

Раздел I. Анализ данных и моделирование

УДК 004

DOI 10.18522/2311-3103-2022-4-6-15

П.А. Воронин, А.М. Белевцев, Ф.Г. Садреев

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ВЫБОРА PLM-СИСТЕМ ПРИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В рамках перехода на шестой технологический уклад перед предприятиями промышленности остро встает вопрос эффективного проведения цифровой трансформации предприятия. Для этого предприятиям необходимо обеспечить переход к процессному управлению, автоматизировать бизнес-процессы и интегрировать все процессы, приложения и данные на единой платформе. Возникает проблема выбора способа объединения информационных потоков между различными программными средствами на предприятии, одним из решений является использование PLM-системы. При дискретном типе производства их использование затрудняется из-за большого количества программных решений в основных, организационных, обеспечивающих и бизнес-процессах развития. В этой связи необходимо определить оптимальную систему, которая отвечала бы всем необходимым критериям для построения единой платформы для «бесшовного» процесса производства. На рынке представлено большое количество PLM-систем, которые реализуют определенное количество функциональных назначений. Выбор PLM-системы должен основываться на удовлетворении взаимосвязанного набора требований предприятия, которые определяются на основе бизнес-процессов. Это позволит отсеять большинство неподходящих программных решений. Вместе с тем, PLM-система, которая имеет самый широкий функционал, может не отвечать требованиям по созданию системы обеспечения интеграции с системами автоматизации бизнес-процессов, а также экономическим, социальным, политическим и иным требованиям. Поэтому для каждого предприятия составляется индивидуальный перечень критериев в соответствии со сферой деятельности, типом производства, наличием различного программного обеспечения, существующим уровнем автоматизации и другими параметрами. В статье предлагается методика выбора PLM-систем для машиностроительного предприятия радиоэлектронного профиля, основанная на анализе бизнес-процессов и определении требований предприятия, проведении мониторинга и определении функциональных назначений PLM-систем и определении оптимального варианта на основе метода анализа иерархий. Получение интегральной оценки определенных критериев и вариантов программных решений позволит произвести объективный выбор оптимальной PLM-системы для конкретного предприятия. Использование методики позволит ускорить и повысить качество процесса выбора PLM-системы для определенного предприятия в условиях перехода к шестому технологическому укладу и индустрии 4.0.

Цифровая трансформация; PLM-система; процессное управление; метод анализа иерархий; машиностроительное предприятие.

P.A. Voronin, A.M. Belevtsev, F.G. Sadreev

METHODOLOGY FOR EVALUATION AND SELECTION OF PLM-SYSTEMS IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

As part of the transition to the sixth technological order, the question of effective implementation of the digital transformation of the enterprise is acute for industrial enterprises. To do this, enterprises need to ensure the transition to process management, automate business processes and integrate all processes, applications and data on a single platform. There is a problem of choosing a way to combine information flows between various software tools in the enterprise, one of the solutions is the use of a PLM system. With a discrete type of production, their use is difficult due to the large number of software

solutions in the main, organizational, supporting and business development processes. In this regard, it is necessary to determine the optimal system that would meet all the necessary criteria for building a single platform for a "seamless" production process. There are a large number of PLM systems on the market that implement a certain number of functional appointments. The choice of a PLM system should be based on the satisfaction of an interconnected set of enterprise requirements, which are determined based on business processes. This will eliminate most unsuitable software solutions. At the same time, a PLM system that has the widest functionality may not meet the requirements for creating a system for ensuring integration with business process automation systems, as well as economic, social, political and other requirements. Therefore, an individual list of criteria is compiled for each enterprise in accordance with the field of activity, the type of production, the availability of various software, the existing level of automation and other parameters. The article proposes a methodology for choosing PLM systems for a radio-electronic engineering enterprise, based on the analysis of business processes and determining the requirements of the enterprise, monitoring and determining the functional purposes of PLM systems and determining the optimal option based on the hierarchy analysis method. Obtaining an integrated assessment of certain criteria and software solutions options will allow an objective choice of the optimal PLM system for a particular enterprise. The use of the methodology will speed up and improve the quality of the PLM system selection process for a certain enterprise in the conditions of transition to the sixth technological order and industry 4.0.

