УДК 537.874 **DOI** 10.24412/2413-7383-2024-4-65-74

Е. В. Перинская
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
283001, г. Донецк, ул. Артёма, 58

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СПЛОШНОЙ СРЕДЕ

E. V. Perinskaya
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Donetsk National Technical University"
283001, Donetsk, Artyoma str., 58

MATHEMATICAL MODELS AND COMPUTATIONAL ALGORITHMS FOR THE STUDY OF NONSTATIONARY THERMODYNAMIC PROCESSES IN A CONTINUOUS MEDIUM

В работе рассматриваются математические модели процессов, основу которых составляют краевые задачи для уравнений математической физики, и способы решения поставленных задач на базе методов конечных разностей. Для совершенствования параметров технологий необходимо проводить исследование процессов, наиболее эффективным методом исследования является математическое моделирование.

Ключевые слова: физический процесс, математическая модель, краевая задача, алгоритм, численный метод.

The paper considers mathematical models of processes based on boundary value problems for equations of mathematical physics, and ways to solve problems based on finite difference methods. To improve the parameters of technologies, it is necessary to conduct a study of processes, the most effective research method is mathematical modeling.

Keywords: physical process, mathematical model, boundary value problem, algorithm, numerical method.

Введение

Производство технологических материалов включает в себя различные физические процессы, которые применяются для получения конечных продуктов с нужными свойствами и характеристиками. Неравновесные физические процессы являются важной составляющей технологии производства различных материалов, применяемых в технике и народном хозяйстве. Решение проблемы совершенствования параметров технологии реализации процессов требует их всесторонних исследований.

Актуальность. Наиболее эффективным методом исследования является математическое моделирование. Ввиду сложности математических моделей, их реализация требует применения численных методов и компьютерных средств. Детерминированные модели процессов основываются на краевых задачах математической физики, для решения которых широко применяются методы конечных разностей. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы - исследование способов применения метода конечных разностей к реализации математических моделей неустановившихся физических процессов. Объектом исследования данной работы является нестационарные физические процессы, осуществляемые при производстве различных материалов. Предметом исследования является математические модели процессов и алгоритмы решения краевых задач, составляющих их основу, с применением методов конечных разностей.

Основное содержание. Рассмотрим решение задач математического моделирования на примере процесса обезвоживания влажного обогащенного угля.

В настоящее время получила распространение наиболее эффективная технологическая схема обезвоживания, получившая наименование «сушка в кипящем слое».

При исследовании процесса выделим три основных величины, *изменение* которых будет исследоваться: температура, концентрация и скорость влажного сыпучего материала. Имеющийся математический аппарат уравнений в частных производных позволяет моделировать распределение этих величин по сечению камеры сушилки.

Уравнение математической физики для построения модели [1], [4], [5].

Основные уравнения, используемые для построения моделей, представляют собой частный случай системы Навье - Стокса:

$$\rho\left(u\cdot\frac{\partial u}{\partial x}+v\cdot\frac{\partial u}{\partial y}\right)=-\frac{dP}{dx}+\mu\cdot\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{2}$$

где ρ – плотность текущего вещества, кг·с^2/м^4;

μ – коэффициент вязкости, кг·с/м^2;

P – давление, кг/(м·с^2);

$u=u(x,y)$, $v=v(x,y)$ – компоненты вектора скорости $\vec{w}=\vec{i}\,u+\vec{j}\,v$.

Введем характерные параметры:

l – характерный размер (например, длина камеры), м;

V – характерная скорость, м/с.

Примем безразмерные величины:

$$x'=\frac{x}{l},\quad y'=\frac{y}{l},\quad u'=\frac{u}{V},\quad v'=\frac{v}{V}.$$

Тогда система (1), (2) примет вид:

$$\rho\left(\frac{V^2}{l}u'\frac{\partial u'}{\partial x'}+\frac{V^2}{l}v'\frac{\partial u'}{\partial y'}\right)=-\frac{1}{l}\frac{dP}{x'}+\frac{V}{l^2}\mu\frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2}$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x'}+\frac{\partial v'}{\partial y'}=0.$$

Уравнение (1) перепишем в виде:

$$u'\cdot\frac{\partial u'}{\partial x'}+v'\cdot\frac{\partial u'}{\partial y'}=-\frac{1}{\rho V^2}\cdot\frac{dP}{dx'}+\frac{\mu}{\rho Vl}\cdot\frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2}$$

Здесь $\rho Vl/\mu$ – безразмерный параметр – число Рейнольдса.

