT CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CONDITIONS OF INFORMATION UNCERTAINTY

**A. Milovidova
E. Cheremisina
V. Dobrynin
I. Sokolov**

Summary. The article is dedicated to the analysis of production class which is characterized by uncertainty of the quality of raw materials and feedstock. Process efficiency of such enterprises depends not only on the quality of raw materials and feedstock, but as a consequence, on the quality of intermediate processed product at various production points as well. The authors propose an approach to managing technological process quality based on the multi-agent-based modelling. The suggested approach involves agent-based decision-making algorithm, multi-agent quality management model and a method to calculate team management efficiency. The suggested technological process management approach was tried out to enrich the iron-ore concentrate. The results indicate a positive effect of applying this approach to management.

Keywords: technological process, information uncertainty, agent, quality management, agent-based decision-making algorithm, multiagent simulation, collective management efficiency.

Миловидова Анна Александровна
Старший преподаватель, ГБОУ ВО МО
«Университет «Дубна»
milanna@uni-dubna.ru

Черемисина Евгения Наумовна
Д.т.н., профессор, ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»
arbatsolo@yandex.ru

Добрынин Владимир Николаевич
К.т.н., профессор, ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»
chere@uni-dubna.ru

Соколов Иван Александрович
Ассистент, ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»
isokolov@jinr.ru

Аннотация. В статье авторами рассматривается класс производств, для которых качество исходного сырья и материалов характеризуется неопределённостью. Эффективность процессов переработки таких предприятий зависит не только от качества входного сырья и материалов, но и как следствие от качества промежуточного продукта переработки в различных точках. Авторами предлагается подход к управлению качеством процесса переработки на основе многоагентного моделирования. Предложенный подход включает алгоритм агентного принятия решений, многоагентную модель управления качеством и метод расчета эффективности коллективного управления. Апробация предложенного подхода к управлению процессом переработки осуществлена для процесса обогащения железорудного концентрата. Результаты указывают на положительный эффект от применения такого подхода к управлению.

Ключевые слова: процесс переработки, информационная неопределённость, управление качеством, алгоритм агентного принятия решения, многоагентное моделирование, эффективность коллективного управления.

Введение

В связи с глобализацией экономики, развитием международных торговых и производственных связей, интеграцией в мировую экономическую систему, повышаются требования, предъявляемые потребителями к качеству продукции. Проблема качества отечественной продукции становится все более актуальной, а повышение конкурентоспособности российских товаров приобретает первостепенное значение.

Мировой опыт свидетельствует, что в таких условиях наиболее эффективным путем повышения качества и снижения себестоимости выпускаемой продукции является комплексное управление процессом переработки (далее — ПП) с использованием современных инфор-

мационных систем интеллектуального, оптимального и адаптивного управления [1, 2, 3].

Трудности принятия решений в управлении ПП возникают в связи с:

- ◆ недостаточностью информации о качестве материала;
- ◆ сложностью построения моделей и алгоритмов комплексного управления, базирующихся на точных математических методах;
- ◆ сложностью применения методологии и инструментария учёта человеческого фактора в непредвиденных нештатных ситуациях.

Содержательно ПП — это процесс преобразования исходного материала в общественно-полезный продукт

[4]. Коллектив, участвующий в ПП обеспечивает эффективное достижение конечной цели. Под эффективностью понимается эффективное использование оборудования ПП и получение качественного конечного продукта. Вне зависимости от конкретной направленности общим для всех ПП является упорядоченная связь аппаратов ПП, согласованное их взаимодействие во времени и возможность комплексного управления качеством ПП. Режимы эффективности ПП зависят от текущего состояния аппаратов и связей между ними, качества входного материала (сырья, заготовок, комплектующих и т.д.), а также промежуточного материала внутри ПП. Существующие автоматизированные системы управления обеспечивают работоспособность аппаратов ПП в требуемых регламентах. При этом потери эффективности ПП и качества конечного продукта возникают из-за неопределённости в реальном времени качества сырья, промежуточного, материалов и конечного продукта.