Digital transformation; PLM system; process management; hierarchy analysis method; machine-building enterprise.

Введение. В настоящее время существует тренд цифровой трансформации высокотехнологичных предприятий. Она требует фундаментального преобразования бизнес-моделей и бизнес-возможностей [1]. Одним из этапов цифровой трансформации является внедрение PLM-систем [2], при выборе которых, появляются следующие вопросы:

- ◆ выбор типов технологических процессов;
- ◆ выбор типа производства (непрерывное, дискретное);
- ◆ оценка существующего уровня автоматизации и информационной поддержки изделий;
- ◆ обеспечение интеграции архитектуры PLM-систем.

Решение этих проблем усложняются тем, что на предприятиях не осуществлен переход к процессному управлению и, в настоящее время, автоматизация бизнес-процессов и внедрение low-code платформ находятся на стадии формирования и разработки [3].

В этой связи методика выбора PLM-систем для заданного типа предприятий является актуальной.

Основная часть. Для решения проблемных вопросов предлагается методика, которая позволит более обоснованно подойти к выбору PLM-системы для заданного предприятия (рис. 1)

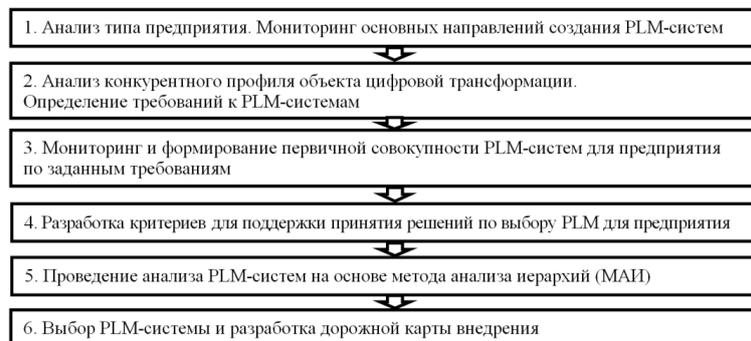


Рис. 1. Методика выбора PLM-системы для предприятий

Существует два типа производств: дискретное и непрерывное. Производство предприятия радиоэлектронного профиля является дискретным [4]. Т.е. в процесс изготовления изделий включены цеха химической обработки, обработки металла, проектирования и изготовления печатных плат, лакокрасочного покрытия, штамповки, литья, а также отделы проектирования, конструирования, опытного производства, пост гарантийного обслуживания и прочие.

Исходя из этого, для PLM-системы можно выделить следующие технические требования:

1) Возможность интеграции с наибольшим количеством программного обеспечения (ПО), имеющегося на предприятии [5]. PLM-система должна быть связывающим звеном между другими системами, уже встроенными в бизнес-процессы предприятия;

2) Возможность развертывания в распределенном режиме. Необходимо для организации информационных потоков между различными филиалами предприятия;

3) Наличие системы работы с клиентами (CRM). Необходимо для организации оперативной обратной связи с клиентами [6];

4) Наличие Workflow. Необходимо для моделирования и управления потоками работ, процессов [7];

5) Организация системы единого хранения данных. Необходимо для хранения данных в систематизированном виде;

6) Защищенность передачи данных. Необходимо для сохранности данных во время хранения и передачи информации [8];

7) Возможность развертывания в различных операционных системах. Необходимо для гибкого развертывания в условиях импортозамещения, разработки шлюзов;

8) Открытость интерфейса и встроенные языки программирования. Необходимо для разработки шлюзов между PLM-системой и другим программным обеспечением, доработки интерфейсных форм [9];

9) Полнота функциональных назначений. Обобщенное требование для проведения цифровой трансформации [10];

Помимо технических требований необходимо выделить и экономические требования:

1) Стоимость покупки и эксплуатации. Необходимо установить затраты на внедрение и поддержку во время эксплуатации PLM-системы;

2) Зависимость от зарубежного ПО. Важно в современных условиях санкций [11];

3) Сопровождение в эксплуатации. Необходимо для настройки информационных потоков на этапе введения PLM-системы, а также во время работы, например, при изменении какого-либо бизнес-процесса [12].

