

DOI: 10.15593/2499-9873/2021.1.03

УДК 004.9:66.025

А.В. Николин, Е.Р. Мошев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫБОРОМ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Посвящена теме автоматизации управления процессом выбора или определения технологических и конструктивных характеристик предохранительных клапанов, устанавливаемых на технологическое оборудование химических производств с целью обеспечения их промышленной безопасности.

Целью работы являлась разработка моделей и алгоритмов, позволяющих автоматизировать определение указанных выше характеристик. Сформулированы задачи, необходимые для достижения поставленной цели.

Использованы методы системного анализа и теории искусственного интеллекта, а также методология структурного анализа и проектирования, функционального моделирования, модульного и объектно-ориентированного программирования.

Осуществлен анализ научно-технической литературы по теме исследования. В результате проведенного анализа не были выявлены модели и алгоритмы, позволяющие автоматизировать определение указанных выше характеристик.

С помощью системного подхода выполнен анализ процесса определения характеристик предохранительных клапанов как объекта компьютеризации. В результате анализа установлено, что указанный процесс содержит эвристические знания и может быть формализован с помощью методов теории искусственного интеллекта.

С применением методологии структурного анализа и проектирования, функционального моделирования, а также основных принципов системного анализа разработана логико-информационная модель определения технологических и конструктивных характеристик предохранительных клапанов как организационно-технологического процесса.

С помощью методов теории искусственного интеллекта разработаны производственные модели представления знаний о предохранительных клапанах; газах, используемых в химической промышленности; расчетных коэффициентах, необходимых для определения искомых характеристик предохранительных клапанов.

Разработаны эвристическо-вычислительные алгоритмы определения технологических и конструктивных характеристик предохранительных клапанов, включая номинальное давление клапана, наибольшее избыточное давление за клапаном, возможные значения номинального давления выходного патрубка, эффективную площадь «седла» клапана.

Разработанные модели и алгоритмы предполагается применить для создания проблемно-ориентированной системы, которая обеспечит определение технологических и конструктивных характеристик предохранительных клапанов в автоматизированном режиме, что значительно сократит затраты времени на осуществление процедуры выбора марки предохранительного клапана, соответствующей требованиям промышленной безопасности, а также повысит качество выполнения этой процедуры. Практическое применение созданной проблемно-ориентированной системы позволит повысить экономическую эффективность и промышленную безопасность эксплуатации химических производств в целом.

Разработанные модели и алгоритмы могут также быть использованы в качестве примеров при решении вопросов автоматизации определения характеристик предохранительных клапанов в других отраслях промышленности.

Ключевые слова: системный подход, теория искусственного интеллекта, логико-информационная модель, предохранительный клапан, аварийный расход, давление настройки предохранительного клапана, методология SADT, функциональная модель, производственная модель, эвристическо-вычислительный алгоритм, проблемно-ориентированная система.

A.V. Nikolin, E.R. Moshev

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

MODELS AND ALGORITHMS TO CONTROL THE SELECTION OF RELIEF VALVES FOR CHEMICAL PRODUCTION EQUIPMENT

The article is devoted to the topic of automation of control of the selection process or determination of the technological and structural characteristics of safety valves installed on the technological equipment of chemical plants to ensure their industrial safety.

The purpose of the work was to develop models and algorithms that allow automating the determination of the above characteristics. The tasks necessary to achieve this goal have been formulated.

The methods of systems analysis and the theory of artificial intelligence, as well as the methodology of structural analysis and design, functional modeling, modular and object-oriented programming, are used.

The analysis of scientific and technical literature on the research topic is carried out. As a result of the analysis, no models and algorithms were identified that would automate the determination of the above characteristics.

Using a systematic approach, the analysis of the process of defining the characteristics of safety valves as an object of computerization is carried out. As a result of the analysis, it was found that this process contains heuristic knowledge and can be formalized using the methods of the theory of artificial intelligence.

Using the methodology of structural analysis and design, functional modeling, as well as the basic principles of system analysis, a logical-informational model for determining the technological and structural characteristics of safety valves as an organizational and technological process has been developed.

Using the methods of the theory of artificial intelligence, production models have been developed for representing knowledge about safety valves; gases used in the chemical industry; design factors required to determine the desired characteristics of the safety valves.

Heuristic-computational algorithms have been developed for determining the technological and design characteristics of safety valves, including the nominal pressure of the valve, the highest overpressure downstream of the valve, possible values of the nominal pressure of the outlet pipe, and the effective area of the valve "seat".

The developed models and algorithms are supposed to be applied to create a problem-oriented system that will ensure the determination of the technological and structural characteristics of safety valves in an automated mode, which will significantly reduce the time spent on the procedure for selecting a brand of safety valve that meets industrial safety requirements and will also improve the quality of this procedure. ... The practical application of the created problem-oriented system will increase the economic efficiency and industrial safety of the operation of chemical plants in general.

