

УДК 51-7:004.92:519.6

Е. В. Перинская

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Донецкий национальный технический университет»
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА В СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТОВ КОНВЕКТИВНОГО ТИПА

E. V. Perinskaya

State Educational Institution of Higher Professional Education «Donetsk National Technical University»
83001, Donetsk, st. Artema, 58

MATHEMATICAL MODELS AND SOFTWARE IN THE CONVECTIVE TYPE APPARATUS DESIGN SYSTEM

В статье рассматривается задача формирования математической базы системы автоматизированного проектирования аппаратов, реализующих технологию динамической конвекции. В основу математических моделей положены уравнения в частных производных, описывающие физику процесса. Для реализации алгоритмов численного решения уравнений разрабатывается комплекс компьютерных программ.

Ключевые слова: математическая модель, процесс, алгоритм, система, проект.

The article considers the problem of forming the mathematical base of the automated design system for apparatuses implementing the technology of dynamic convection. The mathematical models are based on partial differential equations that describe the physics of the process. To implement algorithms for the numerical solution of equations, a set of computer programs is being developed

Key words: mathematical model, process, algorithm, system, project.

Введение

На современном этапе дальнейшее развитие науки и техники немислимо без всесторонней информатизации и автоматизации процессов. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании новых и модификации используемых устройств и процессов. Традиционные методы расчета параметров и проектирования носят экстенсивный характер, они были эффективны до определенного момента – момента так называемого «насыщения», когда на первый план выдвигается необходимость перехода к интенсивным методам проектирования [1], [2].

С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного проектирования технологических схем, призванная повысить качество проектов за счет эффективного применения компьютерных технологий для реализации трудоемких рутинных функций [3-5].

Актуальность работы. Применяемые на практике аппараты конвективного типа обладают рядом недостатков, что определяет необходимость дальнейших исследований процесса и реконструкции оборудования. Реконструкция аппарата требует соответствующего обоснования, что вызывает необходимость теоретических и экспериментальных исследований.

Одним из наиболее эффективных методов исследования процесса является метод математического моделирования, позволяющий получить с помощью компьютера достаточно широкий набор данных о реконструируемом объекте без проведения долговременных и дорогостоящих натурных исследований [6], [7].

С другой стороны, в процессе проектирования регулярно возникает необходимость дополнительной проверки принимаемых решений, для чего в систему автоматизированного проектирования обязательно включается модельная база и комплекс программных средств.

В данной статье рассматривается задача исследования математических моделей и программных средств их реализации.

В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование направления формирования модельной базы и программных средств системы автоматизированного проектирования (САПР) аппаратов конвективного типа.

Основное содержание работы

Процесс проектирования включает ряд этапов, в том числе рассмотрение и оценка вариантов проектов, обоснование и верификация принимаемых проектных решений. По мере усложнения технологий, расширения числа возможных вариантов проектов возникает необходимость автоматизации процесса проектирования с применением методов математического моделирования и компьютерных технологий.

Теоретическую основу системы составляет пакет математических моделей, имитирующих процесс функционирования оборудования [8-10].

На основании построенной математической модели могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования.

Аппроксимация расчетных соотношений основывается на линеаризации и максимальном упрощении уравнений, описывающих процесс.

На рис. 1 приведена функционально-логическая схема САПР.

