

А. Г. Шмелева, канд. физ.-мат. наук, доц., e-mail: shmeleva_a@mirea.ru,
А. И. Ладынин, аспирант, преподаватель, e-mail: andrey.ladynin@hotmail.ru,
А. В. Бахметьев, студент, e-mail: a_bahmetev@mail.ru,
 Московский технологический университет, Москва

Построение взвешенных решений управления сложными производственными системами с применением теории массового обслуживания

Представлена интеллектуальная система (СППР "ШАГ") для поддержки принятия решений в задачах управления производством, включающая актуальные методы обработки и анализа информации. Одним из модулей представленной интеллектуальной системы является программная реализация моделей теории массового обслуживания, позволяющих проводить оценку пропускной способности и отказоустойчивости промышленных систем.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, автоматизация, промышленное производство, имитационное моделирование, система массового обслуживания, программная реализация, пропускная способность

Введение

Одной из проблем современной науки является разработка и внедрение в практику методов исследования функционирования сложных систем. К классу сложных систем относят технологические, производственные, энергетические комплексы, системы автоматизации управления и другие объекты. Механизмы эффективного управления производством требуют внедрения информационных технологий для принятия стратегических решений экономического и научно-технического развития. Имитационное моделирование является одним из наиболее мощных средств исследования разнообразных систем.

Имитационное моделирование направлено на построение взвешенных решений управления сложными производственными системами с помощью математических методов и алгоритмов [1, 2]. Создание систем поддержки принятия решений (СППР), где сложность модели можно сколь угодно увеличивать, чтобы добиться все более точного соответствия исследуемой системе, является актуальной задачей. СППР позволяет проводить многократные расчеты, изменяя параметры моделей, анализировать результаты и выбирать приоритетные альтернативы развития.

1. Проектирование информационных систем поддержки принятия производственных решений

Цель управления высокотехнологичным предприятием — приведение объекта управления (системы) в желаемое состояние в усло-

виях действия внешних и внутренних возмущающих факторов, характеризующих состояние среды. Возможный способ достижения поставленных целей — анализ вариантов решений (альтернатив) [3—5]. Создание информационной системы направлено на выбор оптимальной стратегии развития на основе качественной оценки альтернатив по одному или нескольким параметрам. В общей постановке задача принятия решений заключается в выборе наиболее приоритетной альтернативы в соответствии с предпочтениями лица, принимающего решения (ЛПР).

К особенностям решения задач управления можно отнести:

- структуризацию входных данных;
- определение цели (предпочтения);
- выбор ограничений;
- описание элементов системы, не имеющих однозначной объективной оценки;
- математическое моделирование с применением совокупности методов оптимизации и планирования;
- разработку алгоритмов, позволяющих снизить неопределенность, обусловленную спецификой или новизной тематики.

Обобщенная модель принятия решений прогнозирования развития может быть представлена в виде множества исследуемых подмножеств параметров:

$$C_{opt} = \{P_0, T, R, P, G, L, C, K\},$$

где C_{opt} — развитие ситуации в результате принятого решения; P_0 (problem) — характеристики проблемы, требующие анализа; T (time) — временные параметры; R (resources) — доступ-

ные ресурсы; $P = (P_1, \dots, P_n)$ — альтернативные состояния системы, уточняющие исходную проблему; G (goals) — желаемые цели; L (limitations) — ограничения; C (choices) — альтернативные варианты решения; K — критерии, определяющие наилучшее решение.

Агрегации указанных множеств значимых параметров модели позволяет формализовать задачу принятия решений посредством выбора математических методов и алгоритмов.

Задача принятия решений требует тщательного исследования, обусловленного необходимостью однозначного определения, представления и формализации начальных данных, позволяющего применять имитационное моделирование исследуемых систем. На рис. 1 представлен процесс принятия решений в виде структурной схемы, отражающей основные этапы исследования систем управления.

Модель наглядно демонстрирует необходимость комплексного подхода к исследованию входных данных, закономерностей, методов, алгоритмов и в дальнейшем к анализу возможных альтернатив — выбору наилучшей стратегии управления. Одним из перспективных направлений исследований в области структуризации и алгоритмизации поиска решения является разработка систем поддержки принятия решений (СППР) [6—9]. Модули системы должны объединять актуальные методы обработки и анализа информации, позволяя лицу, принимающему решения, получить взвешенное заключение, подкрепленное результатами анализа альтернатив [10, 11].