The developed models and algorithms can also be used as examples in solving the problems of automation of determining the characteristics of safety valves in other industries.

Keywords: a systems approach, artificial intelligence theory, logical information model, safety valve, emergency flow, safety valve setting pressure, SADT methodology, functional model, production model, heuristic-computational algorithm, problem-oriented system.

Введение

С целью предотвращения аварийных ситуаций на оборудование и трубопроводы химических и смежных с ними производств устанавливают предохранительные клапаны (ПК) – арматурные элементы, пред-

назначенные для экстренного сброса рабочего давления в тех случаях, когда оно превысит величину, допустимую технологическим регламентом. Процесс выбора ПК включает определение их технологических и конструкционных характеристик (далее – характеристик). Определение характеристик должно осуществляться в строгом соответствии с требованиями промышленной безопасности и представляет собой сложную инженерно-техническую задачу [1], результаты решения которой зависят от химического состава, давления, температуры и объема рабочей среды, а также параметров и типа технологического процесса, протекающего в конкретном виде оборудования. Ввиду этого процесс выбора марок ПК бывает продолжительным по времени и требует выполнения как операций поиска и обработки большого количества технических данных, так и процедур принятия интеллектуальных решений [2, 3]. Существенно упростить и ускорить определение характеристик ПК возможно, если разработать и применить проблемно-ориентированную систему (ПОС) [4, 5]. Однако анализ научно-технических литературных источников не выявил моделей [6–11] и алгоритмов [12, 13], которые без существенной корректировки можно было бы использовать для разработки такой ПОС.

Исходя из сказанного выше, целью настоящего исследования являлась разработка моделей и алгоритмов, позволяющих автоматизировать выбор марок ПК в соответствии с требованиями правил промышленной безопасности.

Для достижения поставленной цели предстояло решить следующие задачи:

- осуществить анализ процесса выбора ПК как объекта компьютерного моделирования;
- разработать логико-информационную модель, формализующую выбор марки ПК как организационно-технологический процесс;
- разработать модели представления знаний о ПК, необходимые для автоматизации определения их характеристик;
- разработать алгоритмы, позволяющие с помощью созданных моделей автоматизировать процедуры выбора марок ПК.

Частично результаты решения этих задач, например разработка моделей представления знаний о ПК в виде продукционных правил, были даны в источнике [14]. В настоящей статье приведены результаты дальнейших исследований по теме управления выбором ПК.

1. Анализ процесса выбора предохранительных клапанов как объекта компьютерного моделирования

При анализе процесса выбора предохранительных клапанов была рассмотрена соответствующая нормативно-техническая документация¹ и научно-техническая литература. В результате анализа установлено, что выбор необходимой марки ПК включает следующие основные этапы [14]:

- расчет аварийного расхода рабочей среды – рабочего вещества, находящегося в аппарате или трубопроводе;
- расчет эффективной площади седла ПК;
- подбор требуемой марки ПК;
- расчет необходимого количества ПК.

Проведенный анализ показал, что наиболее сложным с точки зрения компьютерного моделирования является выполнение первого и второго этапов. Для первого этапа это обусловлено тем, что аварийный расход рабочей среды имеет сложные взаимосвязи с параметрами конкретного технологического процесса и его аппаратурного оформления, а также содержит специальные инженерно-технические расчеты, выполнение которых требует наличия хороших знаний по химической технологии. Сложность второго этапа обусловлена тем, что процедура определения эффективной площади седла ПК содержит не только операции поиска и обработки данных, но и, как уже упоминалось, принятия интеллектуальных решений. При этом установлено, что между характеристиками ПК и рабочей среды существуют зависимости, которые в большинстве случаев имеют дискретный характер. Анализ процедур определения характеристик ПК показал, что значительная часть указанных процедур может быть формализована с помощью методов теории искусственного интеллекта [2, 3], что позволяет автоматизировать их выполнение.

2. Логико-информационная модель процесса выбора предохранительных клапанов

В результате анализа этапов выбора ПК, выполненного с помощью системного подхода [15, 16], была разработана логико-

¹ ГОСТ 12.2.085–2002. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования по безопасности. М.: Изд-во стандартов, 2002; ГОСТ 31294–2005. Клапаны предохранительные прямого действия. Общие технические условия. Введ. 2008–10–01. М.: Изд-во стандартов, 2005; РД 51-0220570-2–93. Клапаны предохранительные. Выбор, установка и расчет. Введ. 1993–09–01.

информационная модель (ЛИМ), формализующая решение этой задачи как организационно-технологический процесс (рис. 1).