Отдельно рассмотрим слагаемое

$$\frac{1}{\rho V^2}\cdot\frac{dP}{dx}=\frac{d}{dx}\cdot\left(\frac{P}{\rho V^2}\right),$$

где $\rho=const, V=const$. Величина $P/(\rho\cdot V^2)$ является безразмерным давлением: $P'=P/(\rho\cdot V^2)$.

Тогда система (1) – (2) переходит к виду:

$$u'\cdot\frac{\partial u'}{\partial x'}+v'\cdot\frac{\partial u'}{\partial y'}=-\frac{dP'}{dx'}+\frac{1}{\mathrm{Re}}\cdot\frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} \tag{3}$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x'}+\frac{\partial v'}{\partial y'}=0. \tag{4}$$

Дальнейшее преобразование системы (3) – (4) направлено на исключение числа Рейнольдса [2], [3]:

$$v''=v'\sqrt{\mathrm{Re}},\quad y''=y'\sqrt{\mathrm{Re}},$$

тогда

$$\begin{cases} u'\cdot\dfrac{\partial u'}{\partial x'}+\dfrac{v''}{\sqrt{\mathrm{Re}}}\cdot\sqrt{\mathrm{Re}}\cdot\dfrac{\partial u'}{\partial y''}=-\dfrac{dP'}{dx'}+\dfrac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}}\cdot\dfrac{\partial^2 u'}{\partial y''^2} \\ \dfrac{\partial u'}{\partial x'}+\dfrac{\partial v''}{\partial y''}=0 \end{cases}$$

Переобозначив переменные (опустив штрихи), получим окончательную систему:

$$u\cdot\frac{\partial u}{\partial x}+v\cdot\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{dP}{dx}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \tag{5}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{6}$$

В этой системе все величины безразмерные. Физический смысл условия (6) состоит в том, что внутри области источники и стоки отсутствуют:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=div\,\vec{w}=0.$$

Массовые силы, т.е. силы тяжести в системе (5), (6) отсутствуют, т.к. при движении однородной жидкости ($\rho=const$) они исключаются из (5).

Рассмотрим формирование математической модели процесса распределения температуры. Такие задачи относятся к классу краевых задач со смешанными краевыми условиями, а само уравнение есть уравнение эллиптического типа [2], [4].

Дифференциальное уравнение распределения температуры и краевые условия имеют следующий вид [3], [5]:

$$\omega \cdot c \cdot \rho \frac{\partial u}{\partial x} = k\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + \alpha \cdot (u - T_S). \tag{7}$$

Краевые условия:

при $0 \le x \le l$ $\left.\frac{\partial u(x,y)}{\partial y}\right|_{y=h} = 0;$

при $0 \le y \le h$ $\left.\frac{\partial u(x,y)}{\partial y}\right|_{x=0} = 0;$ $\left.\frac{\partial u(x,y)}{\partial y}\right|_{x=l} = 0;$

при $(x,y) \in Г_K$ $\frac{\partial u(x,y)}{\partial y} = 0;$

при $(x,y) \in Д_K$ $u(x,y) = U,$

где U – температура поступающего газа;
c – удельная теплоемкость сыпучей среды;
ρ – плотность среды;
ω – скорость поступающего газа;
k – коэффициент теплопроводности среды;
α – коэффициент теплообмена;
T_S – температура внешнего слоя (окружающей среды).

Для решения полученной краевой задачи она сводится к безразмерному виду, когда $0 \le x \le 1$, $0 \le y \le 1$. Полученная в результате сеточной аппроксимации система линейных алгебраических уравнений решается методом матричной прогонки, предложенным М.В. Келдышем [5].