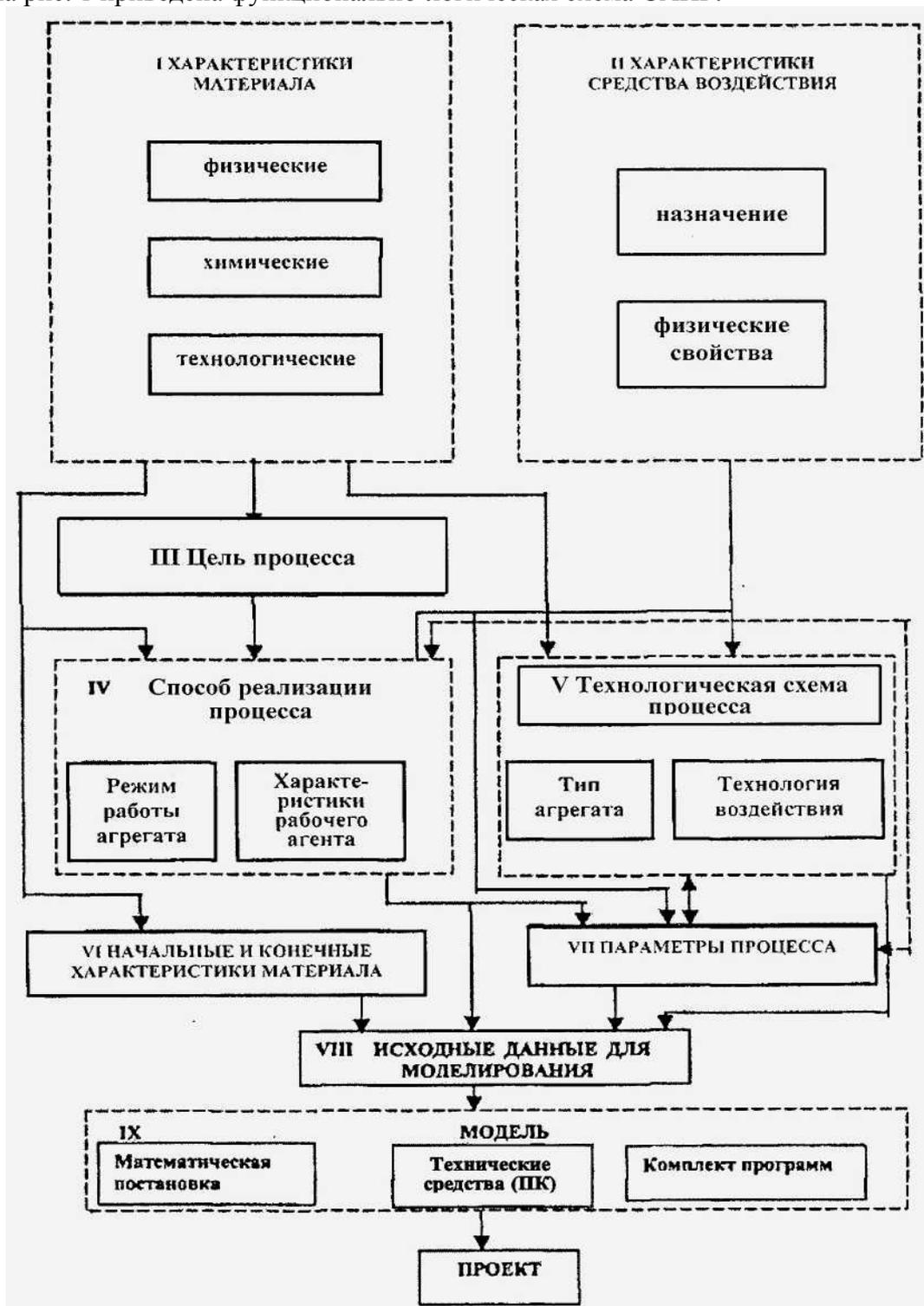


Рисунок 1 – Функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования технологических схем

Рассмотрим структуру модельной базы и соответствующего программного обеспечения САПР.

Описание программ

1. Модель (1-D).

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = -V_x \cdot \frac{1}{l} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{D_L}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + f(x, t)$$

$$f(x, t) = \frac{Q_1(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + Q_2 C_5 - QC}{V}$$

$$C_x(0, t) = C_x(l, t) = 0$$

$$C(0, x) = C_0 = 40.$$

2. Модель (2-D), программа SILITE.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_R \cdot \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{D_R}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} + D_R \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{Q_1(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + Q_2 C_5 - QC}{V}$$

$$C_r(0, t) = C_r(R, t) = 0$$

$$C(r, 0) = 40.$$

3. Модель (2-Dcyl)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_z(r, z) \cdot \frac{\partial C}{\partial z} - V_r(r, z) \cdot \frac{\partial C}{\partial r} + D_L \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + D_R \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} +$$

$$+ \frac{Q_1}{V} \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + \frac{Q_2}{V} \cdot C_5 - \frac{Q}{V} \cdot C$$