В работе рассматривается класс ПП [5, 6, 7, 8, 9], который характеризуется:

- ◆ дискретно-непрерывным потоком переработки исходного, промежуточного материалов и конечного продукта;
- ◆ неопределённостью значений свойств исходного, промежуточного материалов и конечного продукта;
- ◆ изменением во времени значений свойств промежуточного материала в различных точках ПП;
- ◆ изменением во времени значений свойств конечного продукта в определённых точках ПП;
- ◆ распределённостью в пространстве локальных систем управления аппаратами ПП;
- ◆ неопределённой зависимостью управления локальными системами от свойств перерабатываемого материала;
- ◆ необходимостью формирования комплексного упреждающего управления для всей цепи аппаратов ПП, с целью достижения требуемого качества ПП, промежуточного материала и конечного продукта;
- ◆ отсутствием (полное или частичное) в темпе протекания ПП системы измерения свойств материала и конечного продукта.

Цель данной работы является разработка интеллектуальной агентной системы коллективного принятия решения в условиях информационной неопределенности.

Коллективное принятие решения

Под коллективным решением будем понимать упреждающее комплексное управление ПП $\bar{U}(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_i(t), u_n(t))$, обеспечивающее требуемое качество $K(\bar{U}(t))$ перерабатываемого входно-

го, промежуточного материала и конечного продукта. При этом у каждого члена коллектива (в дальнейшем член коллектива будет именоваться агентом) имеется рабочая зона ответственности ПП. В рабочих зонах происходит преобразование материала аппаратами ПП, что приводит к изменению свойств материала. Таким образом, множеству рабочих зон ПП ставится в соответствие множество агентов —, где — номер узла зоны ответственности $i = 1, 2, \dots, k, \dots, n$.

В границах этой зоны агент решает следующие задачи:

- ◆ анализ соответствия режима работы оборудования предполагаемому качеству обрабатываемого материала (входного или промежуточного);
- ◆ анализ информации, поступающей от соседей агентов о динамике движения новой порции материала (объём материала, скорость движения, предполагаемого качества материала) к зоне ответственности;
- ◆ поиска локального эффективного упреждающего режима работы (управление $u_i(t)$, где i — это i -ый агент) оборудования ПП;
- ◆ принятие решения о выбранном упреждающем управлении;
- ◆ передача информации о возможном решении соседям агентам;
- ◆ согласование с соседями агентами о возможном принятии локального решения;
- ◆ принятие окончательного локального решения.

Ситуации и причины, которые вызывают необходимость координации группового поведения, очень разнообразны. Агенты существуют в общей внешней среде, а, следовательно:

- ◆ агенты существуют и принимают решения в условиях неопределенности, когда каждый агент обладает ограниченной информацией, что влечет необходимость информационного обмена между ними;
- ◆ агенты обладают ограниченной компетенцией и возможностями, что может быть восполнено путем привлечения знаний и функциональных возможностей других агентов;
- ◆ агенты должны синхронизировать свои действия при решении общей проблемы, в частности, в приложениях реального времени.

Существует две схемы осуществления упреждающего коллективного управления, когда управляющие воздействия осуществляются агентами локально, по согласованию с соседями или агенты передают информацию о принятом решении специальному центральному агенту.

Он в свою очередь оценивает качество локальных решений, передаёт агентам разрешение на их реализацию.

Тем самым центральный агент улучшает показатель эффективности коллективного управления. Особенность ситуации состоит в том, что принимаемые коллективом агентов решения должны осуществляться с темпом работы оборудования ПП. Основная цель центрального агента — поиск эффективного управляющего воздействия для всех локальных систем управления аппаратами ПП, обеспечивающие заданное отклонение текущих показателей эффективности от требуемых.

Функциональная многоагентная модель управления качеством ПП

Рассмотрим функциональную многоагентную модель управления качеством ПП. Она отражает динамику функционирования ПП по принципу «вход-процесс-выход»:

1. Задан интервал времени $[t_0, T]$.
2. Определен вектор нечётких входных переменных $[t_0, T]$ $\bar{X}(t), t \in [t_0, T]$, нечёткий вектор текущего состояния оборудования ПП $\bar{Y}(t), t \in [t_0, T]$, где располагаются агенты и нечёткий вектор управления $\bar{U}(t), t \in [t_0, T]$.
3. Определён эффективный показатель качества ПП $\bar{K}_\Delta, t \in [t_0, T]$.
4. Определена параметрическая база знаний (ПБЗ-1), устанавливающая связь $\bar{Y}(t) = W(\bar{X}(t))$
5. Определена параметрическая база знаний (ПБЗ-2), устанавливающая связь $\bar{U}(t) = \Omega_2(\bar{X}(t), \bar{Y}(t))$, $\bar{U}(t)$ — вектор нечетких переменных, ПБЗ-1, ПБЗ-2 представлены системами продукций.
6. Задана процедура определения фактического вектора показателя качества $K_\Delta = K_\Delta(\bar{U}(t)) \Delta \in [0, T]$, где K_Δ — нечёткий вектор.