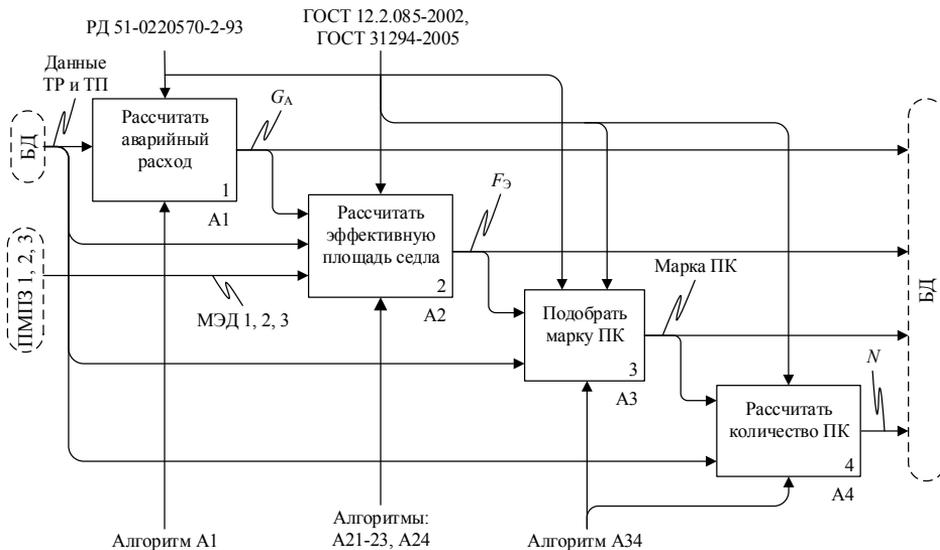


Рис. 1. Диаграмма верхнего уровня логико-информационной модели выбора предохранительных клапанов: ТР – технологический регламент; ТП – технический паспорт сосуда или трубопровода; G_A – аварийный расход рабочей среды; F_3 – эффективная площадь седла ПК; N – количество ПК; БД – база данных; МЭД 1, 2, 3 – массивы экспертных данных, номера которых соответствуют номерам продукционных моделей представления знаний – ПМПЗ 1, 2, 3; А1, А21–23, А24, А34 – алгоритмы реализации соответствующих функций

Указанные на рисунке продукционные модели представления знаний (ПМПЗ) были приведены авторами ранее в работе [14]. Разработка ЛИМ осуществлялась согласно методологии структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis & Design Technique). Выбор методологии SADT [17, 18] обусловлен тем, что она часто используется при разработке сложных систем и рассматривается как неотъемлемая составляющая CALS-технологий [19, 20]. В РФ одновременно с методологией SADT также используется ее аналог – методология функционального моделирования².

Разработанная ЛИМ отличается учетом сложных взаимосвязей между различными этапами определения характеристик ПК, а также связей

² Р50.1.028–2001. Методология функционального моделирования. Введ. 2001–07–02. М.: Госстандарт России, 2001.

с базами данных и знаний, что позволяет автоматизировать выполнение указанных в ней этапов, а также обеспечивает высокую скорость обмена информацией. В качестве примера детализации ЛИМ на рис. 2 представлена декомпозиция блока А2 диаграммы (см. рис. 1). В декомпозиции описаны взаимосвязи между различными функциями процедуры расчета эффективной площади седла, а также базами данных и знаний.