Алгоритм численного решения строится на основании системы алгебраических уравнений, полученных по методу конечных разностей.

Введем сетку: $x_i * y_j$:

$x_i = i\Delta x, \quad i = 0,1,\ldots,M, \quad M\Delta x = l;$

$y_j = j\Delta y, \quad j = 0,1,\ldots,N, \quad N\Delta y = h.$

Обозначим: $u_{ij} = u(x_i, y_j);$

$\omega c \rho = \gamma; \quad \alpha(u - T_s) = f(u).$

Неявная схема аппроксимации:

$$\gamma \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x} = k \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} +$$
$$+ k \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2} + f(u_{i,j}).$$

Пусть p, q, r, g соответственно приближенное решение системы:

$$a)\quad \frac{p_{i+1,j}-p_{i,j}}{\Delta x}=\frac{kg_{i,j}}{\gamma}\left[\frac{(p_{i,j+1}+p_{i,j})p_{i+1,j+1}}{\Delta y^2}-\right.$$

$$\left.-\frac{(p_{i,j+1}+2p_{i,j}+p_{i,j-1})p_{i+1,j}}{\Delta x\Delta y}+\frac{(p_{i,j}+p_{i,j-1})p_{i+1,j-1}}{\Delta x^2}\right],$$

$$\frac{3p_{i,N}-4p_{i,N-1}+p_{i,N-2}}{2\Delta y}=0,\quad i=0,1,\ldots,M;$$

$$б)\quad \frac{q_{i+1,j}-q_{i,j}}{\Delta x}=\frac{kg_{i,j}}{\gamma}\left[\frac{(q_{i,j+1}+q_{i,j})p_{i+1,j+1}}{\Delta y^2}-\right.$$

$$\left.-\frac{(q_{i,j+1}+2q_{i,j}+q_{i,j-1})p_{i,j+1}}{\Delta x\Delta y}+\frac{(p_{i,j}+p_{i,j-1})p_{i+1,j-1}}{\Delta x^2}\right],$$

$$\frac{-q_{2,j}+4q_{1,j}-3q_{0,j}}{2\Delta y}=0,\quad \frac{3q_{N-2,j}-4q_{N-1,j}+q_{N,j}}{2\Delta y}=0;$$

$$в)\quad \frac{r_{i+1,j}-r_{i,j}}{\Delta x}=\frac{kg_{i,j}}{\gamma}\left[\frac{(r_{i,j+1}+r_{i,j})p_{i+1,j+1}}{\Delta y^2}-\right.$$

$$\left.-\frac{(r_{i,j+1}+2r_{i,j}+r_{i,j-1})p_{i+1,j}}{\Delta x\Delta y}+\frac{(r_{i,j}+r_{i,j-1})p_{i+1,j-1}}{\Delta x^2}\right];$$

$$г)\quad \frac{g_{i+1,j}-g_{i,j}}{\Delta x}=-\frac{kp_{i,j}}{\gamma}\frac{g_{i+1,j+1}-g_{i+1,j}}{\Delta y}$$

$$g_{i_k,0}=U.$$

Запишем систему для решения методом матричной прогонки [5]:

$$-\frac{2\Delta y^2\gamma p_{i,j}}{kg_{i,j}\Delta x}=\left(p_{i,j+1}+p_{i,j}\right)p_{i+1,j+1}-$$

$$-\left(p_{i,j+1}+2p_{i,j}+p_{i,j-1}-\frac{2\Delta y^2\gamma}{kg_{i,j}}\right)p_{i+1,j}+$$

$$+\left(p_{i,j}+p_{i,j-1}\right)p_{i+1,j-1}$$

$$i=0,1,\ldots,M-1,\quad j=1,2,\ldots,N-1;$$

$$q_{i+1,j}=q_{i,j}+\frac{kg_{i,j}}{2\gamma\Delta y^2}*\left[\left(q_{i,j+1}+q_{i,j}\right)p_{i+1,j+1}-\right.$$