Нечёткие вектора $\bar{K}_\Delta(t), \bar{Y}(t), \bar{X}(t), \bar{U}(t)$ процедурой дефuzziфикации могут быть переведены в четкие переменные.

Определена процедура смешивания сырья и/или промежуточного материала как нечёткая функция, зависящая от порций сырья, материала и их свойств

$$Y_{t_0+\tau_i}(\bar{X}_0) = \bar{X}_{t_0+\tau_i}$$

Алгоритм агентного принятия решений

Разработанный алгоритм агентного принятия решений включает следующие этапы:

1. **Формирование картины текущего состояния ПП, в частности каждым агентом в своей зоне ответственности определяется:**

- ♦ объемы материала,

- ♦ состояние оборудования,
- ♦ текущие режимы работы оборудования,
- ♦ значения критериев эффективности ПП,
- ♦ длительности перемещения материала в соседние зоны.

По группе приборов зоны ответственности Z_i агент A_i определяет значение нечётких свойств материала $S_i^1(t_r)$ или конечного продукта $S_i^3(t_r)$. Определяет значения нечётких переменных, характеризующие состояние аппаратов ПП, значение нечётких управляющих переменных u_i и показателей эффективности

$$Q_1^{\text{ФАКТ}}(t_r, i), Q_2^{\text{ФАКТ}}(t_r, i), Q_3^{\text{ФАКТ}}(t_r, i).$$

Получает в момент t_r от агента A_1 нечёткие значения свойств исходного материала.

Получает от агентов A_{i-1}, A_{i+1} нечёткие значения переменных свойств материала $S_{i-1}^1(t_r), S_{i+1}^1(t_r)$, или конечного продукта $S_{i-1}^3(t_r), S_{i+1}^3(t_r)$.

Получает от предыдущих и последующих агентов соседей нечёткие значения состояния аппаратов ПП, управляющих переменных U_{i-1}, U_{i+1} (для тех зон, которые управляемые).

Получает от предыдущих и последующих агентов соседей нечёткие значения фактических показателей эффективности

$$Q_1^{\text{ФАКТ}}(t_r, i), Q_2^{\text{ФАКТ}}(t_r, i), Q_3^{\text{ФАКТ}}(t_r, i).$$

Получает от агентов A_{i-1}, A_{i+1} фактические значения показателей эффективности ПП

$$Q_1^{\text{ФАКТ}}(t_r, i - 1), Q_1^{\text{ФАКТ}}(t_r, i + 1).$$

Получает от агента A_{i-1}, A_{i+1} фактические значения показателей эффективности конечного продукта

$$Q_2^{\text{ФАКТ}}(t_r, i - 1), Q_2^{\text{ФАКТ}}(t_r, i + 1).$$

Получает от агента A_n фактическое значение показателя эффективности конечного продукта $Q_3^{\text{ФАКТ}}(t_r, n)$

Получает на момент t_r от агентов пассивных зон ответственности значения нечётких переменных состояния аппаратов ПП, управляющих переменных (если пассивные зоны управляемые), нечёткие переменные свойств материала или конечного продукта.

Таким образом, для всех активных и пассивных зон ответственности сформирована полная информация для перехода к следующему этапу.