Для предприятий ОПК в современных условиях использование целого ряда PLM систем (Siemens, Dassault System, Oracle), разрабатываемых странами, подержавшими санкции против России, затруднено и в ходе исследований не рассматривалось. В рамках исследования были проанализированы следующие PLM-системы: Союз PLM, Intermech Professional Solutions (IPS), T-Flex, «Цифровое предприятие», ЛОЦМАН PLM, Крок КСЭД, Appius-PLM. Результаты анализа по критериям для выбора PLM-систем представлены в табл. 1 [13–20].

Таблица 1

Анализ PLM-систем

Наименование PLM / Критерии	Разработчик	Основные модули *Указаны модули, которые имеют не все PLM-системы	Интеграция с другими системами	Языки программирования	ОС
Союз PLM	Программсоюз (РФ)	-Workflow -Модуль статистики	SolidWorks, КОМПАС-3D, AutoCAD, Autodesk Inventor, T-FLEX CAD, MS Word, Excel Altium Designer IC, SAP R3	C#	Windows
Intermech Professional Solutions (IPS)	ИНТЕРМЕХ (Республика Беларусь)	-Workflow - CRM -Модуль статистики	AutoCAD, BricsCAD, Inventor, NX, Pro/Engineer, Creo, Solid Edge, Solidworks, КОМПАС-3D, Mentor Graphics, Altium Designer IC	C++, C#, Visual Basic, Delphi, F#	Windows
T-Flex PLM	ЗАО «Топ Системы» (РФ)	-Workflow -Собственная САПР - CRM	T-FLEX CAD, Solid Works, Autodesk Inventor, AutoCAD, Компас, Pro/E, Creo, Catia, Siemens NX; IC, Infor ERP, Галактика ERP и Microsoft Dynamics AX	C# (.NET Framework)	Windows, Linux
Система «Цифровое предприятие»	«РосАтом», «Ростех» и РФЯЦ-ВНИИЭФ (РФ)	-Workflow - CRM	Web-браузеры, Pentaho, СУБД «Синергия», Синергия 1.0 (CAD/CAE/PDM),	Java, Python	Astra Linux, Синергия, Windows
ЛЮЦМАН PLM	АСКОН (РФ)	-Workflow -Собственная САПР -Модуль статистики	PostgreSQL, КОМПАС-3D, ВЕРТИКАЛЬ, ПОЛИНОМ:MDM, SolidWorks, Autodesk Inventor, CATIA, Creo, NX, Altium Designer, Delta Design	Visual C++, Visual C#	Windows
КРОК КСЭД	КРОК (РФ)	- CRM -Модуль статистики	PostgreSQL, Microsoft SQL Server, Oracle, IBM DB2 SAP, IC	Java	Windows, Unix/Linux
Аппиус-PLM	ГК АРПИУС (РФ)	-Workflow -Модуль статистики	КОМПАС 3D, SOLIDWORKS, Solid Edge, Inventor и T-FLEX CAD Altium Designer, EPLAN,P-CAD, OrCAD.,IC	JavaScript	Windows

Мониторинг PLM-систем по полноте функциональных назначений приведен в табл. 2. Однако, данный способ не позволяет дать окончательный вариант PLM-системы. Необходима интегральная оценка для сопоставления всех групп критериев и самих критериев. В данной статье для оценки и выбора PLM-системы был выбран метод анализа иерархий.