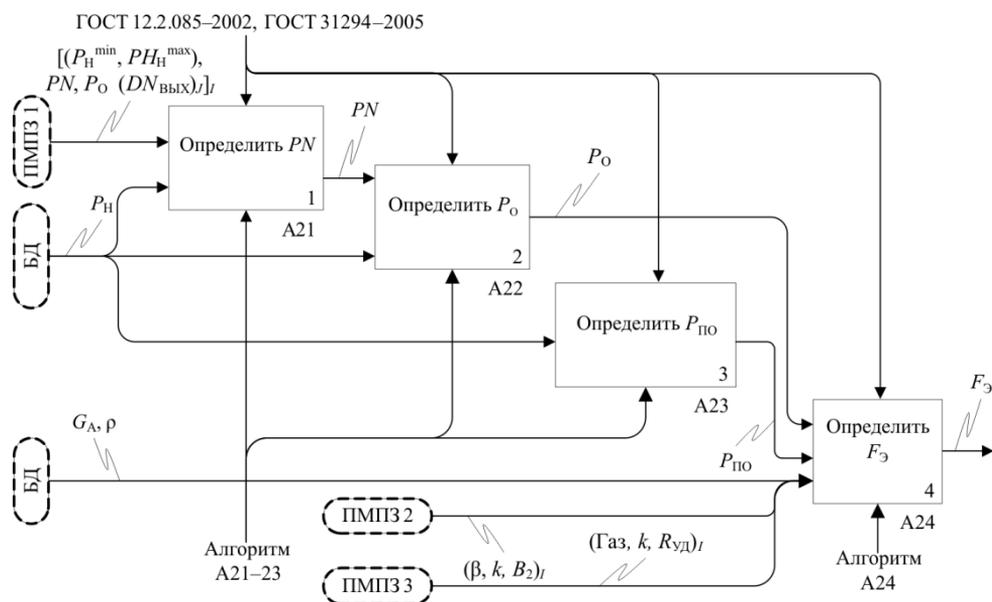


Рис. 2. Декомпозиция блока А2 диаграммы верхнего уровня логико-информационной модели: P_H – давление настройки клапана; P_H^{\min}, P_H^{\max} – минимальное и максимальное давление настройки; $D_{\text{вых}}$ – условный диаметр выходного патрубка; PN – номинальное давление ПК; P_0 – наибольшее избыточное давление за клапаном (избыточное давление за клапаном в положении его полного открытия); $P_{\text{ПО}}$ – наибольшее избыточное давление перед клапаном (избыточное давление до клапана, равное давлению полного открытия); β – отношение значений давления; B_2 – коэффициент для определения эффективной площади седла для газов и водяного пара; k – показатель адиабаты; $R_{уд}$ – газовая постоянная; ρ – плотность пара, газа или жидкости перед клапаном

3. Эвристическо-вычислительные алгоритмы выбора предохранительных клапанов

В качестве механизма реализации функций, указанных в блоках ЛИМ, были разработаны соответствующие эвристическо-вычислительные алгоритмы. На рис. 3 приведен алгоритм А21–23, который позволяет автоматизировать выполнение блоков А21, А22 и А23.

