

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«**МИСиС**»

НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра Математики и естествознания

А.В. Саблин

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
по выполнению курсовой работы
для студентов направления подготовки 18.03.01 Химическая технология
очной и заочной форм обучения

Новотроицк, 2020

УДК 66,011:519,876(075,8)
ББК 35,11:22,1я73
С 122

Рецензенты:

*Ведущий специалист по технологии коксохимического производства
АО «Уральская Сталь»
Е.А. Грибанов*

*Заведующий кафедрой Математики и естествознания Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО
НИТУ «МИСиС», доцент, к.ф-м.н.
Д.А. Гюнтер*

А.В. Саблин. Химическая технология топлива и углеродных материалов: методические указания по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки 18.03.01 Химическая технология, очной и заочной форм обучения. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2020. - 25 с.

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»

© Новотроицкий филиал
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС», 2020.

Содержание

Пояснительная записка	4
1 Модели разрушения кускового материала кокса	5
1.1 Математическая модель процесса разрушения кокса и принцип использования условных эквивалентов величины механической нагрузки (УЭВМН) ...	6
1.2 Установление констант разрушения кокса разных классов крупности	9
1.3 Определение эквивалентного числа оборотов барабана (пэі) для прогнозирования состава предскипового кокса	10
1.4 Расчет гранулометрического состава скипового кокса	11
1.5 Определение газопроницаемости и плотности насыпаемой массы кокса.....	12
2 Методические указания по выполнению курсовой работы	14
2.1 Задание для выполнения курсовой работы (по вариантам)	14
2.2 Тема курсовой работы	14
2.3 Исходные данные	14
2.4 Основная литература	15
2.5 Лабораторное оборудование и методички, которые должны быть использованы ...	15
2.6 Использование ЭВМ	15
2.7 План выполнения курсовой работы	15
3. Выполнение типовых расчетов по курсовой работе	17
3.1 Расчет состава товарного кокса +25 мм по классам и после 100 оборотов	17
3.2 Расчет состава товарного кокса +25 мм по классам и после 100 оборотов	17
3.3 Расчет фракционного состава товарного кокса	18
3.4 Расчет состава предскипового и скипового кокса по классам	21
3.5 Определение показателей прочности М10 и М25	21
Библиографический список.....	23

Развитие топливно-энергетического комплекса страны и технологической структуры его мощностей по переработке природных энергоносителей во многом зависит от уровня теоретической подготовки и производственного опыта инженерных кадров.

От современного инженера требуются не только знание и умение использовать существующую технику и технологию, но и постоянная работа над их совершенствованием.

Выполняя работу, студент закрепляет и углубляет теоретические знания, приобретает навыки самостоятельного и творческого применения полученных знаний при решении конкретных задач. В ходе выполнения курсовой работы он учится работать с технической литературой, получает опыт по производству инженерных расчетов, оформлению технической документации, технологических схем, знакомится с методами анализа углеводородного сырья, приобретает навыки проведения эксперимента, обработки и анализа полученных данных.

Задание на выполнение курсовой работы выдается обычно без подробного указания объема и последовательности выполнения работы, что приводит к определенным сложностям в ходе их выполнения. Приступая к работе, студент испытывает некоторые трудности организационного и методического характера.

Данное пособие составлено в помощь студентам, выполняющим курсовую работу по дисциплине "Химическая технология топлива и углеродных материалов". В пособии приведены теоретические основы по тематике курсовой работы, а также типовый расчет.

1 Модели разрушения кускового материала кокса

Как известно, качество кокса оценивают по результатам испытания проб товарного кокса, отбираемых непосредственно перед отправкой потребителю. Это либо перед погрузкой в железнодорожные вагоны или хопперы, либо в месте перегрузки с конвейера коксового цеха на конвейер доменного цеха (при конвейерной подаче к доменным печам). При любом виде транспорта в момент погрузки и далее в процессе транспортировки происходит разрушение кокса и изменение его качественных характеристик. Это дополняется отсевом мелких классов перед подачей в скип доменной печи. Отсев мелочи выполняет самостоятельную роль в преобразовании свойств кокса, не связанную с закономерностями разрушения. Вследствие этого зависимость между свойствами кокса, которые установлены в момент передачи потребителю и в момент поступления в скип доменной печи, нарушается. Однако на работу доменных печей оказывают влияние свойства кокса, находящегося уже в скипе.

Качество скипового кокса всегда было и остаётся предметом внимания и интереса доменщиков.

Отбор проб скипового кокса производят вручную в сложных условиях, ввиду чего проба, как правило, бывает недостаточно представительна и не отражает средних характеристик кокса даже за смену. В то же время и состав и свойства скипового кокса могут быть определены расчётным путём.

Ежесуточно в доменном цехе, как правило, фиксируется количество «провала» на грохоте перед скипом (так называемые потери от измельчения). Периодически, с целью недопущения потерь с коксовой мелочью доменного кокса класса >25 мм проверяют эффективность грохочения по рассеву подрешетного продукта. Результаты проверок фиксируются в виде процента «провала» (от использованного кокса) и его состава (так называемые «потери от измельчения»).