Таблица 2

Мониторинг PLM-систем по полноте функциональных назначений

Наименование PLM/ Функциональные назначения	Интеграция с другими системами	Workflow	Работа в распределенном режиме	Организация хранения данных	Защищенность передачи данных	Независимость от зарубежного ПО
Союз PLM						
IPS						
T-Flex PLM						
Система «ЦП»						
ЛОЦМАН PLM						
КРОК КСЭД						
Аппиус-PLM						

Критерии для оценки приоритетной PLM-системы для предприятия радиоэлектронного профиля представлены на рис. 2.

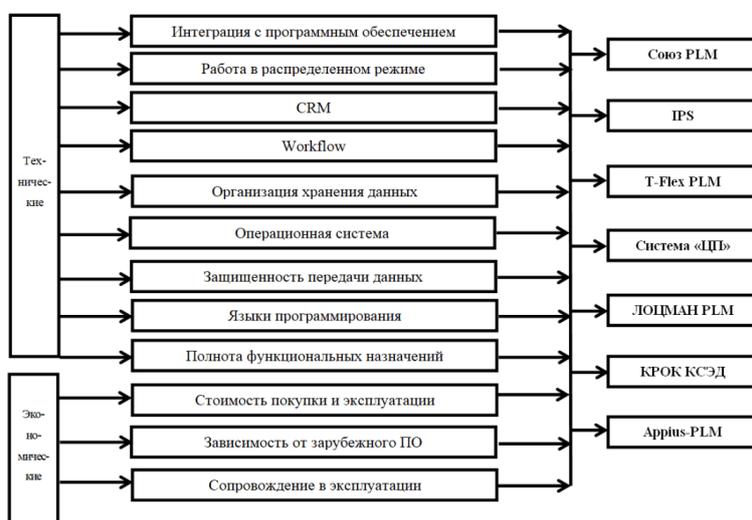


Рис. 2. Критерии для оценки приоритетной PLM-системы

Процедура проведения анализа PLM-систем на основе МАИ приведена на рис. 3 [21].

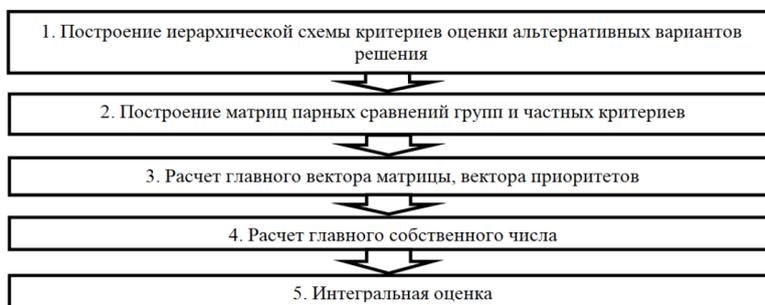


Рис. 3. Процедура МАИ

Исходя из проведенного анализа существует 7 вариантов выбора PLM-систем.

- V1 – Союз PLM
- V2 – IPS
- V3 – T-Flex PLM
- V4 – Система «Цифровое Предприятие»
- V5 – Лоцман PLM
- V6 – Крок КСЭД
- V7 – Appius-PLM

Необходимо установить множество критериев для предприятия радиоэлектронного профиля:

- K1 - Интеграция с программным обеспечением;
- K2 - Работа в распределенном режиме;
- K3 – Наличие системы CRM;
- K4 – Наличие Workflow;
- K5 – Организация хранения данных;
- K6 – Операционная система;
- K7 – Защищенность передачи данных;
- K8 – Языки программирования;
- K9 – Полнота функциональных назначений;
- K10 – Стоимость покупки и эксплуатации;
- K11 – Зависимость от зарубежного ПО;
- K12 – Сопровождение в эксплуатации.

Матрица парных сравнений критериев приведена в табл. 3, матрица веса альтернатив – в табл. 4. Интегральные оценки приоритетов PLM-систем приведены на рис. 4.