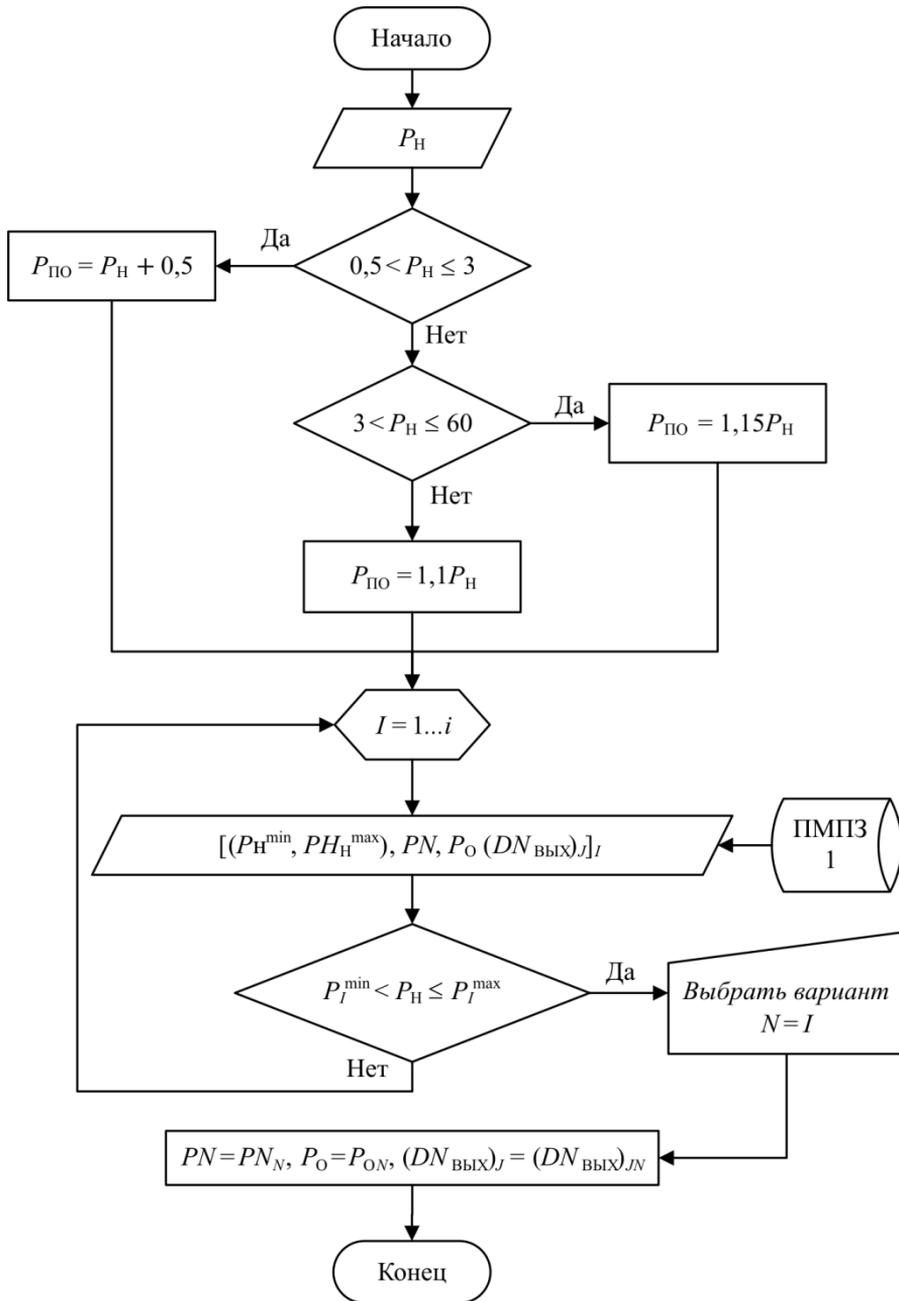


Рис. 3. Блок-схема эвристическо-вычислительного алгоритма определения характеристик ПК – А21–23: PN – номинальное давление; P_O – наибольшее избыточное давление за клапаном; $P_{ПО}$ – наибольшее избыточное давление перед клапаном; $(DN_{ВЫХ})_J$ – возможные значения номинального диаметра выходного патрубка; J – количество значений $DN_{ВЫХ}$ в строке ПМПЗ; i – количество строк в ПМПЗ