$$C(0, r, z) = 40.$$

$$C_z(t, r, 0) = C_z(t, r, 20) = 0$$

$$C_r(t, 0, z) = C_r(t, 10, z) = 0$$

$$V_z = -0,005; \quad V_r = 0,05; \quad D_L = D_R = 0,005; \quad Q_1 = 25;$$

$$Q_2 = 40; \quad C_1 = 185,3; \quad C_2 = 20,6; \quad C_3 = 57,3;$$

$$C_4 = 2,5; \quad C_5 = 210; \quad V = 6300; \quad Q = Q_1 + Q_2.$$

4. Модель (2-Dxy)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} + D_L \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_H \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} +$$

$$+ \frac{Q_1}{V} \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + \frac{Q_2}{V} \cdot C_5 - \frac{Q}{V} \cdot C;$$

$$-l < x < l;$$

$$-h < y < h;$$

$$0 < t < T;$$

$$C(0, x, y) = 40;$$

$$C_x(t, \pm l, 0) = 0;$$

$$C_y(t, x, \pm h) = 0.$$

$$\vec{V} = V_x \cdot \vec{i} + V_y \cdot \vec{j}$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y'^2} = \frac{\omega}{x'^2 + y'^2}$$

На рис. 2 приведена обобщенная блок-схема.

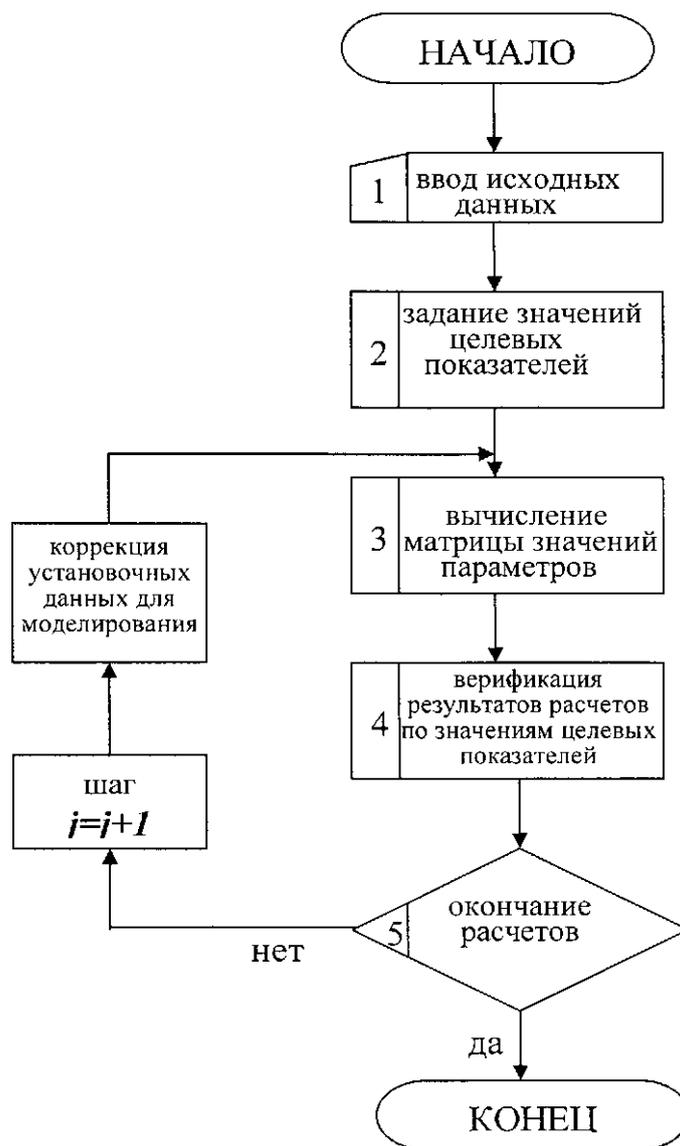


Рисунок 2 – Обобщенная блок-схема алгоритма численной реализации моделей

На рис. 3 приведены результаты для трех вариантов.