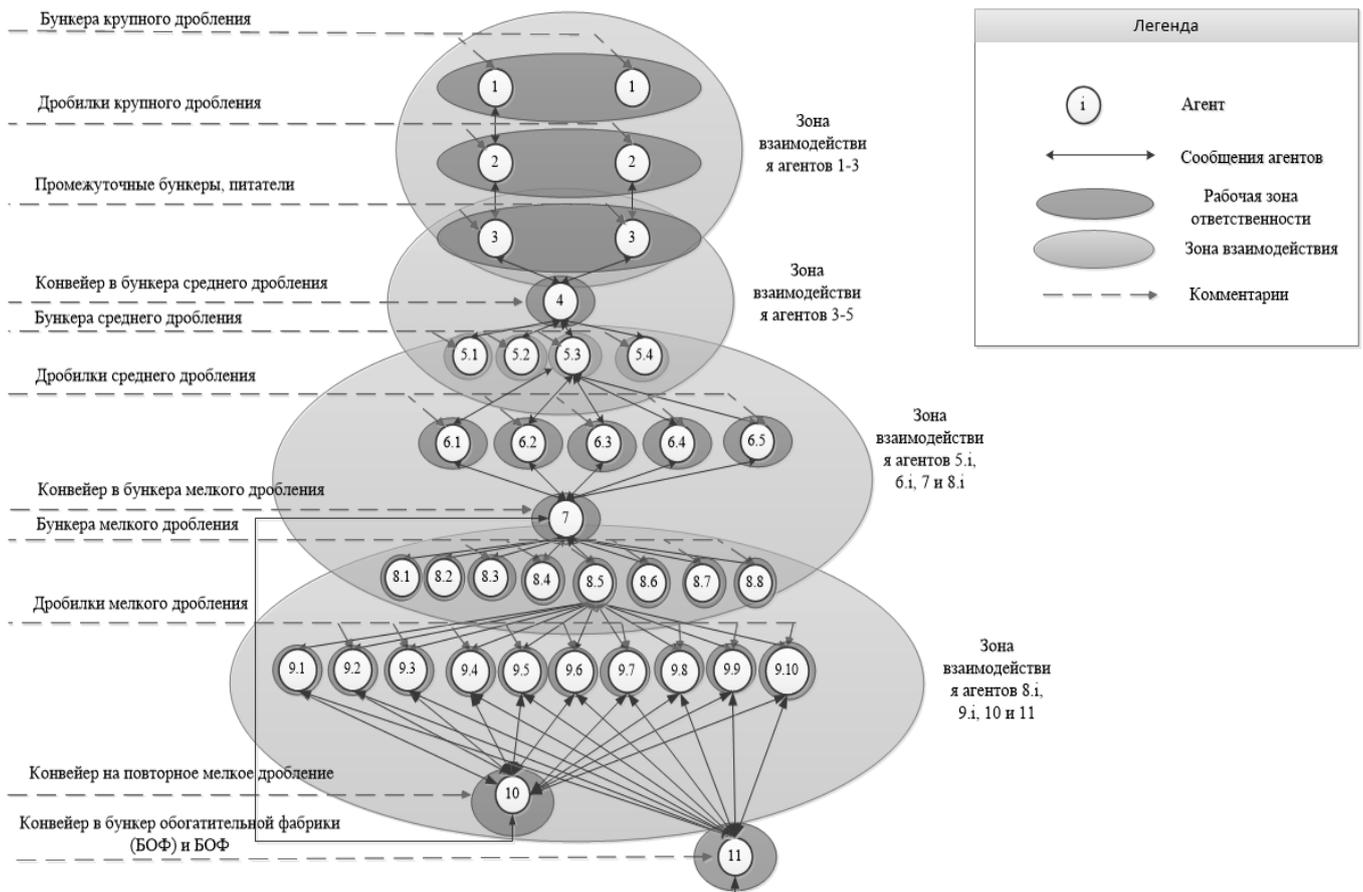


Рис. 1. Модель взаимодействия агентов на тп обогащения (фрагмент — участок дробления)

2. Коллективное определение в реальном времени свойств промежуточного материала и конечного продуктов для всех зон ответственности z_p ($i=1,2,\dots,n$).

В момент t_i агенты соседи совместно формируют согласованные решения о свойствах материала и конечного продукта, переходящие из одной зоны в другую. При этом возможны ситуации: мнения агентов соседей о свойствах материала не противоречивы или мнения агентов о свойствах материала и т.д. противоречивы. В последнем случае, возможно использование различных методов разрешения противоречий (метод приоритетов, метод Парето, оптимальный метод, адаптивный метод). Выбор того или иного метода определяется технологами специалистами.

Расчёт эффективности коллективного управления ПП

Для момента t_i по каждому агенту подсчитывается число неэффективных принятых решений, и подсчитываются потери для этих решений ($Q_i Q_{ij}$).