При создании СППР необходимо разрабатывать методы обработки начальных данных, позволяющие агрегировать элементы исследуемой системы для применения математических моделей, создавать алгоритмы анализа и мониторинга этапов реализации проектов наукоемких производств. Применение СППР позволит выбирать оптимальную стратегию развития, проводить объективную оценку проектов, анализировать параметры, разрабатывать календарные планы выполнения работ.

Сформулируем требования, предъявляемые к СППР, обусловленные спецификой задач управления и потребностями пользователей:

- достаточность (полнота);
- актуальность;
- адекватность (достоверность, точность);
- защищенность;
- масштабируемость;
- интуитивность.

При разработке СППР необходимо учитывать специфику областей применения и ори-



Рис. 1. Модель принятия производственных решений

ентированность на пользователей. Интуитивность СППР является одним из аспектов востребованности — это накладывает ограничения на использование математических методов. Как показывает практика, искусственное завышение набора переменных, определяющих соответствие модели прототипу, сопровождается вводом дополнительных параметров и ограничений, что делает модели тяжелыми в восприятии, а следовательно, либо ограничивает число пользователей, так как требуется достаточный уровень подготовки, либо не позволяет выявить главные влияющие факторы.

Внедрение информационных систем на предприятиях не должно ставить задачу длительного обучения персонала математическим методам и программированию. СППР должны быть доступны широкому кругу пользователей и направлены на решение повседневных производственных задач. Пользователю должна быть предоставлена возможность выбора программных модулей, содержащих как базовые, так и усложненные математические модели.

Предприятия и корпорации заинтересованы в актуальных методах решения задач анализа и планирования с применением СППР, что в контексте импортозамещения ставит вопрос о разработке и внедрении российских интеллектуальных систем поддержки принятия решений, направленных на модернизацию и внедрение новых технологий производства.

Для поддержки принятия решений в задачах управления производством разработана интеллектуальная система (СППР "ШАГ"), включающая актуальные методы обработки и анализа информации. На рис. 2 (см. вторую сторону обложки) представлен интерфейс программного комплекса. Проектируемая информационная система имеет модульную структуру и позволяет ЛПР использовать методы, необходимые для анализа разнообразных производственных задач. Функциональные возможности СППР обеспечивают систематизированный подход к исследованиям и позволяют:

- обрабатывать слабоструктурированную информацию;

- выявлять и анализировать альтернативы;
- определять качественные и количественные характеристики систем;
- строить формализованные выводы на основе экспертных мнений;
- составлять календарные планы работ;
- строить прогностические модели;
- выявлять значимые факторы возникновения нештатных ситуаций;
- решать задачи оптимизации.

СППР "ШАГ" направлена на проведение модельных экспериментов, которые невозможно или сложно провести на реальном объекте, а также предоставляет возможность получения новых знаний об исследуемых системах. Целью является усовершенствование методов управления, проектирования и анализа производственных процессов [6].

2. Теоретические предпосылки и постановка задач оценки пропускной способности и отказоустойчивости промышленных систем

Одним из модулей представленной интеллектуальной системы является программная реализация моделей теории массового обслуживания (ТМО), позволяющих проводить оценку пропускной способности и отказоустойчивости промышленных систем.

Модуль ориентирован на ускорение, удешевление, упрощение решения задач транспортной логистики, расчета числа персонала (операторов, диспетчеров), проектирования пропускной способности цеха и других задач теории массового обслуживания, возникающих на высокотехнологичном предприятии.

К основным элементам систем массового обслуживания (СМО) относят [12, 13]:

- входящий поток заявок;
 - аппараты обслуживания;
 - очередь;
 - исходящий поток обслуженных заявок.
- В литературе принято выделять три типа СМО:
- системы с отказами, для которых заявки, не обеспеченные свободным исполнителем, теряются;
 - системы с ожиданием, в которых присутствует накопитель заявок бесконечной емкости, формирующий очередь на обслуживание;
 - системы с накопителями конечной емкости (ожиданием и ограничениями), в которых длина очереди не может превышать ее максимальных значений.