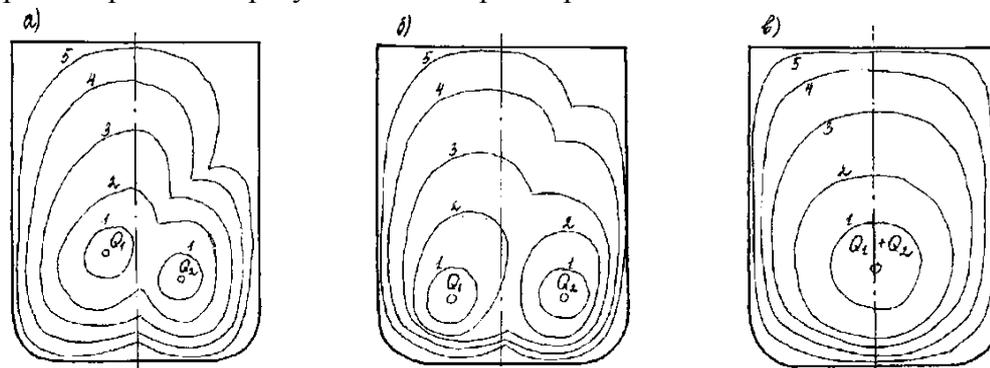


Рисунок 3 – Результаты моделирования:

а) случайное расположение; б) симметричные координаты; в) расположение в общей точке

Предложенные модели и методы их реализации позволяют проводить численное моделирование процессов и решать задачи совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров.

К достоинствам данного метода следует отнести возможность широкой вариации параметров без проведения физических и натуральных экспериментов, что удешевляет и ускоряет процесс проектирования новой аппаратуры.

Как результат работы блока получают значения указанных параметров и вычисляются все другие величины, характеризующие показатели работы установки.

Таким образом, разработана структура системы автоматизированного проектирования специализированного оборудования для вспомогательного процесса получения сопутствующего материала при обогащении полезных ископаемых, разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения системы.

Основным преимуществом системы автоматизированного проектирования является то, что с ее помощью удастся получить достаточно полную информацию о различных вариантах проекта, при этом избежать массы рутинных операций и необходимости проведения значительного количества дорогостоящих экспериментов.

Выводы

Разработана функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса, на основании построенной математической модели разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения системы. По результатам исследований могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования.

С использованием разработанных критериев проведено исследование эффективности процесса в зависимости от параметров технологической схемы, результаты которых подтверждают ранее полученные данные математического моделирования.

Предложенные модели и методы их реализации позволяют проводить численное моделирование процессов и решать задачи совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров.

К достоинствам данного метода следует отнести возможность широкой вариации параметров без проведения физических и натуральных экспериментов, что удешевляет и ускоряет процесс проектирования новой аппаратуры.

Список литературы

1. Павлыш В. Н. Применение математического моделирования к исследованию параметров динамических процессов [Текст] / В. Н. Павлыш, Л. А. Лазебная, Е. В. Перинская // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров : сборник трудов VII Международной научно-методической конференции в городе Сусс (Тунис) с 08 по 17 октября 2013 г. – Донецк : ДонНТУ, 2013. – С. 184–188.
2. Павлыш В. Н. Основы теории и параметры технологии процессов гидропневматического воздействия на угольные пласты : монография [Текст] / В. Н. Павлыш, Ю. М. Штерн. – Донецк : ВИК, 2007. – 400 с.
3. Павлыш В. Н. Разработка системы автоматизированного проектирования технологических схем нагнетания жидкости в угольный пласт [Текст] / В. Н. Павлыш, О. В. Чеснокова // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк : ДонНТУ, 2003. – № 2. – С. 8–14.