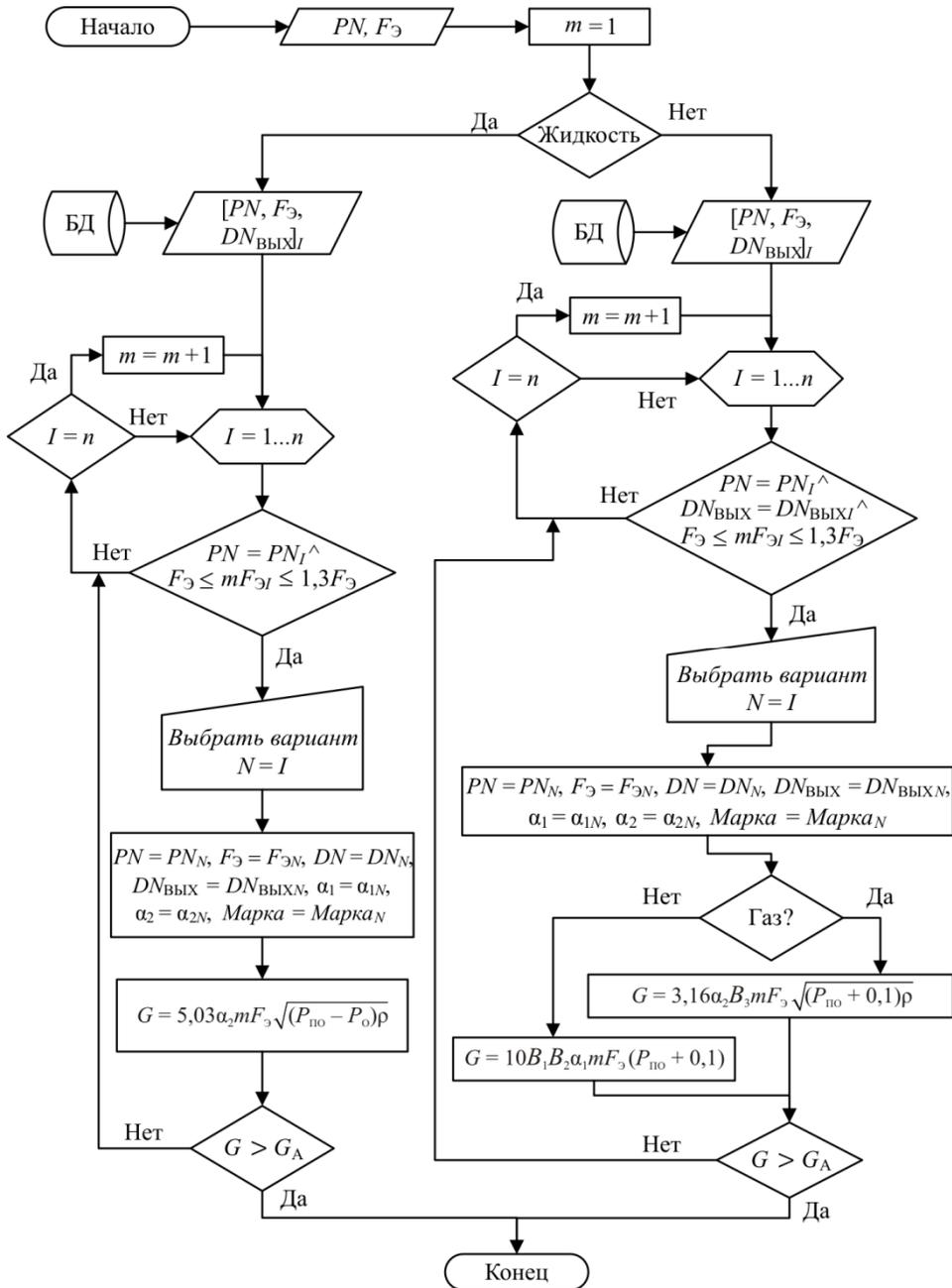


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения марки и количества ПК – А34: α_1 – коэффициент для расчет пропускной способности ПК, если среда – газ; α_2 – коэффициент для расчет пропускной способности ПК, если среда – жидкость; *Марка* – марка ПК; G – пропускная способность ПК; DN – номинальный диаметр ПК; J – количество значений $DN_{ВЫХ}$ в строке ПМПЗ; n – количество строк в БД; m – количество ПК

Представленный на рис. 3 алгоритм формализует процесс определения следующих характеристик ПК: номинальное давление PN ; наибольшее избыточное давление за клапаном P_0 , $P_{\text{ПО}}$ – наибольшее избыточное давление перед клапаном и возможные значения номинального диаметра выходного патрубка $DN_{\text{ВЫХ}}$. Алгоритм отличается тем, что с помощью заданной исходной характеристики давления настройки P_H и продукционных моделей представления знаний, приведенных в источнике [14], позволяет автоматизировать вычислительные и интеллектуальные процедуры принятия решений при определении характеристик ПК в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

На рис. 4 приведен пример алгоритма А34, позволяющего автоматизировать выполнение блоков А3 и А4 диаграммы верхнего уровня ЛИМ (см. рис. 1). Алгоритм (см. рис. 4) отличается тем, что с помощью исходных параметров (PN , $DN_{\text{ВЫХ}}$, F_3), а также баз знаний и данных позволяет автоматизировать вычислительные и интеллектуальные процедуры принятия решений при выборе марки и количества ПК в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Заключение

Таким образом, в результате настоящего исследования с помощью анализа нормативно-технической документации и научно-технической литературы, а также с использованием системного подхода к процессу определения характеристик, марок и количества ПК были разработаны:

- логико-информационная модель, отличающаяся тем, что формализует процедуру выбора предохранительных клапанов как организационно-технологический процесс и позволяет ее автоматизировать;
- эвристическо-вычислительные алгоритмы, отличающиеся тем, что с помощью технологических характеристик рабочей среды и продукционных моделей представления знаний позволяют автоматизировать определение характеристик, марок и количества ПК в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Разработанные модели и алгоритмы позволяют создать ПОС, применение которой сократит длительность процедур поиска и обработки необходимой информации, а также снизит количество субъективных ошибок, что повысит качество определения конструктивных и технологических характеристик ПК, а следовательно, промышлен-

ную безопасность и экономическую эффективность химических и смежных с ними производств в целом.

Список литературы

1. Horlacher H-B., Helbig U. Rohrleitungsplanung – Grundsätze, Vorschriften, Regelwerke // Rohrleitungen 1, Springer Reference Technik. – Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016. – P. 35–43. DOI 10.1007/978-3-642-39782-0_5
2. Wu D., Olson D.L., Dolgui A. Artificial intelligence in engineering risk analytics // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2017. – Vol. 65. – P. 433–435.
3. Russell S.J., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. – 3d ed. – Prentice Hall, New Jersey: Pearson education, 2010. – 1132 p.
4. Buldakova T.I., Suyatinov S.I. Assessment of the state of production system components for digital twins technology // Studies in Systems, Decision and Control. – 2020. – Vol. 259. – P. 253–262. DOI: 10.1007/978-3-030-32579-4_20
5. Moshev E., Meshalkin V., Romashkin M. Development of models and algorithms for intellectual support of life cycle of chemical production equipment // Studies in Systems, Decision and Control. – 2020. – Vol. 259. – P. 153–165. DOI: 10.1007/978-3-030-32579-4_12
6. Working mode in aircraft manufacturing based on digital coordination model / F. Guo, F. Zou, J. Liu, Z. Wang // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2018. – Vol. 98. – P. 1547–1571. DOI.ORG/10.1007/S00170-018-2048-0
7. Kim H., Han S. Interactive 3d building modeling method using panoramic image sequences and digital map // Multimedia Tools and Applications. – 2018. – Vol. 77. – P. 27387–27404. DOI: 10.1007/s11042-018-5926-4
8. Research on dynamic modeling and electromagnetic force centering of piston/piston rod system for labyrinth piston compressor / J. Cheng, X. Zeng, Z. Liu, X. Yu, Q. Feng // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I. Journal of Systems and Control Engineering. – 2016. – Vol. 230, iss. 8. – P. 786–798. DOI: 10.1177/0959651816655023
9. Comelli M., Gourgand M., Lemoine D. A review of tactical planning models // Journal of Systems Science and Systems Engineering. – 2008. – Vol. 17 (2). – P. 204–229. DOI: 10.1007/s11518-008-5076-8
10. Moshev E.R., Romashkin M.A. Development of a conceptual model of a piston compressor for automating the information support of dynamic equipment // Chemical and Petroleum Engineering. – 2014. – Vol. 49 (9–10). – P. 679–685. DOI: 10.1007/S10556-014-9818-9
11. Elena Nenni M. A cost model for integrated logistic support activities // Advances in Operations Research. – 2013. – Vol. 2013. – 6 p. – Art. 127497. DOI: 10.1155/2013/127497