Приоритетными являются СМО третьего типа, практическая значимость которых пред-

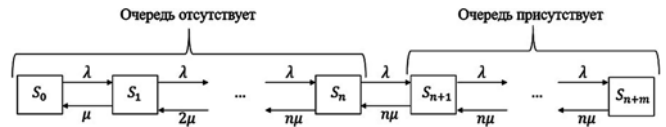


Рис. 3. Граф СМО с ограниченной очередью

ставляет наибольшую ценность для решения прикладных задач. Рассмотрим математическую модель и определяющие соотношения более подробно.

В систему, имеющую n обслуживающих приборов, поступает на вход поток заявок с интенсивностью λ . Интенсивность выполнения каждым каналом заявки равна μ , а максимальное число мест в очереди — m (рис. 3).

Выделим три основных состояния системы: S_0 — все аппараты обслуживания свободны, как и очередь;

S_l — заняты l аппаратов обслуживания ($l = \overline{1, n}$), очереди нет;

S_{n+i} — заняты все n аппаратов обслуживания, в очереди пребывает i заявок ($i = \overline{1, m}$).

Отметим, что основными параметрами, характеризующими СМО, являются ее пропускная способность и отказоустойчивость. Проведем исследование СМО третьего типа с использованием разработанной прикладной программы. Для этого, применяя следующие определяющие соотношения, решим практическую задачу.

Найдем предельную вероятность состояний согласно следующей формуле:

$$p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \dots + \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \right)^{-1} = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \dots + \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \frac{\rho}{n}} \right), \quad (1)$$

где $\rho = \lambda/\mu$ — коэффициент загрузки СМО.

Сумма вероятностей $p_n, p_{n+1}, \dots, p_{n+m-1}$ есть вероятность образования очереди $p_{оч}$:

$$p_{оч} = \sum_{i=0}^{m-1} p_{n+i} = \frac{\rho^n}{n!} \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \frac{\rho}{n}} p_0. \quad (2)$$

Заявка получает отказ в обслуживании, когда в очереди заняты все места:

$$p_{отк} = p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0. \quad (3)$$

Относительная пропускная способность системы

$$Q = p_{\text{обс}} = 1 - p_{\text{отк}} = 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0. \quad (4)$$

Абсолютная пропускная способность A определяется следующим образом:

$$A = \lambda Q = \lambda \left(1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0 \right). \quad (5)$$

Среднее число заявок, пребывающих в очереди

$$L_{\text{оч}} = \sum_{i=1}^m i p_{n+i} = \frac{\rho^{n+1}}{n n!} \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m \left[1 + m \left(1 - \frac{\rho}{n}\right) \right]}{\left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^2} p_0. \quad (6)$$

Среднее число заявок, находящихся на исполнении в системе

$$L_{\text{обс}} = \frac{A}{\mu} = \rho \left(1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0 \right). \quad (7)$$

Среднее число заявок, пребывающих в системе

$$L_{\text{СМО}} = L_{\text{оч}} + L_{\text{обс}}. \quad (8)$$

Среднее время пребывания заявки в СМО

$$T_{\text{СМО}} = \frac{L_{\text{СМО}}}{\lambda} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda} + \frac{Q}{\mu}. \quad (9)$$

Среднее время нахождения заявки в очереди

$$T_{\text{оч}} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda}. \quad (10)$$

3. Решение задачи оценки параметров производственного процесса

Рассмотрим пример использования разработанного программного модуля для решения задачи оценки параметров производственного процесса — пропускной способности автоматизированного участка. Представим технологическое оборудование в виде СМО — совокупности заявок (однородных задач) и аппаратов обслуживания (станков), выполняющих однотипные действия.

Представим технологический процесс обработки деталей, используя аппарат ТМО. Допустим, ожидаемая загрузка производственной линии составляет 220 деталей в течение восьми-часовой рабочей смены. Число станков равно 8, среднее время обработки каждой заготовки на станке — 12 мин, длина очереди заявок на обслуживание не должна превышать 4. При этом, если заявка не попадает на обслуживание или

в очередь, она теряется. Решим задачу оценки пропускной способности и определим возможность использования данного технологического оборудования.