Таблица 3

Матрица парных сравнений критериев

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12
K1	1,000	3,000	7,000	5,000	1,000	3,000	1,000	3,000	1,000	5,000	3,000	3,000
K2	0,333	1,000	5,000	3,000	0,333	1,000	0,333	1,000	0,333	3,000	1,000	1,000
K3	0,143	0,200	1,000	0,333	0,143	0,200	0,143	0,200	0,143	0,333	0,200	0,200
K4	0,200	0,333	3,000	1,000	0,200	0,333	0,200	0,333	0,200	1,000	0,333	0,333
K5	1,000	3,000	7,000	5,000	1,000	3,000	1,000	3,000	1,000	5,000	3,000	3,000
K6	0,333	1,000	5,000	3,000	0,333	1,000	0,333	1,000	0,333	3,000	1,000	1,000
K7	1,000	3,000	7,000	5,000	1,000	3,000	1,000	3,000	1,000	5,000	3,000	3,000
K8	0,333	1,000	5,000	3,000	0,333	1,000	0,333	1,000	0,333	3,000	1,000	1,000
K9	1,000	3,000	7,000	5,000	1,000	3,000	1,000	3,000	1,000	5,000	3,000	3,000
K10	0,200	0,333	3,000	1,000	0,200	0,333	0,200	0,333	0,200	1,000	0,333	0,333
K11	0,333	1,000	5,000	3,000	0,333	1,000	0,333	1,000	0,333	3,000	1,000	1,000
K12	0,333	1,000	5,000	3,000	0,333	1,000	0,333	1,000	0,333	3,000	1,000	1,000

Таблица 4

Матрица веса альтернатив

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12
B1	0,133	0,059	0,067	0,159	0,065	0,065	0,077	0,057	0,050	0,200	0,067	0,067
B2	0,133	0,176	0,200	0,159	0,065	0,065	0,077	0,364	0,137	0,200	0,067	0,200
B3	0,342	0,176	0,200	0,159	0,065	0,159	0,077	0,061	0,351	0,067	0,333	0,200
B4	0,049	0,176	0,200	0,159	0,384	0,385	0,231	0,252	0,137	0,067	0,333	0,067
B5	0,176	0,176	0,067	0,159	0,179	0,065	0,231	0,150	0,137	0,067	0,067	0,200
B6	0,046	0,059	0,200	0,048	0,179	0,181	0,231	0,057	0,050	0,200	0,067	0,067
B7	0,119	0,176	0,067	0,159	0,065	0,079	0,077	0,057	0,137	0,200	0,067	0,200



Рис. 4. Интегральные оценки приоритетов PLM-систем

На основе анализа делаем вывод, что наиболее предпочтительными PLM-системами для предприятий радиоэлектронного профиля будут:

- 1) Система «Цифровое Предприятие»;
- 2) T-Flex PLM;
- 3) ЛОЦМАН PLM.

Выводы. Представленные системы дают возможность «запустить» процесс цифровой трансформации предприятия, охватывая весь цикл изготовления изделия. Модули PLM-систем позволяют обрабатывать всю информацию согласно типовым бизнес-процессам. Но шаблоны и инструменты для их настройки в PLM-системах не позволяют в полной мере автоматизировать бизнес-процессы в режиме «как надо», так как не имеют на данный момент достаточно гибкого функционала для создания прикладных приложений (модулей) для автоматизации требуемых бизнес-процессов. На рынке ПО одним из трендов разработки становится создание low-code платформ-конструкторов, которые дополняют PLM-системы, позволяющие решить данную проблему.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Томас Сибел. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху. – М.: Изд-во «МИФ», 2020.
2. Ераскин Н.Г., Иванова М.А., Салтыкова Н.В. Внедрение концепции PLM на предприятии // Молодой ученый. – 2021. – № 2. – С. 14-17.
3. Воронин П.А., Белевцев А.М., Епанешникова И.К., Садреев Ф.Г. Разработка общих процедур интеграции информационного взаимодействия plm-систем и low-code платформ-конструкторов // Всероссийская научно-практическая конференция молодых специалистов «Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста». – 2021.