$$\left.-\left(q_{i,j+1}+2q_{i,j}+q_{i,j-1}\right)p_{i+1,j}+\left(q_{i,j}+q_{i,j-1}\right)p_{i+1,j-1}\right];$$

$$r_{i+1,j}=r_{i,j}+\frac{kg_{i,j}}{\gamma\Delta y^2}*\Big[\big(r_{i,j+1}+r_{i,j}\big)p_{i+1,j+1}-$$
$$-\big(r_{i,j+1}+2r_{i,j}+r_{i,j-1}\big)p_{i+1,j}+\big(r_{i,j}+r_{i,j-1}\big)p_{i+1,j-1}\Big],$$
$$r_{i\in\Gamma_k}=T_s,\quad r_{i\in D_k}=U;$$

$$\frac{-kp_{i,j}}{\gamma\Delta y}g_{i+1,j+1}+\left(\frac{kp_{i,j}}{\gamma\Delta y}-\frac{1}{\Delta x}\right)g_{i+1,j}=-\frac{1}{\Delta x}g_{i,j},$$
$$g_{i,0}=T_s,\quad g_{i_k,0}=U.$$

Формулы прогонки:

$$A_j u_{i,j-1}-C_j u_{i,j}+B_i u_{i,j+1}=-f_i,$$
$$i=1,2,\ldots,N-1$$
$$\alpha_{i+1}=\frac{B_i}{C_i-\alpha_i A_i}$$
$$\beta_{i+1}=\frac{A_i\beta_i+f_i}{C_i-\alpha_i A_i}$$
$$u_0=\delta_1 u_1+\mu_1;\ u_N=\delta_2 u_{N-1}+\mu_2;\ \alpha_1=\delta_1;\ \beta_1=\mu_1$$
$$A_i\neq 0;\ B_i\neq 0;\ |C_i|\geq|A_i|+|B_i|,$$
$$i=1,2,\ldots,N-1$$
$$|\delta_1|\leq 1,\ |\delta_2|\leq 1$$
$$u_i=\alpha_{i+1}u_{i+1}+\beta_{i+1},\quad u_N=\frac{\delta_2\beta_N+\mu_2}{1-\delta_2\alpha_N}.$$

Анализ результатов

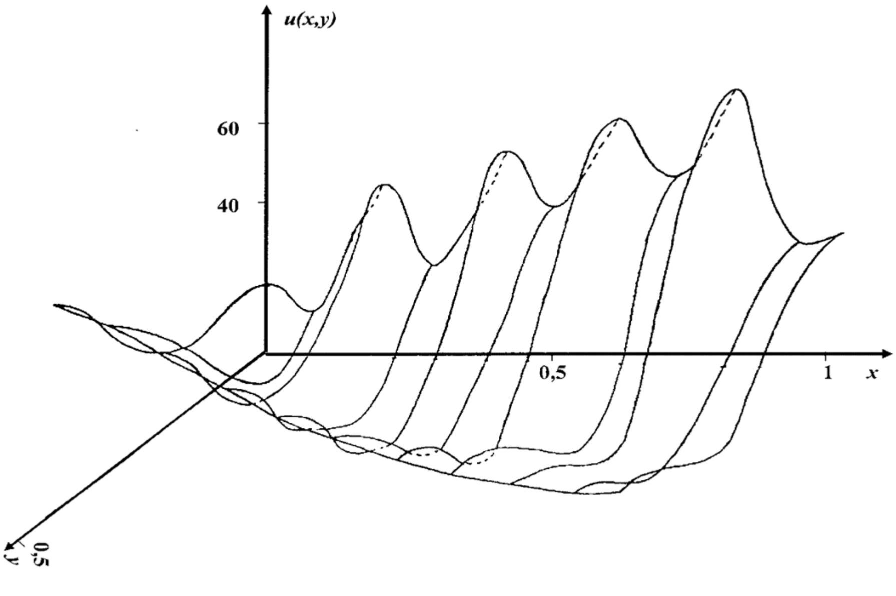

Рисунок 1 – Распределение температуры в камере сушки

На рис. 1 представлены результаты численного решения поставленной краевой задачи.