На основе представленных выше определяющих соотношений сформулируем задачу с использованием аппарата ТМО. По условию дана СМО с восемью каналами обслуживания, ожиданием и ограниченной очередью в четыре заявки. Дано, что в течение 8 ч поступает 220 заявок, что позволяет рассчитать интенсивность их поступления:

$$\lambda = \frac{N}{n} = \frac{220}{8 \cdot 60} = 0,458 \text{ 1/мин},$$

где N — число заявок, поступающих за исследуемое время работы; n — число станков.

В свою очередь, интенсивность обслуживания одной заявки составляет

$$\mu = \frac{1}{T_{\text{обс}}} = \frac{1}{12} = 0,083 \text{ 1/мин},$$

где $T_{\text{обс}}$ — время обслуживания одной заявки.

Представим начальные параметры технологической системы:

число каналов обслуживания $n = 8$;

интенсивность поступления заявок $\lambda \approx 0,46$ 1/мин;

интенсивность обслуживания заявки каждым из станков $\mu \approx 0,08$ 1/мин;

максимальная длина очереди $m = 4$.

Рассмотрим решение представленной задачи с использованием разработанного прикладного программного модуля. Для этого в диалоговом окне выберем пункт меню, соответствующий данной модели — многоканальной СМО с ограниченной очередью и отказами. Введем начальные данные задачи и перейдем к расчету выходных параметров СМО (рис. 4, 5).

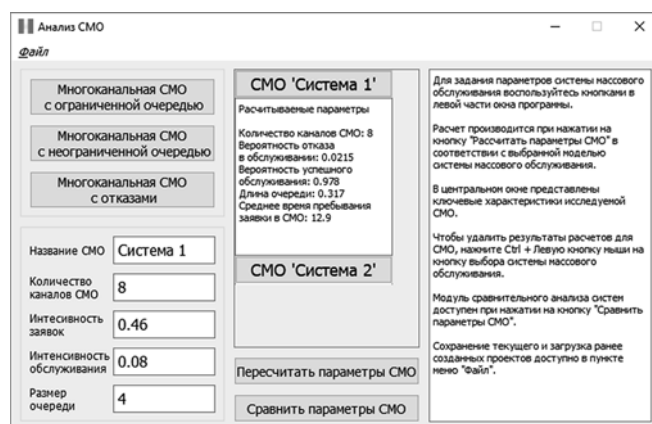


Рис. 4. Главное окно программного модуля

Модуль сравнения

Добавить СМО СМО 'Система 2' Экспортировать

	СМО с ограниченной очередью	СМО с неограниченной очередью	СМО с отказами					
	Каналы обслуживания	Интенсивность заявок	Интенсивность обслуживания	Размер очереди	Вероятность отказа	Вероятность обслуживания	Заявок в очереди	Среднее время ожидания
СМО 'Система 1'	8	0,46	0,08	4	0,0215	0,978	0,317	12,9
СМО 'Система 2'	8	1,04	0,08	4	0,272	0,728	1,86	10,9

Рис. 5. Результаты расчетов

В результате расчетов выходные параметры оцениваемой производственной системы составляют следующие значения: вероятность успешной обработки заготовки составляет 97,8 %; среднее число заявок в очереди равняется 0,32; среднее время пребывания заявки на обслуживании — 13 мин. Полученные данные свидетельствуют об избыточных производственных возможностях оборудования, рассматриваемая технологическая система способна обеспечить достаточные показатели отказоустойчивости.

На рис. 5 представлены результаты моделирования исходной системы с заданными начальными параметрами и идентичной системы, в которой среднее число заготовок, поступающих в течение рабочей смены, равняется 500 шт.

Во втором случае вероятность обслуживания составит 74,2 %; среднее число заявок в очереди — 1,9; среднее время ожидания — 11 мин. Полученные результаты свидетельствуют о возможности увеличения потока деталей, требующих обработки, однако повышение загрузки оборудования влечет увеличение вероятности технологических сбоев. Результаты моделирования позволяют сделать вывод о степени загруженности технологического оборудования, оценить пропускную способность совместно с допустимым числом отказов в обслуживании.

Представленный программный модуль, в основе которого лежат алгоритмы теории массового обслуживания, может быть использован для оценки параметров производственных систем на этапах проектирования и ввода в эксплуатацию, в ходе переоснащения предприятий и модернизации технологического оборудования. Приведенный пример свидетельствует о необходимости интеграции методов имитационного моделирования, позволяющих проводить исследование сложных систем с использованием прикладных программ.