4. Мороз О. К. управления процессом гидродинамической обработки угольного пласта [Текст] / О. К. Мороз, В. Н. Павлыш, М. З. Аль-Дахле // Матер. междунар. конф. «III школа геомеханики». – Польша, Гливице-Устронь, 1997. – Часть II. – С. 133–136.
5. Перинская Е. В. Математическое моделирование и автоматизация проектирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа [Текст] // Научный журнал «Информатика и кибернетика». – № 1(15). – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 21–27.
6. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых: монография [Текст] / В. Н. Павлыш, Е. И. Назимко, А. Н. Корчевский, Е. В. Перинская, Л. И. Серафимова, А. С. Голиков ; под общ. ред. проф. Павлыша В.Н. и проф. Назимко Е.И. – Донецк : ВИК, 2014. – 463 с.
7. Павлыш В. Н. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа [Текст] / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2015. – № 1(15). – С.89–98.
8. Павлыш В.Н. Разработка структуры системы автоматизированного проектирования специализированного оборудования конвективного типа [Текст] / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская, Г.И. Турчанин // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров : Сборник трудов IX Международной научно-методической конференции в городе Сухум с 01 – 09 октября 2016 г. – Донецк : МСМ, 2016. – С. 188–191.
9. Перинская Е. В. Применение метода вычислительного эксперимента к исследованию параметров конвективных процессов [Текст] / Е. В. Перинская // Проблемы искусственного интеллекта. – 2021. – № 3(22). – С. 57–65.
10. Перинская Е. В. Математические модели и вычислительные алгоритмы исследования конвективного процесса в неоднородной среде [Текст] / Е. В. Перинская // Проблемы искусственного интеллекта. – 2020. – № 2(17).

References

1. Pavlysh V.N., Lazebnaya L.A., Perinskaya E.V. Primeneniye matematicheskogo modelirovaniya k issledovaniyu parametrov dinamicheskikh protsessov [Application of mathematical modeling to the study of the parameters of dynamic processes] *Sovremennyye problemy tekhnosfery i podgotovki inzhenernykh kadrov : sbornik trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii v gorode Suss (Tunis) s 08 po 17 oktyabrya 2013 g.* [Modern problems of the technosphere and training of engineering personnel : Proceedings of the VII International scientific and methodological conference in the city of Sousse (Tunisia) from October 08 to October 17, 2013], Donetsk: DonNTU, 2013, p. 184-188.
2. Pavlysh V.N., Shtern Yu.M. *Osnovy teorii i parametry tekhnologii protsessov gidropnevmaticheskogo vozdeystviya na ugol'nyye plasty : monografiya* [Fundamentals of the theory and technology parameters of hydropneumatic impact on coal seams : Monograph, Donetsk, VIK, 2007, 400.
3. Pavlysh V.N., Chesnokova O.V. *Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo proyektirovaniya tekhnologicheskikh skhem nagnetaniya zhidkosti v ugol'nyy plast* [Development of a system for computer-aided design of technological schemes for injecting liquid into a coal seam], Donetsk, DonNTU, 2003, № 2, S. 8-14.
4. Moroz O.K., Pavlysh V.N., Al-Dakhle M.Z. upravleniya protsessom gidrodinamicheskoy obrabotki ugol'nogo plasta [Automation of control of the process of hydrodynamic treatment of a coal seam]. *Mater. mezhdunar. konf. «III shkola geomekhaniki»* [Mater. intl. conf. "III school of geomechanics"], Poland, Gliwice-Ustron, 1997, Part II, P.133-136.
5. Perinskaya E. V. Mathematical modeling and automation of the design of devices containing convective type units [Matematicheskoye modelirovaniye i avtomatizatsiya proyektirovaniya apparatov, sodержashchikh uzly konvektivnogo tipa] *Nauchnyy zhurnal «Informatika i kibernetika»* [scientific journal "INFORMATICS AND CYBERNETICS"], No. 1 (15), Donetsk: DonNTU, 2019, p.21-27
6. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov obogashcheniya poleznykh iskopayemykh: monografiya* [Mathematical modeling of mineral processing processes: monograph] / V.N. Pavlysh, E.I. Nazimko, A.N. Korchevsky, E.V. Perinskaya, L.I. Serafimova, A.S. Golikov ; under total. ed. prof. Pavlysha V.N. and prof. Nazimko E.I. Donetsk, "VIK", 2014. 463 p.
7. Pavlysh V.N., Perinskaya E.V. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov funktsionirovaniya spetsializirovannykh apparatov konvektivnogo tipa [Mathematical modeling of the functioning processes of specialized convective-type devices]. *Mezhdunarodnyy retsenziruyemyy nauchno-teoreticheskyy zhurnal «Problemy iskusstvennogo intellekta»* [international peer-reviewed scientific and theoretical journal "Problems of Artificial Intelligence"], 2015 No. 1 (15). Donetsk, GU IPII, 2015. p. 89-98.