Из представленных результатов следует, что предложенная модель дает возможность исследовать влияние на распределение температуры таких параметров, как плотность газораспределительной решетки, температура поступающих газов, геометрические размеры сушильного аппарата, и обосновывать их рациональные значения при проектировании технологического оборудования.

Выводы

Рассмотрена общая схема технологии процесса обезвоживания влажных неоднородных масс на примере обезвоживания влажного обогащенного угля. Сформированы математические модели в виде краевых задач для уравнений математической физики.

Выполнена численная реализация сформированных моделей по методу конечных разностей.

Выполнен анализ результатов решения задачи математического моделирования неравновесных физических процессов, обеспечивающих обезвоживание влажного сыпучего материала на примере сушки обогащенного угля, установлена адекватность математических моделей. Разработанные детерминированные математические модели основных процессов, происходящих при сушке влажного сыпучего материала в аппаратах «кипящего слоя», представляют процесс как объект с распределенными параметрами и дают возможность предварительного теоретического исследования и обоснования рациональных технологических параметров при проектировании сушильного оборудования.

Список литературы

1. Ткаченко В.Н. Численный анализ вероятностных характеристик температурных процессов обработки материала в псевдоожиженном слое / В.Н. Ткаченко // Инженерно-физический журнал. - 1997, - Т. 70.– С. 924 –929.
2. Тарабаева И.В. Математическое моделирование и исследование параметров процесса сушки увлажненной горной массы в кипящем слое / И.В. Тарабаева, В.Н. Павлыш // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: 9-й Международный научно-практический семинар: Известия ТТИ ЮФУ – ДонНТУ.– Таганрог – Донецк, 2008.– Т.1. - С. 124 – 131.
3. Wang H., Li G., Lei Y., Shao Y., Dai Q., Wang J. Mathematical heat transfer model research fort he improvement of continuous casting stab temperature. // The Iron and Steel Institute of Japan (ISIJ) International, vol. 45 (2005), No 9, pp. 1291–1296.
4. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых. Монография/ Павлыш В.Н., Назимко Е.И., Корчевский А.Н., Перинская Е.В., Серафимова Л.И., Голиков А.С. // под общ.ред. проф. Павлыша В.Н. и проф. Назимко Е.И. – Донецк: «ВИК», 2014. – 463 с.
5. Математическое моделирование процессов обезвоживания обогащенного минерального сырья. Монография/ Павлыш В.Н., Назимко Е.И., Перинская Е.В., Тарабаева И.В., Науменко В.Г. // под общ.ред. проф. Павлыша В.Н. и проф. Назимко Е.И. – Донецк: «ВИК», 2014. – 286 с
6. В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2015 0(1) – С. 89-101.
7. В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева, Л. А. Лазебная. Алгоритмы функционирования и технические элементы подсистемы автоматизированного управления процессом нагнетания жидкости в угольный пласт. // Проблеммы искусственного интеллекта – Донецк 2017 3(6) – С. 32-39..

8. В. Н. Павлыш, А. В. Гром. Дискретное моделирование анизотропной сплошной среды. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2023 1(28) – С. 43-49.
9. В. Н. Павлыш, И. В., Л. А. Лазебная. Математические модели и алгоритмы управления процессами динамического воздействия на анизотропные подземные массивы // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2019 2(13) – С. 4-13.
10. Л. А. Лазебная. Математические модели и вычислительные алгоритмы в системе управления аэрогидродинамическими процессами в анизотропной среде // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2022 3(26) – С. 14-27.
11. В. Н. Павлыш, Г. Б. Перетолчина. Математическое моделирование нестационарных процессов в среде с нечётко определёнными параметрами // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2018 2(9) – С. 33-45.
12. В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в подвижном слое // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2017 2(5) – С. 70-77.
13. Е. В. Перинская. Применение метода вычислительного эксперимента к исследованию параметров конвективных процессов // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2021 3(22) – С. 57-65.
14. В. Н. Павлыш, С. А. Зори, Е. И. Бурлаева. Задача классификации информации при формировании баз данных в компьютерных обучающих системах процессов // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2018 4(11) – С. 71-81.
15. В. Н. Павлыш, Г. И. Турчанин, О. А. Тихонова модификация компьютерных методов представления и анализа геотехнической информации. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2016 1(2) – С. 15-24.
16. В. Н. Павлыш , С. В. Сторожев. Математическое моделирование в задачах устойчивости на основе теории нечетко-множественного анализа. // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2021 2(21) – С. 44-51.
17. В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева. Математическое моделирование процесса движения газовоздушной смеси в сплошной среде (на примере угольного пласта) // Проблемы искусственного интеллекта – Донецк 2018 3(10) – С. 104-111.