Заключение

Разработка информационных систем является актуальным направлением исследований мировых научных сообществ. На сегодняшний

день информационные системы должны соответствовать не только накоплению и хранению данных, но иметь направленность на помощь пользователю в принятии взвешенных решений на основе анализа имеющейся информации. Конкурентоспособность предприятия тесно связана с научно-техническим прогрессом, а следова-

тельно, с наличием технологий, позволяющих эффективно обрабатывать массивы данных для построения комплексных моделей анализа информационных потоков.

В статье представлена модель информационной системы, на основе которой разработана СППР "ШАГ", реализующая алгоритмы имитационного моделирования производственных систем. Показаны некоторые возможности модуля решения задач с применением теории массового обслуживания, проведены расчеты для оценки производственных систем. Использование предлагаемой программной реализации позволит усовершенствовать проектирование и анализ производственных процессов.

Список литературы

1. Kashirskaya E. N., Kurnasov E. V., Kholopov V. A., Shmeleva A. G. Methodology for assessing the implementation of the production process // Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS). IEEE, 2017, P. 232–235. DOI: 10.1109/CTS.2017.8109533.
2. Kashirskaya E. N., Kholopov V. A., Shmeleva A. G., Kurnasov E. V. Simulation model for monitoring the execution of technological processes // Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS). IEEE, 2017, P. 307–310. DOI: 10.1109/CTS.2017.8109533.
3. Смирнова Э. Е., Таланова Ю. В., Шмелева А. Г. Эффективные методы управления проектами транспортной отрасли // Качество. Инновации. Образование. 2016. № 8—10 (135–137). С. 225–230.
4. Шмелева А. Г., Ладынин А. И. Система поддержки принятия решений "ШАГ" (СППР "ШАГ") // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ РОСПАТЕНТ № 2017619109 от 15.08.2017 г.
5. Шмелева А. Г., Ладынин А. И., Бахметьев А. В. Некоторые аспекты формирования стратегических решений развития предприятия // Международная научно-техническая конференция "Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике" ("МНТК ФТИ-2017") Сборник научных трудов под ред. Булатова М. Ф., 2017. С. 325–327.
6. Холопов В. А., Ладынин А. И. Анализ структур по отношению к типам производства // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 6. С. 7–11.
7. Kar A. K. A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network // Journal of Computational Science. 2015. N. 6. P. 23–33.
8. Saha C., F. Aqlan F., Lam S. S., Boldrin W. A decision support system for real-time order management in a heterogeneous production environment // Expert Systems with Applications. 2016. Vol. 60. P. 16–26.

9. Li B., Li J., Li W., Shirodkar S. A. Demand forecasting for production planning decision-making based on the new optimised fuzzy short time-series clustering // *Production Planning & Control*. 2012. Vol. 23(9). P. 663–673.

10. Abraham A. Intelligent Systems: Architectures and Perspectives, Recent Advances in Intelligent Paradigms and Applications, in *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Chapter 1, (eds A., Abraham, L., Jain and J., Kacprzyk) // Springer Verlag, Germany. 2002. P. 1–35.

11. Andreadis G., Klazoglou P., Niotaki K., Bouzakis K.-D. Classification and review of multi-agents systems in the manufacturing section // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 69. P. 282–290.

12. Дудин С. А. Системы массового обслуживания с сессионным поступлением запросов. Минск: РИВШ, 2011. 130 с.

13. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 6. М.: URSS, 2013. 400 с.

A. G. Shmeleva, PhD, Associate Professor, e-mail: shmeleva_a@mirea.ru,

A. I. Ladynin, Postgraduate Student, Lecturer, e-mail: andrey.ladynin@hotmail.ru,

A. V. Bakhmetiev, Student, e-mail: a_bahmetev@mail.ru,

Moscow Technological University

Weighted Decisions Development for Complex Production Systems Management Using the Theory of Mass Service