8. Pavlysh V. N., Perinskaya Ye. V., Turchanin G.I. Razrabotka struktury sistemy avtomatizirovannogo proyektirovaniya spetsializirovannogo oborudovaniya konvektivnogo tipa [Development of the structure of the computer-aided design system for specialized equipment of convective type]. *Sovremennyye problemy tekhnosfery i podgotovki inzhenernykh kadrov : Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii v gorode Sukhum s 01 – 09 oktyabrya 2016 g.* [Modern problems of the technosphere and training of engineering personnel: Proceedings of the IX International Scientific and Methodological Conference in the city of Sukhum from October 01 - 09, 2016] Donetsk, MCM, 2016. p. 188-191.
9. Perinskaya E.V. Primeneniye metoda vychislitel'nogo eksperimenta k issledovaniyu parametrov konvektivnykh protsessov [Application of the method of computational experiment to the study of the parameters of convective processes]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], vol. 3(22). Donetsk, 2021.
10. Perinskaya E.V. Matematicheskiye modeli i vychislitel'nyye algoritmy issledovaniya konvektivnogo protsessa v neodnorodnoy srede [Mathematical models and computational algorithms for studying the convective process in an inhomogeneous medium]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], vol. 2(17). Donetsk, 2020.

RESUME

E. V. Perinskaya

Application of the Method of Computational Experiment to Investigation of Parameters of Convective Processes

At the present stage, the further development of science and technology is unthinkable without comprehensive informatization and automation of processes. This problem is especially acute when designing new and modifying used devices and processes. To this end, a subsystem for automated design of technological schemes is being developed, designed to improve the quality of projects through the effective use of computer technology to implement labor-intensive routine functions.

This article discusses the problem of studying mathematical models and software tools for their implementation. The theoretical basis of the system is a package of mathematical models that simulate the process of equipment operation [8-10].

Based on the constructed mathematical model, recommendations can be developed for employees of services and departments of enterprises performing work on the design and operation of technological schemes and equipment. The structure of the model base and the corresponding CAD software has been developed.

The proposed models and methods for their implementation make it possible to carry out numerical modeling of processes and solve problems of improving both design and technological parameters. The advantages of this method include the possibility of a wide variation of parameters without conducting physical and full-scale experiments, which reduces the cost and speeds up the process of designing new equipment.

As a result of the work of the programs, the values of the specified parameters are obtained and all other quantities characterizing the performance of the installation are calculated.

The functional-logical scheme of the computer-aided design system (CAD) of the process technology has been developed, on the basis of the constructed mathematical model, an algorithm for the functioning of the head software of the system software has been developed. Based on the results of the research, recommendations can be developed for employees of services and departments of enterprises performing work on the design and operation of technological schemes and equipment.

Using the developed criteria, a study was made of the efficiency of the process depending on the parameters of the technological scheme, the results of which confirm the previously obtained data of mathematical modeling.

РЕЗЮМЕ

Е. В. Перинская

Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа

На современном этапе дальнейшее развитие науки и техники немислимо без всесторонней информатизации и автоматизации процессов. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании новых и модификации используемых устройств и процессов. С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного проектирования технологических схем, призванная повысить качество проектов за счет эффективного применения компьютерных технологий для реализации трудоемких рутинных функций.

В данной статье рассматривается задача исследования математических моделей и программных средств их реализации. Теоретическую основу системы составляет пакет математических моделей, имитирующих процесс функционирования оборудования [8-10].

На основании построенной математической модели могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования. Разработана структура модельной базы и соответствующего программного обеспечения САПР. Предложенные модели и методы их реализации позволяют проводить численное моделирование процессов и решать задачи совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров.

К достоинствам данного метода следует отнести возможность широкой вариации параметров без проведения физических и натуральных экспериментов, что удешевляет и ускоряет процесс проектирования новой аппаратуры. Как результат работы программ получают значения указанных параметров и вычисляются все другие величины, характеризующие показатели работы установки.

Разработана функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса, на основании построенной математической модели разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения системы. По результатам исследований могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования

С использованием разработанных критериев проведено исследование эффективности процесса в зависимости от параметров технологической схемы, результаты которых подтверждают ранее полученные данные математического моделирования.

Статья поступила в редакцию 29.04.2022.