

УДК 622.734.001.57

Автоматизация проектирования технологических схем сушки обогащённого угля

В.Н. Павлыш, И.В. Тарабаева, Г.И. Турчанин
Донецкий национальный технический университет
pavlyshvn@mail.ru

Павлыш В.Н., Тарабаева И.В., Турчанин Г.И. Автоматизация проектирования технологических схем сушки обогащённого угля. Рассматривается задача разработки структуры и принципов функционирования системы автоматизированного проектирования технологических схем сушки обогащенного угля. Показано, что наиболее эффективным методом сушки является способ «кипящего слоя». В основу математического обеспечения системы положена детерминированная математическая модель процесса сушки в виде системы уравнений математической физики.

Введение

В ряде отраслей промышленности для обеспечения требуемого качества конечных продуктов, получаемых в виде влажных сыпучих масс, применяются различные способы и технологические схемы обезвоживания влагосодержащих материалов. Применение способов и схем обезвоживания является завершающей стадией производственного цикла и определяется на стадии проектирования технологии производства. Важнейшее значение этот процесс играет на завершающей стадии обогащения углей [1].

Однако эффективность процесса не всегда в полной мере отвечает поставленным требованиям. Одной из причин этого является то, что на этапе проектирования предварительная оценка схем весьма затруднена ввиду сложности процесса. Применение математического моделирования позволяет улучшить качество принимаемых проектных решений. В этой связи тема работы является актуальной.

Постановка проблемы.

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 ЭВМ [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.

Анализ выполненных исследований по теме работы.

На основании исследований и разработок, выполненных учеными в данной области, созданы и функционируют на различных предприятиях установки, осуществляющие процесс обезвоживания сыпучих материалов. Вместе с тем, учитывая постоянно изменяющиеся условия эксплуатации, связанные как с дефицитом энергоресурсов, так и с ужесточающимися требованиями к экологической составляющей деятельности промышленных предприятий, продолжаются исследования процессов и технологических схем с целью их дальнейшего совершенствования.

Результатами многочисленных теоретических и экспериментальных исследований обосновано, что наиболее прогрессивным способом является сушка в кипящем слое, подчеркивается его экономичность, более низкая по сравнению с другими способами экологическая вредность, а также высокая степень «моделируемости» [3].

Используя методику, разработанную проф. В.Н. Ткаченко, проведено исследование характеристик плотности распределения частиц по времени пребывания в псевдоожиженном слое методом вычислительного эксперимента [4].

В таблице 1 приведены результаты одного из вычислительных экспериментов. Здесь над разделительной чертой указана величина математического ожидания, под разделительной чертой – среднее квадратическое отклонение случайной величины.

Таблица 1. Вероятностные характеристики температур и степени обезвоживания частиц при различных значениях коэффициента диффузии и законах распределения времени пребывания.

Коэффициент диффузии m^2 / c	С.к.о. времени пребывания (мин)	Температура поверхности частицы (°C)	Среднемассовая температура (°C)	Степень обезвоживания частицы (%)
0,0	0	94,5	62,5	82
0,0001	8,3	95,4 ----- 4,1	72 ----- 5,3	81 ----- 4,4
0,0003	10,8	95,2 ----- 5,9	71 ----- 7,8	80 ----- 5,7
Аппроксимация нормальным законом распределения				
0,0003	8,6	95,2 ----- 7,3	71 ----- 7,5	82 ----- 7,6
0,0005	12,6	95,2 ----- 8,3	91 ----- 7,9	80 ----- 7,5
0,0010	17,5	95 ----- 8,2	90 ----- 10,4	79 ----- 9,9
Режим идеального смещения (экспоненциальный закон)				
∞	40,0	98 ----- 18,2	89 ----- 16,1	68 ----- 13,8

В результате исследования установлено, что математическое ожидание времени пребывания частицы в активной зоне составляет более 11 мин, чем подтверждается, что сушка в «кипящем слое» обеспечивает более длительный контакт материала с сушильным агентом по сравнению с другими схемами, и по этой причине является наиболее эффективной технологией обезвоживания.