The article presents intellectual system (DSS “ShAG”) which is intended to support decision-making in production management tasks; it includes up-to-date methods for information processing and analysis. The Decision Support Systems development process implies taking into account application areas and user focus. The presented model visually demonstrates necessity for a comprehensive approach regarding input data, patterns, methods, algorithms for choosing the best production management strategy studies. The following article presents developed program realization, which is consistent with commonly used corporate and resource planning standards — Manufacturing Resource Planning (MRP) and Enterprise Resource Planning (ERP). These methods and models, presented in the following DSS, could be successfully used in planning tasks for small businesses and corporations. DSS modules should combine relevant processing and analyzing information methods, allowing the decision-maker receive a weighted conclusion supported by the results of the alternatives’ analysis. One of the modules of the presented intellectual system is the models of queuing theory software implementation, which allows the throughput and fault tolerance of industrial systems assessment. The module is aimed at speeding up, cost lowering, simplifying the solution of transport logistics tasks, calculating the number of personnel (operators, dispatchers), designing the workshop throughput and other queuing theory problems that arise in high-tech enterprises. Developed software module usage example is presented for the production process parameters estimating problem. Usage of the proposed software will improve the engineering and production processes analysis.

Keywords: decision support system, automation, stream production, simulation modeling, queuing system, business planning, software implementation, intellectual system, information analysis, enterprise resource planning, algorithms, throughput analysis

References

1. Kashirskaya E. N., Kurnasov E. V., Kholopov V. A., Shmeleva A. G. Methodology for assessing the implementation of the production process, *Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*. IEEE, 2017, pp. 232–235. DOI: 10.1109/CTS.2017.8109533.

2. Kashirskaya E. N., Kholopov V. A., Shmeleva A. G., Kurnasov E. V. Simulation model for monitoring the execution of technological processes, *Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*. IEEE, 2017, pp. 307–310. DOI: 10.1109/CTS.2017.8109553.

3. Smirnova E. E., Talanova Yu. V., Shmeleva A. G. Transport industry effective project management methods, *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie* (Quality. Innovation. Education), 2016. no. 8–10 (135–137), pp. 225–230 (in Russian).

4. Shmeleva A. G., Ladynin A. I. Decision Support System ShAG (DSS ShAG). Certificate of state registration of computer programs ROSPATENT No. 2017619109, August 15, 2017.

5. Shmeleva A. G., Ladynin A. I., Bakhmetev A. V. Some aspects of enterprise development strategic solutions forming, *Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija “Informatika i tehnologii. Innovacionnye tehnologii v promyshlennosti i informatike” (“MNTK FTI-2017”) Sbornik nauchnyh trudov*. Ed. Bulatov M. F. (In the collection: International Scientific and Technical Conference “Informatics and Technology. Innovative technologies in industry and informatics (“MNTK FTI-2017”) Collection of scientific works. Ed. by Bulatov M. F.), 2017, pp. 325–327 (in Russian).

6. Kholopov V. A., Ladynin A. I. ACS Analysis on the Relation of Different Manufacturing Types, *Promyshlennye ASU i kontroly* (Industrial Automated Control Systems and controllers), 2015. no. 6, pp. 7–11 (in Russian).

7. Kar A. K. A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network, *Journal of Computational Science*, 2015, no. 6, pp. 23–33.

8. Saha C., Aqlan F., Lam S. S., Boldrin W. A decision support system for real-time order management in a heterogeneous production environment. *Expert Systems with Applications*, 2016, 60, pp. 16–26.

9. Li B., Li J., Li W., and Shirodkar S. A. Demand forecasting for production planning decision-making based on the new optimised fuzzy short time-series clustering, *Production Planning & Control*, 2012, 23 (9), pp. 663–673.

10. Abraham A. Intelligent Systems: Architectures and Perspectives, Recent Advances in Intelligent Paradigms and Applications, in *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Chapter 1, (eds A., Abraham, L., Jain and J., Kacprzyk), Springer Verlag, Germany, 2002, pp. 1–35.

11. Andreadis G., Klazoglou P., Niotaki K., Bouzakis K.-D. Classification and review of multi-agents systems in the manufacturing section, *Procedia Engineering*, 2014, vol. 69, pp. 282–290.

12. Dudin S. A. Sistemy massovogo obsluzhivaniya s sessionnym postupleniem zaprosov (Queuing systems with session incoming requests), Minsk, RIVSH Publ., 2011, 130 p. (in Russian).

13. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. (Vvedenie v teoriiu massovogo obsluzhivaniya) Introduction to the theory of queuing, Izd. 6. Moscow, URSS Publ., 2013, 400 p. (in Russian).