4. *Бутусов Н.О., Буза М.Н., Алехин А.Г.* Разработка автоматизированной системы управления производством дискретного типа // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2022.
5. *Капустина А.И.* Интеграция систем программного и математического обеспечения для моделирования и исследования автоматизированных систем управления // ЭНЕРГИЯ-2021: Шестнадцатая всероссийская (восьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6 т. Иваново, 2021.
6. *Якубова В.А.* Исследование процессов взаимодействия с потребителями в рамках CRM-системы предприятия по производству и реализации мебельных изделий // Студенческий вестник. – 2022.
7. *Ифанов А.В., Полтавцев А.А.* Технологии workflow в создании распределенных систем обработки заказов // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XXI Международной научно-технической конференции. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2021.
8. *Кулаченко И.А.* Системы информационной защиты при передаче данных. – Научно-исследовательский центр "Вектор развития", 2022.
9. *Власенко А.Н., Александрова С.С., Садреев Ф.Г., Воронин П.А.* Автоматизация создания инженерных учебных webgl приложений // Тр. Международной конференции по компьютерной графике и зрению "Графикон". – 2021.
10. *Логинов И.В.* Диагностирование функциональной пригодности развивающихся многофункциональных автоматизированных систем на основе перестраиваемой модели // Программные продукты и системы. – 2022. – Т. 35, № 2. – С. 195-207.
11. *Синицына Е.В., Гусев А.А.* Проблема импортозамещения в сфере микроэлектроники и создания российского аппаратного обеспечения // Вестник Института мировых цивилизаций. – 2022.
12. *Хан В.Л.* Сопровождение систем автоматизации программного обеспечения // Перспективы развития информационных технологий. – 2011. – № 3-2. – С. 152-156.
13. ЛОЦМАН: PLM – Аскон. – URL: <https://ascon.ru/>.
14. T-Flex PLM – «ТОП Системы». – URL: <https://www.tflex.ru/plm/>.
15. Союз-PLM – Програмсоюз. – URL: <http://www.programsoyuz.ru/products/system-soyuz-plm/>.
16. IPS – Интермех. – URL: https://intermech.ru/ips_product.html.
17. КСЭД – КРОК. – URL: <https://www.croc.ru/business-solutions/content-management-and-workflow/>.
18. Аппиус – ГК Аппиус. – URL: <https://www.appius.ru/>.
19. Система полного жизненного цикла. – URL: <https://nnov.hse.ru/mirror/pubs/share/226534016>.
20. Система «Цифровое предприятие». – URL: <https://цифровоепредприятие.рф>.
21. *Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Бендерский Г.П.* Прикладные методы оценки и выбора решений в стратегических задачах инновационного менеджмента. – М.: Дашков и К, 2014. – 240 с.

REFERENCES

1. *Tomas Sibel.* Tsifrovaya transformatsiya. Kak vyzhit' i preuspet' v novuyu epokhu [Digital transformation. How to survive and succeed in the new era]. Moscow: Izd-vo «MIF», 2020.
2. *Eraskin N.G., Ivanova M.A., Saltykova N.V.* Vnedrenie kontseptsii PLM na predpriyatii [Introduction of the PLM concept at the enterprise], *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2021, No. 2, pp. 14-17.
3. *Voronin P.A., Belevtsev A.M., Epaneshnikova I.K., Sadreev F.G.* Razrabotka obshchikh protsedur integratsii informatsionnogo vzaimodeystviya plm-sistem i low-code platform-konstruktorov [Development of common procedures for the integration of information interaction between PLM systems and low-code design platforms], *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh spetsialistov «Sistemy upravleniya polnym zhiznennym tsiklom vysokotekhnologichnoy produktsii v mashinostroenii: novye istochniki rosta»* [All-Russian Scientific and Practical conference of young specialists "Management systems for the full life cycle of high-tech products in mechanical engineering: new sources of growth"], 2021,
4. *Butusov N.O., Buza M.N., Alekhin A.G.* Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy upravleniya proizvodstvom diskretnogo tipa [Development of an automated production management system of discrete type], *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Izvestiya Volgograd State Technical University], 2022.