References

1. Tkachenko V.N. Numerical analysis of probabilistic characteristics of temperature processes of material processing in a fluidized bed / V.N. Tkachenko // Engineering and Physics Journal. - 1997, - Vol. 70.– pp. 924-929.
2. Tarabaeva I.V. Mathematical modeling and investigation of the parameters of the drying process of moistened rock mass in a fluidized bed / I.V. Tarabaeva, V.N. Pavlysh // Practice and prospects for the development of partnership in the field of higher education: 9th International scientific and practical seminar: Izvestiya TTI SFU - DonNTU.– Taganrog – Donetsk, 2008.– Vol.1. - pp. 124 – 131.
3. Wang H., Li G., Lei Y., Shao Y., Dai Q., Wang J. Mathematical heat transfer model research fort he improvement of continuous casting stab temperature. // The Iron and Steel Institute of Japan (ISIJ) International, vol. 45 (2005), No 9, pp. 1291–1296.
4. Mathematical modeling of mineral processing processes. Monograph/ Pavlysh V.N., Nazimko E.I., Korchevsky A.N., Perinskaya E.V., Serafimova L.I., Golikov A.S. // under the general editorship of Prof. Pavlysh V.N. and Prof. Nazimko E.I. – Donetsk: "VIC", 2014. – 463 p.
5. Mathematical modeling of the processes of dehydration of enriched mineral raw materials. Monograph/ Pavlysh V.N., Nazimko E.I., Perinskaya E.V., Tarabaeva I.V., Naumenko V.G. // under the general editorship of Prof. Pavlysh V.N. and Prof. Nazimko E.I. – Donetsk: "VIC", 2014. – 286 s.
6. V. N. Pavlysh, E. V. Perinskaya. Mathematical modeling of the processes of functioning of specialized convective type apparatuses / V. N. Pavlysh, E. V. Perinskaya. // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2015 0(1) – pp. 89-101.
7. V. N. Pavlysh, I. V. Tarabaeva, L. A. Lazebnaya. Algorithms of functioning and technical elements of the subsystem of automated control of the process of injection of liquid into the coal seam. / Problems of artificial intelligence – Donetsk 2017 3(6) – pp. 32-39.
8. V. N. Pavlysh, A.V. Grom. Discrete modeling of an anisotropic continuous medium. / Problems of artificial intelligence – Donetsk 2023 1(28) – pp. 43-49.
9. V. N. Pavlysh, I. V., L. A. Lazebnaya. Mathematical models and algorithms for controlling the processes of dynamic impact on anisotropic underground massifs// Problems of artificial intelligence – Donetsk 2019 2(13) – pp. 4-13.

10. L. A. Lazebnaya. Mathematical models and computational algorithms in the control system of aerohydrodynamic processes in an anisotropic environment // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2022 3(26) – pp. 14-27.
11. V. N. Pavlysh, G. B. Peretolchina. Mathematical modeling of nonstationary processes in an environment with vaguely defined parameters // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2018 2(9) – pp. 33-45.
12. V. N. Pavlysh, I. V. Tarabaeva. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in a mobile layer // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2017 2(5) – pp. 70-77.
13. E. V. Perinskaya. Application of the computational experiment method to the study of parameters of convective processes // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2021 3(22) – pp. 57-65.
14. V. N. Pavlysh, S. A. Zori, E. I. Burlaeva. The task of classifying information in the formation of databases in computer learning systems of processes // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2018 4(11) – pp. 71-81.
15. V. N. Pavlysh, G. I. Turchanin, O. A. Tikhonova modification of computer methods of representation and analysis of geotechnical information. // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2016 1(2) – pp. 15-24.
16. V. N. Pavlysh , S. V. Storozhev. Mathematical modeling in stability problems based on the theory of fuzzy multiple analysis. // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2021 2(21) – pp. 44-51
17. V. N. Pavlysh, I. V. Tarabaeva. Mathematical modeling of the process of movement of a gas–air mixture in a continuous medium (on the example of a coal seam) // Problems of artificial intelligence – Donetsk 2018 3(10) - pp. 104-111