12. Menshikov V., Meshalkin V., Obratsov A. Heuristic algorithms for 3D optimal chemical plant layout design // Proceedings of 19th International Congress of Chemical and Process Engineering (CHISA-2010) and the 7th European Congress of Chemical Engineering (ECCE-7), 28 August – 1 September 2010, Prague, Czech Republic. – Prague, 2010. – Vol. 4. – P. 1425–1430.

13. Lu J., Zhu Q., Wu Q. A novel data clustering algorithm using heuristic rules based on k-nearest neighbors' chain // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 72. – P. 213–227. DOI: 10.1016/j.engappai.2018.03.014

14. Николин А.В., Мошев Е.Р. Модели и алгоритмы выбора предохранительных клапанов нефтехимических производств // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф., г. Казань, 14–18 сентября 2020 г.: в 12 т. / под общ. ред. А.А. Большакова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2020. – С. 56–60.

15. Bertoni M., Bertoni A., Isaksson O. EVOKE: A value-driven concept selection method for early system design // Journal of Systems Science and Systems Engineering. – 2018. – Vol. 27 (1). – P. 46–77. DOI: 10.1007/s11518-016-5324-2

16. Martin P., Kolesár J. Logistic support and computer aided acquisition // Journal of Logistics Management. – 2012. – Vol. 1, iss. 1. – P. 1–5. DOI: 10.5923/j.logistics.20120101.01

17. Organizational and technological modeling of chemical process systems / B.B. Bogomolov, E.D. Bykov, V.V. Men'shikov [et al.] // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2017. – Vol. 51. – P. 238–246. DOI: 10.1134/S0040579517010043

18. Marca D.A. SADT/IDEF0 for augmenting UML, agile and usability engineering methods // Communications in Computer and Information Science. – 2013. – Vol. 303. – P. 35–38. DOI: 10.1007/978-3-642-36177-7_3

19. Meshalkin V.P., Moshev E.R. Modes of functioning of the automated system “pipeline” with integrated logistical support of pipelines and vessels of industrial enterprises // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2015. – Vol. 44. – P. 580–592. DOI: 10.3103/S1052618815070109

20. Moshev E.R., Meshalkin V.P. Computer based logistics support system for the maintenance of chemical plant equipment // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 48. – P. 855–863. DOI: 10.1134/S0040579514060074

References

1. Horlacher H-B., Helbig U. Rohrleitungsplanung – Grundsätze, Vorschriften, Regelwerke. Rohrleitungen 1, Springer Reference Technik, Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg, 2016, pp. 35–43. DOI 10.1007/978-3-642-39782-0_5

2. Wu D., Olson D.L., Dolgui A. Artificial intelligence in engineering risk analytics. *Engineering applications of artificial intelligence*, 2017, vol. 65, pp. 433–435. DOI 10.1016/j.engappai.2017.09.001

3. Russell S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Third Edition. Pearson education, New Jersey, 2010, 1132 p.

4. Buldakova T.I., Suyatinov S.I. Assessment of the State of Production System Components for Digital Twins Technology. *Studies in Systems, Decision and Control*, 2020, vol. 259, pp. 253–262, DOI 10.1007/978-3-030-32579-4_20

5. Moshev E., Meshalkin V., Romashkin M. Development of Models and Algorithms for Intellectual Support of Life Cycle of Chemical Production Equipment. *Studies in Systems, Decision and Control*, 2020, vol. 259, pp. 153–165, DOI 10.1007/978-3-030-32579-4_12

6. Guo F., Zou F., Liu J., Wang Z. Working mode in aircraft manufacturing based on digital coordination model. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 2018, vol. 98, pp. 1547–1571, DOI 10.1007/s00170-018-2048-0

7. Kim H., Han S. Interactive 3D building modeling method using panoramic image sequences and digital map. *Multimedia tools and applications*, 2018, vol. 77, pp. 27387–27404, DOI 10.1007/s11042-018-5926-4

8. Cheng J, Zeng X, Liu Z, Yu X, Feng Q. Research on dynamic modeling and electromagnetic force centering of piston/piston rod system for labyrinth piston compressor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 2016, vol. 230, iss. 8, pp. 786–798. DOI 10.1177/0959651816655023