Цель работы.

Обоснование структуры и алгоритмов функционирования системы автоматизации проектирования технологических схем сушки влажной сыпучей массы.

Задачи работы:

- разработка общей структуры технологических схем обезвоживания;
- разработка функционально-логической схемы технологии обезвоживания;
- разработка математического обеспечения САПР.

Основное содержание работы.

Классификация основных видов технологии сушки приведена в табл. 2 и на рис. 1.

На рис. 2 приведена функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса сушки.

Как показывает практика организации работ по созданию сушильных агрегатов, наиболее перспективным направлением в технологии обезвоживания является сушка в «кипящем слое» [1, 3].

Сушилка «кипящего слоя» позволяет увеличить продолжительность сушки материала во много раз и регулировать ее в очень широких пределах [4]. Этот принцип сушки наиболее приемлем для таких материалов, продолжительность сушки которых исчисляется десятками секунд или минутами. Таким образом, сушка материалов в «кипящем слое» позволяет значительно расширить область применения метода сушки во взвешенном состоянии.

Упрощенная схема аппарата, выполняющего сушку в «кипящем слое», приведена на рис. 3, картина потоков в «псевдооживленном слое» приводится на рис. 4.

В камеру сушилки, снабженной газораспределительной решеткой, помещается

сыпучий материал.