5. *Kapustina A.I.* Integratsiya sistem programmno i matematicheskogo obespecheniya dlya modelirovaniya i issledovaniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya [Integration of software and mathematical support systems for modeling and research of automated control systems], *ENERGIYA-2021: S Hestmadtsataya vserossiyskaya (vos'maya mezhdunarodnaya) nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [ENERGIA-2021: The sixteenth All-Russian (eighth International) Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists]. In 6 vol. Ivanovo, 2021.
6. *Yakubova V.A.* Issledovanie protsessov vzaimodeystviya s potrebitelyami v ramkakh CRM-sistemy predpriyatiya po proizvodstvu i realizatsii mebel'nykh izdeliy [Research of the processes of interaction with consumers within the CRM system of the enterprise for the production and sale of furniture products], *Studencheskiy vestnik* [Student Bulletin], 2022.
7. *Ifanov A.V., Poltavtsev A.A.* Tekhnologii workflow v sozdanii raspredelennykh sistem obrabotki zakazov [Workflow technologies in the creation of distributed order processing systems], *Problemy informatiki v obrazovanii, upravlenii, ekonomike i tekhnike: Sb. statey XXI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Problems of informatics in education, management, economics and technology: Collection of articles of the XXI International Scientific and Technical Conference]. Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy universitet, 2021.
8. *Kulachenko I.A.* Sistemy informatsionnoy zashchity pri peredache dannykh [Information security systems for data transmission]. Nauchno-issledovatel'skiy tsentr "Vektor razvitiya", 2022.
9. *Vlasenko A.N., Aleksandrova S.S., Sadreev F.G., Voronin P.A.* Avtomatizatsiya sozdaniya inzhenernykh uchebnykh webgl prilozheniy [Automating the creation of engineering educational webgl applications], *Tr. Mezhdunarodnoy konferentsii po komp'yuternoy grafike i zreniyu "Grafikon"* [Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Vision "Graphicon"], 2021.
10. *Loginov I.V.* Diagnostirovanie funktsional'noy prigodnosti razvivayushchikhsya mnogo-funktsional'nykh avtomatizirovannykh sistem na osnove perestraivaemoy modeli [Diagnosing the functional suitability of developing multi-functional automated systems based on a tunable model], *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems], 2022, Vol. 35, No. 2, pp. 195-207.
11. *Sinitsyna E.V., Gusev A.A.* Problema importozameshcheniya v sfere mikroelektroniki i sozdaniya rossiyskogo apparatnogo obespecheniya [The problem of import substitution in the field of microelectronics and the creation of Russian hardware], *Vestnik Instituta mirovykh tsivilizatsiy* [Bulletin of the Institute of World Civilizations], 2022.
12. *Khan V.L.* Soprovozhdenie sistem avtomatizatsii programmno obespecheniya [Maintenance of software automation systems], *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologiy* [Prospects for the development of information technologies], 2011, No. 3-2, pp. 152-156.
13. LOTSMAN: PLM – Askon [PILOT: PLM – Askon]. Available at: <https://ascon.ru/>.
14. T-Flex PLM – «TOP Sistemy» [T-Flex PLM – "TOP Systems"]. Available at: <https://www.tfex.ru/plm/>.
15. Soyuz-PLM – Programsoyuz [Union-PLM – Program Union]. Available at: <http://www.programsoyuz.ru/products/system-soyuz-plm/>.
16. IPS – Intermech [IPS – Intermech]. Available at: https://intermech.ru/ips_product.html.
17. KSED – KROK [CSED – CROC]. Available at: <https://www.croc.ru/business-solutions/content-management-and-workflow/>.
18. Appius – GK Appius [Appius – GC Appius]. Available at: <https://www.appius.ru/>.
19. Sistema polnogo zhiznennogo tsikla [A full life cycle system]. Available at: <https://nnov.hse.ru/mirror/pubs/share/226534016>.
20. Sistema «Tsifrovoe predpriyatie» [The Digital Enterprise system]. Available at: <https://tsifrovoepredpriyatie.rf>.
21. *Balyberdin V.A., Belevtsev A.M., Benderskiy G.P.* Prikladnye metody otsenki i vybora resheniy v strategicheskikh zadachakh innovatsionnogo menedzhmenta [Applied methods of evaluation and choice of solutions in strategic tasks of innovation management]. Moscow: Dashkov i K, 2014, 240 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. К.Н. Климов.