Суммируются общие потери (PP) принятых неэффективных решений

$$P = \sum_{i=1}^N Q_i.$$

Суммируются общие эффективные решения (R) агентов (при условии, что отсутствуют неэффективные решения т.е. все агенты принимают эффективные решения т.е. $P = 0, R = 0$).

Рассмотрим случаи:

1. $P < RP < R$, в этом случае коэффициент качества коллективного управления k равен $k = 1 - P/R$ (при $P = 0, k = 1$) $k = 1 - P/R$.

2. $P > RP < R$, тогда $k = P/R, k = P/R$, (при $P = 0, k = 1$) $k = 1 - P/R$.

Плоскость $t = t_i, t = t_j$ характеризует момент времени, в который все агенты принимают решение в соответствующих зонах ответственности.

Плоскость Агент = i характеризует i -го агента, принимающего решения в моменты $t = t_1, t_2, \dots, t_i, N$ относительно режима оборудования в зоне ответственности.

Причины, связанные с принятием неэффективного решения, обусловлены системой нечётких параметрических правил о качестве входного, промежуточного материала и конечного продуктах в зонах ответственности агентов.

Моменты времени $t = t_1, t_2, \dots, t_i, N$ определяются следующим образом на интервале $[t_{i-1}, t_i]$ реализуется полный цикл ПП.

Модель взаимодействия агентов в процессе обогащения железорудного концентрата

В ходе работ над [10] была построена модель взаимодействия агентов на ПП обогащения (см. рис. 1).

Данная модель отражает агентов, поставленных в соответствующие рабочие зоны ПП и как агенты взаимодействуют друг с другом.

В каждой зоне агент осуществляет регулярный контроль качества продукта, принимает решение о корректировке параметров оборудования в зоне ответственности и отправляет сообщения агентам — соседям. После этого принятые локальные решения агентов передаются центральному агенту, который принимает оптимальное решение для всего.

Результаты использования

Для апробации предложенного подхода к управлению была разработана имитационная модель процесса обогащения железорудного концентрата и реализована

агентная компонента, которая отвечает за управления. На основе данных из АСУТП была проведена настройка и проверка адекватности модели объекту исследования [11]. Проведены эксперименты с моделью, результаты которых были подробно описаны в работах [12, 13,]. Результаты экспериментов показали положительный эффект. Многоагентное управление процессом обогащения позволит увеличить объемы перерабатываемого материала минимум на 4% и снизить количества полезного в хвостах минимум на 1,5% [15].

Заключение

В результате проделанной работы разработан подход к управлению для выделенного класса ПП, функционирующих в условиях информационной неопределенности.

Предложенный подход включает алгоритм агентного принятия решений, функциональную многоагентную модель управления качеством и методику расчета эффективности коллективного управления.

С помощью методов и средств имитационного моделирования была осуществлена апробация предложенного подхода к управлению процессом обогащения железорудного концентрата. Результаты экспериментов указывают на положительный эффект.

Разработанный подход может использоваться:

- ◆ в управлении качеством рассматриваемого класса ПП (например, химической, пищевой, металлургической промышленности);
- ◆ в организациях, проектирующих технологические схемы и системы управления качеством ПП;
- ◆ в учебных заведениях, как основа для создания тренажёрных комплексов для подготовки специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хлебених Л. В., Зубкова М. А., Саукова Т. Ю. Автоматизация производства в современном мире // Молодой ученый. — 2017. — № 16. — С. 308–311.
2. Максименко Ю. А., Дяченко Э. П., Феклунов Ю. С., Теличкина Э. Р. Автоматизация технологических процессов при переработке сырья растительного происхождения // Вестник АГТУ. Сер. Ж Управление, вычислительная техника и информатика. — 2014. — № 3. — С. 21–29.
3. Дозорцев В. М. Автоматизация в промышленности — обзор, анализ, перспективы // Автоматизация в промышленности. — 2014. — С. 60–64.
4. Аверченко В. И., Казаков Ю. М. Автоматизация проектирования технологических процессов: учеб. для вузов. — 2-е изд., стереотипное. — Москва: Издательство «Флинта», 2011. — с. 228.
5. Степанов А. А. Интеллектуальное автоматизированное управление пусками химических производств: диссертация кандидата технических наук: 05.13.06. Москва, 2002. — 193 с.
6. Дворецкий Д. С., Дворецкий С. И., Островский Г. М. Новые подходы к проектированию химико-технологических процессов, аппаратов и систем в условиях интервальной неопределенности. — М.: Издательский дом «Спектр», 2012. — 344 с.
7. Соколов Н. Оптимизация управления производством в условиях неопределённости // РИСК. — Москва, № 3, 2014. — С. 119–124.
8. Мокеева Н. С. Методологические основы проектирования гибких швейных потоков в условиях неопределенности. Дисс. д. т. н. МГУДТ. 2004, 353 с.
9. Щербатов И. А. Неопределенность в задачах моделирования и управления сложными слабоформализуемыми системами // Вестник НГУЭУ. — 2014. — № 3. — С. 306. — 321.