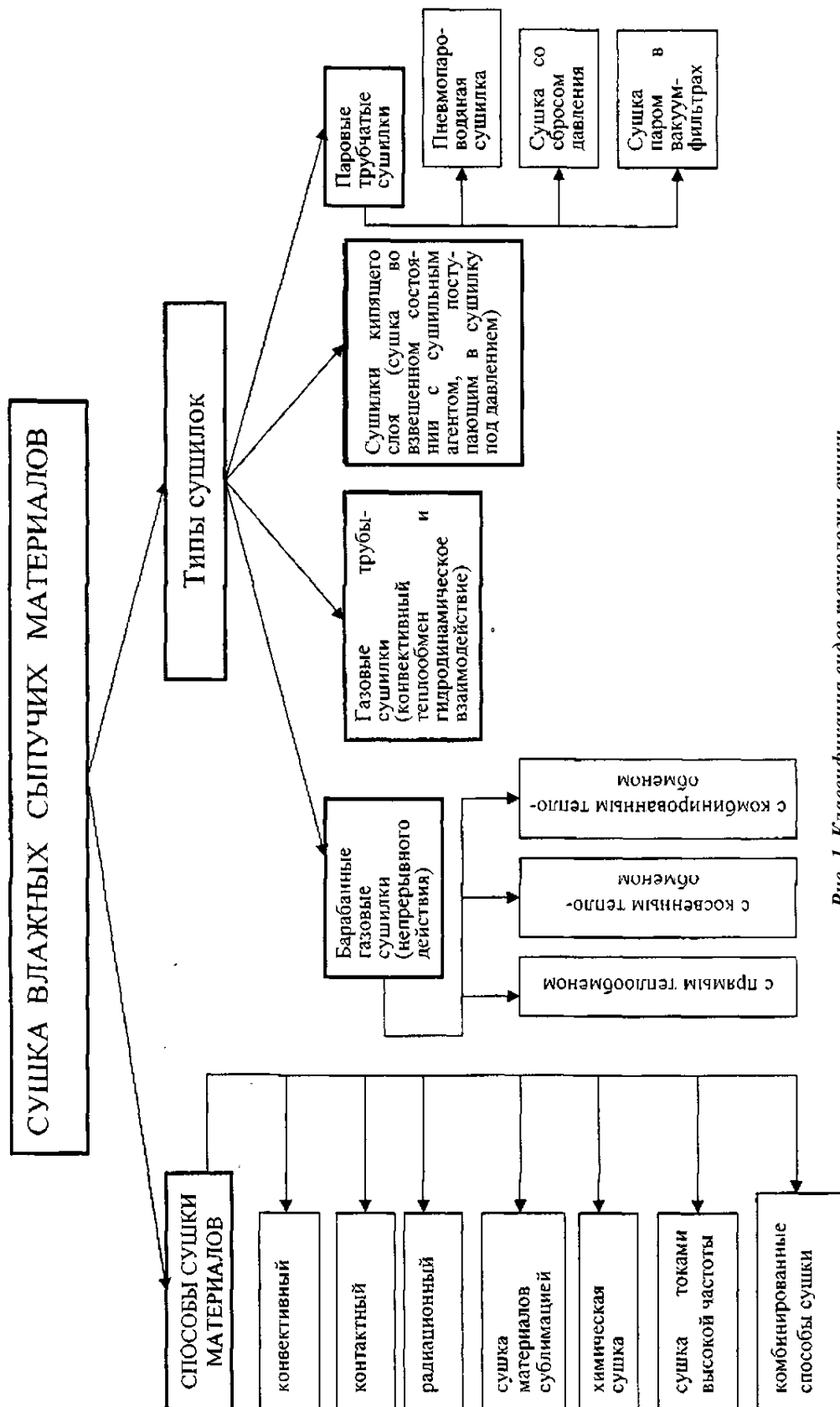


Рис. 1. Классификация видов технологий сушки

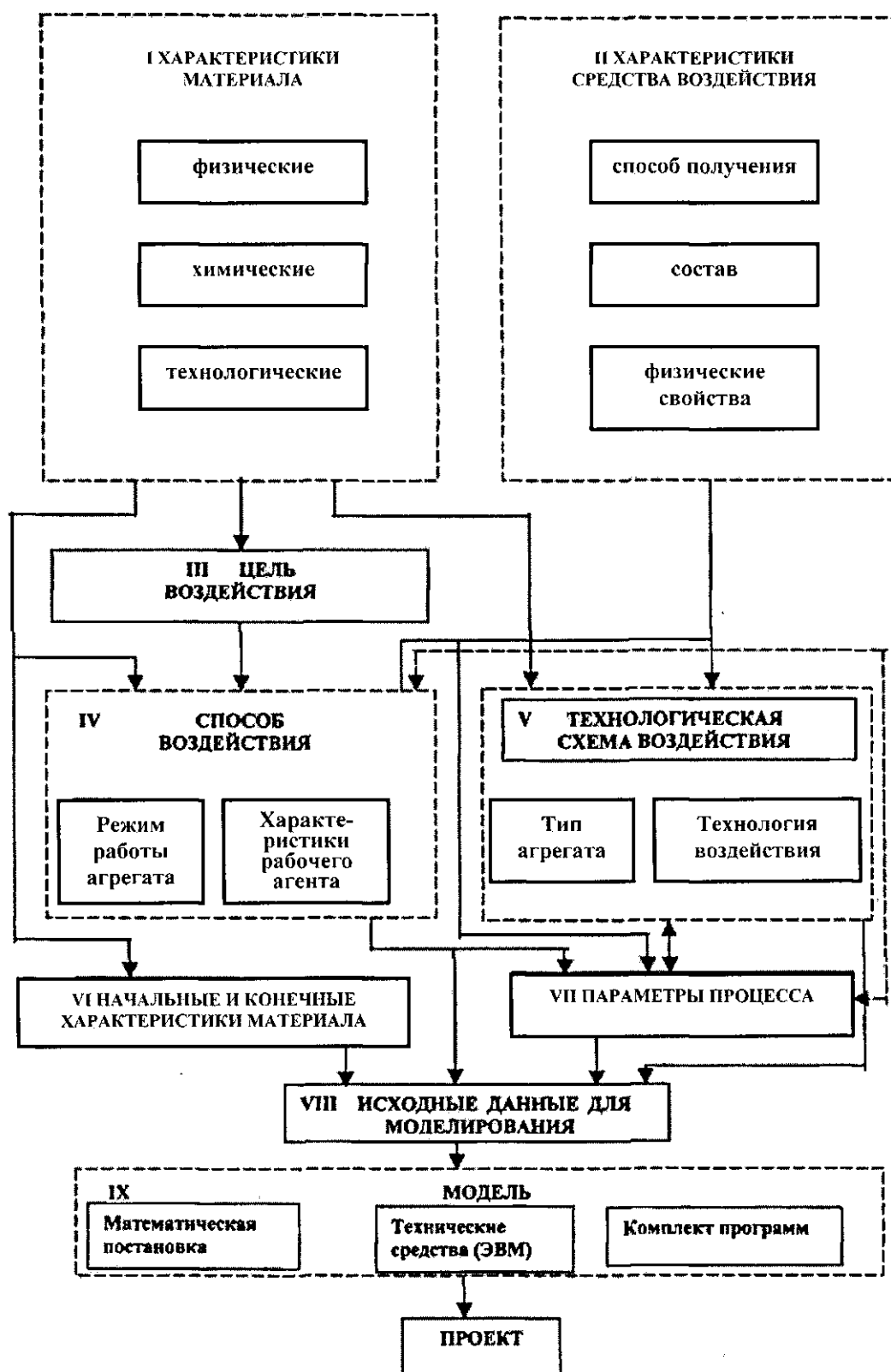


Рис. 2. Функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования технологических схем сушки

Таблица 2. Классификация сушильных установок

Признак классификации	Типы сушилок
По способу подвода тепла к материалу	Конвективные, контактные (сушка на горячих поверхностях), радиационные (сушка инфракрасными лучами), электрические (сушка в электрическом поле)
По давлению в рабочем пространстве	Атмосферные вакуумные
По способу действия	Периодического или непрерывного действия
Сушильный агент	Воздух, топочные газы, смесь воздуха с топочными газами, перегретый пар и инертные газы
По направлению движения сушильного агента относительно материала	С прямотоком, противотоком, перекрестным током и реверсивные
По характеру циркуляции сушильного агента	С естественной и принудительной циркуляцией
По способу нагрева сушильного агента	С паровыми воздухоподогревателями, огневыми воздухоподогревателями, путем смешения с топочными газами, с электронгревом
Схема нагрева сушильного агента	С централизованным подогревом, с подогревом индивидуальными агрегатами и с промежуточным подогревом

Для создания режима локального фонтанирования через газораспределительную решетку в псевдооживленный слой вводится оживающий агент с высокой скоростью. Благодаря этому в слое образуются зоны, в которых частица и среда движутся с более высоким, чем в слое, скоростями, а обмен между этими зонами делает более интенсивными процессы тепло- и массообмена.

Гидродинамическая структура потоков, возникающих при локальном вводе оживающего агента в псевдооживленный слой, указывает на наличие четырех зон перемешивания (рис. 2).

Зона I - фонтан из частиц, движущихся вверх.

Зона II - прирешеточная активная зона.

Равнодействующая сил на частицы в этой зоне направлена в сторону фонтана вследствие интенсивного перемешивания и втягивающей силы фонтана.

Зона III - зона слоя, прилегающего к фонтану и активно питающая фонтан.

Зона IV - наименее активная зона с преимущественным движением вниз за счет обмена с активной прирешеточной зоной II и зоной III.