Воронин Павел Александрович – Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); e-mail: heyholyrampage@yandex.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79857048284; ассистент.

Белевцев Андрей Михайлович – e-mail: ambelevtsev@yandex.ru; тел.: +79037691788; д.т.н.; профессор.

Садреев Фарид Гайнутдинович – e-mail: sadreevfg@yandex.ru; тел.: +79773635011; к.т.н.; доцент.

Voronin Pavel Aleksandrovich – Moscow Aviation Institute (National Research University); e-mail: heyholyrampage@yandex.ru; Moscow, Russia; phone: +79857048284; assistant;

Belevtsev Andrey Michailovitch – e-mail: ambelevtsev@yandex.ru; phone: +79037691788; dr. of eng. sc.; professor.

Sadreev Farid Gainutdinovich – e-mail: sadreevfg@yandex.ru; phone: +79773635011; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 007.519.816

DOI 10.18522/2311-3103-2022-4-15-29

Е.М. Герасименко, В.В. Курейчик, С.И. Родзин, А.П. Кухаренко

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОБ ЭВАКУАЦИИ ПРИ НАВОДНЕНИИ*

Речь идет о стихийных бедствиях, таких как наводнение, которые можно спрогнозировать за несколько часов до того, как они произойдут, чтобы можно было организовать эвакуацию населения. Эвакуация означает, что люди в районах бедствия должны покинуть эти районы и добраться до укрытий или убежищ. Представлен анализ процесса принятия решения об эвакуации, основные критерии, определяющие решение и основные этапы применения нечеткой логики для принятия решения об эвакуации на основе качественных и количественных значений критериев принятия решения. Эти этапы включают выбор критериев, определение качественных входных и выходных переменных, фаззификацию переменных, определение базы нечетких правил, построение нечеткого вывода, визуализацию результатов и анализ чувствительности. При моделировании учитывались следующие критерии: прогнозируемый уровень наводнения, уровень опасности, уязвимость района предполагаемого наводнения и возможность безопасной эвакуации. Прогнозируемый уровень наводнения основывался на параметрах максимального уровня и скорости подъема воды. Уровень опасности отражал физические характеристики наводнения и его потенциальное воздействие на безопасность людей в районе наводнения. Уязвимость района предполагаемого наводнения определялась как неспособность на местном уровне предотвратить непосредственный контакт людей с наводковыми водами во время события. Возможность безопасной эвакуации определялась как множество ограничений и потенциальных негативных аспектов, которые могут задержать или помешать успешному проведению эвакуации. Представлено описание качественных переменных критериев принятия решения о необходимости эвакуации, примеры определения базы нечетких правил. Нечеткая модель реализована с помощью Matlab Fuzzy Logic Toolbox. Описана процедура нечеткого вывода и интерпретации решения и модель нескольких сценариев и ситуаций наводнения. Рассмотрен способ, с помощью которого нечеткая модель принятия решения об эвакуации может быть применена в сочетании с геоинформационной системой. Представлены действия, связанные с необходимостью эвакуации для различных сценариев и обстоятельств.

Принятие решений, эвакуация, чрезвычайная ситуация, факторы неопределенности, нечеткая логика, «мягкие» вычисления.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10121, <https://rscf.ru/project/22-71-10121/> в Южном федеральном университете.