9. Comelli M., Gourgand M., Lemoine D. A review of tactical planning models. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2008, vol. 17, pp. 204–229, DOI 10.1007/s11518-008-5076-8

10. Moshev E.R., Romashkin M.A. Development of a Conceptual Model of a Piston Compressor for Automating the Information Support of Dynamic Equipment. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2014, vol. 49(9-10), pp. 679–685, DOI 10.1007/s10556-014-9818-9

11. Elena Nenni M. A Cost model for integrated logistic support activities. *Advances in operations research*, 2013, vol. 2013, 6 p., art. 127497, DOI 10.1155/2013/127497

12. Menshikov V., Meshalkin V., Obratsov A. Heuristic algorithms for 3D optimal chemical plant layout design. *Proceedings of 19th International Congress of Chemical and Process Engineering (CHISA-2010) and the 7th European Congress of Chemical Engineering (ECCE-7)*; Vol. 4, 28 August–1 September 2010, Prague, Czech Republic, 2010, pp. 1425–1430.

13. Lu J., Zhu Q., Wu Q. A novel data clustering algorithm using heuristic rules based on k-nearest neighbors' chain. *Engineering applications of artificial intelligence*, 2018, vol. 72, pp. 213–227, DOI 10.1016/j.engappai.2018.03.014.

14. Nikolin A.V., Moshev E.R. Modeli i algoritmy vybora predokhranitel'nykh klapanov neftekhimicheskikh proizvodstv [Models and algorithms for selection of safety valves of petrochemical plants]. *Matematicheskie metody v*

tekhnikе i tekhnologiiakh: sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, 14 – 18 sentiabria 2020 g., Kazan', Rossiia: v 12 t. T. 4 [Proceedings of International Scientific Conference “Mathematical Methods in Technics and Technologies”, 14 – 18 September 2020, Kazan, Russia, Vol. 4]. Saint-Petersburg, Izdatel'stvo Politekhnicheskogo universiteta, 2020. – pp. 56–60.

15. Bertoni M., Bertoni A., Isaksson O. EVOKE: A value-driven concept selection method for early system design. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2018, vol. 27, pp. 46–77, DOI: 10.1007/s11518-016-5324-2

16. Martin P., Kolesár J. Logistic support and computer aided acquisition. *Journal of Logistics Management*, 2012, vol. 1, iss. 1, pp. 1–5, DOI 10.5923/j.logistics.20120101.01.

17. Bogomolov B.B., Bykov E.D., Men'shikov V.V., Zubarev A.M. Organizational and technological modeling of chemical process systems. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2017, vol. 51, pp. 238–246, DOI: 10.1134/S0040579517010043

18. Marca D.A. SADT/IDEF0 for Augmenting UML, Agile and Usability Engineering Methods. *Communications in Computer and Information Science*, 2013, vol. 303, pp. 38–35, DOI: 10.1007/978-3-642-36177-7_3

19. Meshalkin V.P., Moshev E.R. Modes of functioning of the automated system “pipeline” with integrated logistical support of pipelines and vessels of industrial enterprises. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2015, vol. 44, pp. 580–592, DOI: 10.3103/S1052618815070109

20. Moshev E.R., Meshalkin V.P. Computer Based Logistics Support System for the Maintenance of Chemical Plant Equipment. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2014, vol. 48, pp. 855–863, DOI: 10.1134/S0040579514060074

Статья получена: 04.02.2021

Статья принята: 25.02.2021

Сведения об авторах

Николин Александр Владимирович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: aletrof@mail.ru).

Мошев Евгений Рудольфович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Оборудование и автоматизация химических производств», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: erm@pstu.ru).

About the authors

Aleksandr V. Nikolin (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: aletrof@mail.ru).

Evgeny R. Moshev (Perm, Russian Federation) – Dr. Habil. in Engineering, Associate Professor, Head of Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: erm@pstu.ru).

Библиографическое описание статьи согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018:

Николин, А.В. Модели и алгоритмы управления выбором предохранительных клапанов для оборудования химических производств / А. В. Николин, Е. Р. Мошев. – текст : непосредственный. – DOI 10.15593/2499-9873/2021.1.03 // Прикладная математика и вопросы управления = Applied Mathematics and Control Sciences. – 2021. – № 1. – С. 43–56.

Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Николин А.В., Мошев Е.Р. Модели и алгоритмы управления выбором предохранительных клапанов для оборудования химических производств // Прикладная математика и вопросы управления. – 2021. – № 1. – С. 43–56. – DOI: 10.15593/2499-9873/2021.1.03

Цитирование статьи в references и международных изданиях:

Cite this article as:

Nikolin A.V., Moshev E.R. Models and algorithms to control the selection of relief valves for chemical production equipment. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2021, no. 1, pp. 43–56. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.1.03 (*in Russian*)