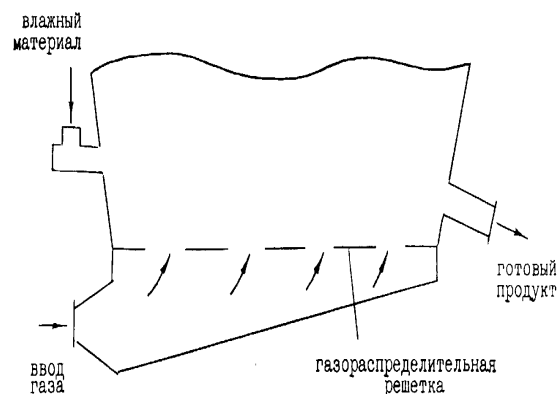


Рис. 3 Схема сушильного аппарата

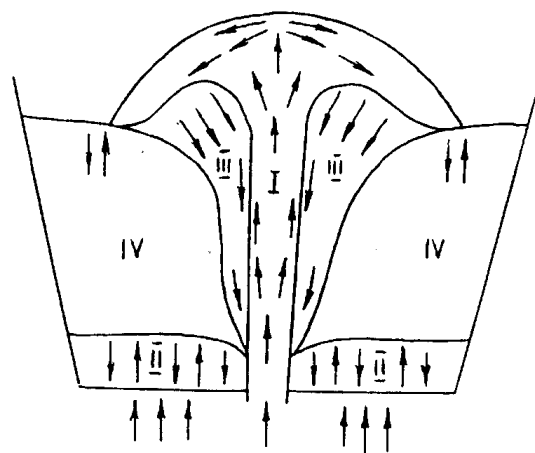


Рис. 4 Схема структуры потоков при наложении на псевдооживающий слой режима фонтанирования

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 сушиллки, система полученных уравнений составляет основу математического обеспечения разрабатываемой системы проектирования.

Математическая модель распределения температуры строится следующим образом.

В сушильном аппарате требуется определить распределение температуры при заданном количестве узлов (отверстий) на газораспределительной решетке.

Такие задачи относятся к классу краевых задач со смешанными краевыми условиями, а само уравнение есть уравнение эллиптического типа.

Дифференциальное уравнение распределения температуры и краевые условия имеют следующий вид:

$$\omega \cdot c \cdot \rho \frac{\partial u}{\partial x} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \alpha \cdot (u - T_s). \quad (1)$$

Краевые условия (Γ_K – непроницаемая граница, D_K – отверстия в решетке):

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq l \quad \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} \Big|_{y=h} &= 0; \\ \text{при} \\ 0 \leq y \leq h \quad \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} \Big|_{x=0} &= 0; \quad \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} \Big|_{x=l} = 0; \\ \text{при} \\ (x, y) \in \Gamma_K \quad \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} &= 0; \\ \text{при} \\ (x, y) \in D_K \quad u(x, y) &= U, \end{aligned}$$

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.

Математическая модель распределения скорости строится на основании следующих соображений. Пусть $u(x, y)$ – продольная, а $v(x, y)$ – поперечная скорость вещества в сушилке. Эти компоненты скорости определяются как решение следующей краевой задачи:

$$\begin{cases} u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{dP}{dx} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, & (x, y) \in G \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

при соответствующих граничных условиях.

Математическая модель поля концентрации в камере сушиллки основывается на следующих положениях. Функция $C(x, y, t)$ является решением конвективного уравнения диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D(C_{xx} + C_{yy}) - v_1(x, y) \frac{\partial C}{\partial x} - v_2(x, y) \frac{\partial C}{\partial y}, \quad (3)$$

где D – коэффициент диффузии;

$v_1(x, y)$, $v_2(x, y)$ – продольная и поперечная компоненты скорости, которые определяются из решения краевой задачи (2).

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

Функционирование системы обеспечивается головной программой.

На рис. 5 приведена обобщенная блок-схема алгоритма функционирования головной программы.

Блок 1 содержит информацию о составе и свойствах материала, поступающего на сушку. Информация представляется в виде массива или файла с как можно более полным набором характеристик.

В этом же блоке представляется информация о сушильном агенте, за счет воздействия которого создается эффект «псевдооживления».

В блоке 2 помещается информация о тех характеристиках конечного продукта, которые должны быть обеспечены в результате воздействия. Основные из них – это влажность на выходе и производительность аппарата, однако в процессе исследований могут быть рассмотрены и другие показатели.

Блок 3 – основной расчетный блок. Здесь выполняется численная реализация всех математических моделей, включаемых в предметную область САПр. На данном этапе это математические модели распределения температуры материала в камере сушиллки, скорости частиц и концентрации обрабатываемого материала.