10. Добрынин В. Н., Эндерев В. А., Миловидова А. А. Система интеллектуального управления технологией обогащения (на примере Стойленского ГОКа) // Обогащение руд, № 6, 2014, ISSN0202–3776.
11. Соколов И. А., Миловидова А. А. Алгоритм решения задачи оценки адекватности модели объекту исследования // Сетевое научное издание «Системный анализ в науке и образовании». — 2017. — № 3. — С. 1–12.
12. Добрынин В. Н., Эндерев В. А., Миловидова А. А. Многоагентное имитационно-событийное моделирование управления качеством дискретно-непрерывных технологических процессов: проблемы, концепция, задачи, методы // Электронный научный журнал «Системный анализ в науке и образовании», 2014, № 1. ISSN: 2071–9612.
13. Добрынин В. Н., Миловидова А. А. Многоагентное имитационно-событийное моделирование управления качеством дискретно-непрерывных технологических процессов: проблемы, концепция, задачи, методы // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна» Серия «Системный анализ в современном обществе» № 1 (29), 2014, ISSN: 1818–0744.
14. Добрынин В. Н., Эндерев В. А., Миловидова А. А. Методология моделирования управления качеством дискретно-непрерывных технологических процессов на основе событийно-имитационного мультиагентного подхода // V Международная научно-практическая конференция «Современные концепции научных исследований», Россия, г. Москва, 29–30 августа 2014 г.
15. Добрынин В. Н., Миловидова А. А. VI Интеллектуальное управление качеством технологических процессов в промышленности // Международная мультидисциплинарная конференция «Актуальные проблемы науки XXI века», г. Москва 30 января 2016 года.
16. Ризванов Д. А., Сенькина Г. В., Попов Д. В., Богданова Д. Р. Агентная система составления расписания прохождения процедур отдыхающими в санаторно-курортном комплексе // Материалы 8-й Международной конференции «Компьютерные науки и информационные технологии» (CSIT'2006). — Карлсруэ, Германия, 2006. — Т. 1. — С. 118–124.
17. Городецкий В. И., Карсаев О. В., Самойлов В. В., Серебряков С. В. Прикладные агентные системы группового управления // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2009. — No 2. — С. 3–24.
18. Кулаков С. М., Трофимов В. Б. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика (монография) // Успехи современного естествознания. — 2010. — № 2 — С. 101–102
19. Тен В. Н., Техничко-коммерческое предложение о реализации проекта «Разработка интеллектуальной экспертной системы управления технологическим процессом, обучением персонала и контроллинга операционной эффективности технологических операций (ИЭСУ ППОК) для СГОК». — ООО «Проектный институт «Центрогиппроуда, 2014. — 20 с.
20. Технологическая инструкция по производству железорудного концентрата ТИ 00186826–10–51–2012 г. Старый Оскол.
21. Классификация интеллектуальных систем и структурная организация интеллектуальных ИСАУ [Электронный ресурс]. URL: <http://nrsu.bstu.ru/chap15.html> (дата обращения: 17.10.2018).
22. Ризванов Д. А., Юсупова Н. И. Модели и методы поддержки принятия решений при управлении сложными системами в условиях неопределенности и ресурсных ограничений // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2–1. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21194> (дата обращения: 02.12.2018).

© Миловидова Анна Александровна (milanna@uni-dubna.ru), Черемисина Евгения Наумовна (arbatsolo@yandex.ru),
Добрынин Владимир Николаевич (chere@uni-dubna.ru), Соколов Иван Александрович (isokolov@jinr.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»