RESUME

E. V. Perinskaya

Mathematical Models and Computational Algorithms for the Study of Nonstationary Thermodynamic Processes in a Continuous Medium.

The production of technological materials includes various physical processes that are used to obtain end products with the desired properties and characteristics. Nonequilibrium physical processes are an important component of the production technology of various materials used in engineering and national economy. Solving the problem of improving the parameters of the technology for implementing processes requires their comprehensive research. The most effective research method is mathematical modeling. Due to the complexity of mathematical models, their implementation requires the us

The general scheme of the technology of the process of dehydration of wet heterogeneous masses is considered on the example of dehydration of wet enriched coal. Mathematical models have been formed in the form of boundary value problems for equations of mathematical physics. The numerical implementation of the generated models using the finite difference method is performed.

The numerical implementation of the generated models using the finite difference method is performed. The analysis of the results of solving the problem of mathematical modeling of nonequilibrium physical processes ensuring the dehydration of wet bulk material on the example of drying enriched coal is carried out, the adequacy of mathematical models is established

The developed deterministic mathematical models of the main processes occurring during drying of wet bulk material in "fluidized bed" apparatuses represent the process as an object with distributed parameters and provide an opportunity for preliminary theoretical research and justification of rational technological parameters in the design of drying equipment.

РЕЗЮМЕ

Е. В. Перинская
Математические модели и вычислительные алгоритмы исследования нестационарных термодинамических процессов в сплошной среде

Производство технологических материалов включает в себя различные физические процессы, которые применяются для получения конечных продуктов с нужными свойствами и характеристиками. Неравновесные физические процессы являются важной составляющей технологии производства различных материалов, применяемых в технике и народном хозяйстве. Решение проблемы совершенствования параметров технологии реализации процессов требует их всесторонних исследований. Наиболее эффективным методом исследования является математическое моделирование. Ввиду сложности математических моделей, их реализация требует применения численных методов и компьютерных средств. Детерминированные модели процессов основываются на краевых задачах математической физики, для решения которых широко применяются методы конечных разностей. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы - исследование способов применения метода конечных разностей к реализации математических моделей неустановившихся физических процессов.

Рассмотрена общая схема технологии процесса обезвоживания влажных неоднородных масс на примере обезвоживания влажного обогащенного угля. Сформированы математические модели в виде краевых задач для уравнений математической физики.

Выполнена численная реализация сформированных моделей по методу конечных разностей.

Выполнена численная реализация сформированных моделей по методу конечных разностей. Выполнен анализ результатов решения задачи математического моделирования неравновесных физических процессов, обеспечивающих обезвоживание влажного сыпучего материала на примере сушки обогащенного угля, установлена адекватность математических моделей

Разработанные детерминированные математические модели основных процессов, происходящих при сушке влажного сыпучего материала в аппаратах «кипящего слоя», представляют процесс как объект с распределенными параметрами и дают возможность предварительного теоретического исследования и обоснования рациональных технологических параметров при проектировании сушильного оборудования.

Перинская Е. В. - к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО ДонНТУ, кафедра прикладной математики и искусственного интеллекта, 283001, Донецк, ул. Артема, 58,
тел +7(949) 405-1799, elenaperinskaya1@gmail.com
Область научных интересов: математическое моделирование технологических процессов и численное решение краевых задач

Статья поступила в редакцию 31.10.2024.