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

В блоке 4 выполняется верификация расчетных значений параметров по заданным значениям показателей, определяющих требования к конечному продукту. Верификация может быть построена как по принципу «консенсуса», когда отклонение хотя бы одного параметра вызывает необходимость коррекции исходных данных и повторения моделирования, так и по интегральному принципу с

использованием, например, метода наименьших квадратов.

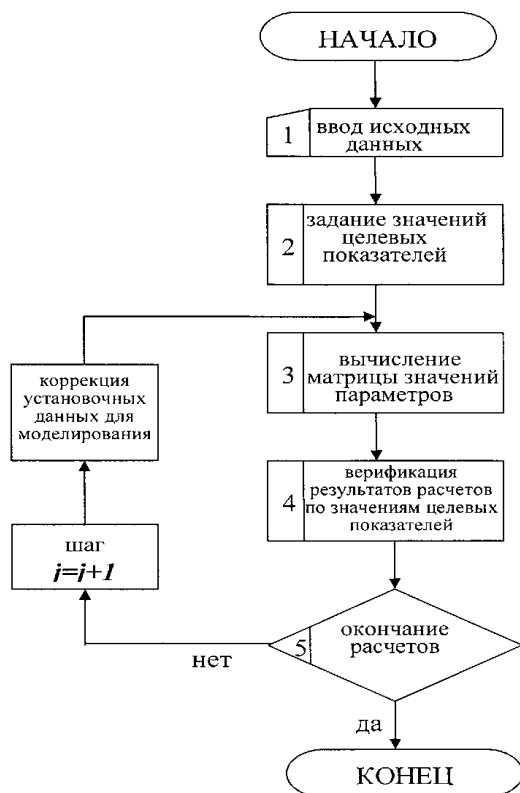


Рис. 5 Блок-схема алгоритма головной программы

Выводы

В результате выполненных исследований разработана структура системы автоматизированного проектирования технологии сушки и алгоритмы

функционирования её подсистем. Обоснован состав математического обеспечения системы, основу которого составляют уравнения математической физики, образующие детерминированную модель процессов. 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 промышленных экспериментов.

Литература.

1. Филиппов В.А. Конструкция, расчеты и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья / В.А. Филиппов – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: «Недра», 1989. – 309 с.: илл., табл.
2. Павлыш В.Н. Развитие теории и совершенствование технологии процессов воздействия на угольные пласты: Монография. - Донецк: РВА ДонНТУ, 2005. - 347с.
3. Ткаченко В.Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов: Монография / В.Н. Ткаченко – Киев: «Наукова думка», 2008. – 243 с.
4. Tkachenko V.N. Research of the probabilistic characteristics of a response time and temperatures of particles in fluidized bed on the basis of computing experiment // Book of abstracts of 9-th conference of the European consortium for mathematics in industry. Copenhagen: Technical university of Denmark, 1996, p. 642 – 643.

Павлыш В.Н., Тарабаева И.В., Турчанин Г.И. Автоматизация проектирования технологических схем сушки обогащённого угля. Рассматривается задача разработки структуры и принципов функционирования системы автоматизированного проектирования технологических схем сушки обогащенного угля. Показано, что наиболее эффективным методом сушки является способ «кипящего слоя». В основу математического обеспечения системы положена детерминированная математическая модель процесса сушки в виде системы уравнений математической физики. 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 промышленных экспериментов.

Ключевые слова: процесс, технология, математическая модель, структура, алгоритм.

Pavlysh V.N., Tarabayeva S.V., Turchanin G.I. The automatic projecting of enriched coal drying technological schemes. The problem of creation of structure and principles of activity of system of automatic projecting of technological schemes of drying of enriched coal is considered. Provided most effective method of drying "boiling layer".. The base of mathematical soft of system is determined mathematical model of process of drying as the system of equations of mathematical physics. The main preference of automatic projecting system is the ability of obtaining enough full information about various variants of project without grate number of routine operations and many industrial experiments

Key words: process, technology, mathematical model, structure, algorithm.

Статья поступила в редакцию 20.05.2016

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук А.С. Миненко