Состав скипового кокса представляет собой состав кокса перед грохотом, установленным перед скипом (назовем его «предскиповый») после исключения потерь от измельчения.

Гранулометрический состав предскипового кокса можно вычислить аналитически. Для этого требуется данные о его составе в состояниях: товарной поставки, загрузки в барабан для стандартного испытания и после испытания (после 100 оборотов барабана). Кроме того, необходимо знание так называемых «барабанных эквивалентов» разрушения на тракте коксоподачи. Барабанным эквивалентом называют число оборотов барабана, при котором воспроизводится остаток на определенном сите, равный достигаемому остатку при разрушении кокса равных прочности и состава на каком-либо участке технологического процесса. Численные значения этих эквивалентов определяют по изменению состава товарного кокса в процессе транспортирования до состояния предскипового. При этом используют характеристики прочностных свойств кокса – константы прочности; их находят по изменениям суммарных остатков индивидуально на каждом сите в результате стандартного испытания в барабане.

В зависимости от числа перегрузок с конвейера на конвейер, высоты перепадов и наличия в перегрузочных желобах различных устройств (так называемых «коксовых подушек», отбойных плит и т.д.) соотношение между истирающими и дробящими воздействиями, равно как и величина их будут различными. В случае железнодорожной поставки кокса различия вызваны условиями погрузки кокса в вагоны и разгрузки их. Оказывает влияние и дальность пути перевозки. Однако для каждого предприятия и вида транспортирования суммарные разрушающие воздействия и характер их остаются практически постоянными. Они не зависят от качества кокса.

Разрушающее воздействие на кокс в испытательном барабане отличается от воздействий на него в процессе транспортирования. При идентификации разрушения это учитывается благодаря разной величине барабанных эквивалентов для кокса разных пределов крупности.

Различие в качестве кокса у потребителя обусловлено его свойствами, выявляемыми у поставщика. Оно проявляется в известной мере стандартными показателями качества и константами разрушения кокса, индивидуальными для каждого класса крупности. Установив однажды величины барабанных эквивалентов для предскипового кокса, можно впоследствии по данным стандартного испытания товарного кокса вычислить состав предскипового, а зная со-

став и количество «провала» на грохоте перед скипом, расчетным путем найти состав скипового кокса.

1.1 Математическая модель процесса разрушения кокса и принцип использования условных эквивалентов величины механической нагрузки (УЭВМН)

Кокс, получаемый в камерах коксования при нагревании смеси измельченных углей до 1000°C без доступа воздуха, представляет собой после охлаждения массу кусков различных размеров и свойств. При подготовке для использования в металлургических процессах он претерпевает преобразования, связанные с его частичным разрушением и отсевом мелочи. Знание закономерностей этих преобразований позволяет в определенной мере управлять происходящими изменениями, добиваясь улучшения в конечном итоге технико-экономических показателей металлургических производств.

Основные преобразования, происходящие с коксом, связаны с процессом разрушения насыпной массы, деградацией среднего размера кусков и обусловлены механической нагрузкой, которую воспринимает кокс. Естественно, что в первую очередь разрушаются наиболее крупные куски. Они наименее однородны по текстуре и вероятность содержания в них крупных трещин наиболее высока.

Предложив непрерывность разрушающих воздействий, процесс уменьшения в общей массе доли кусков, превышающих некоторый размер i , описывается дифференциальным уравнением (1)

$$-C \frac{[C]_i}{dA} - K_i [C]_i, \quad (1)$$

где K_i – коэффициент пропорциональности для кусков более размера i .

Отрицательный знак указывает на уменьшение той части насыпной массы кокса, которую мы рассматриваем.

В соответствии с существующей теорией распространения трещин, крупные трещины развиваются интенсивней. По мере их реализации процесс диспергирования замедляется. Предпосылкой снижения скорости давления кусков на части и образования мелочи за счёт их истирания является специфика текстуры кусков кокса, получаемого в коксовых печах. Это связано с направленным тепловым потоком и различным временем пребывания уже образовавшейся коксовой структуры в зоне высоких температур. В результате этого в кусках проявляется направленная неоднородность по прочности пористого материала.

Изложенное выше говорит о том, что коэффициент пропорциональности в уравнении (1) зависит от уже выполненной работы, т.е.

$$K_i = f(A) \quad (2)$$

Если разрушить кокс в металлическом барабане, то, как показали опыты, изменение прочностных свойств кокса в зависимости от числа оборотов барабана происходит по кривой, аналогичной по форме кривой, описывающей степенную функцию. Это дало основание для предположения зависимости K от A в виде степенной функции, а поскольку значения K уменьшается, показатель степени – число отрицательное.

Изменение K вызвано неоднородностью кусков кокса, поэтому можно записать:

$$K_i = K_{oi} A^{-T_{oi}}, \quad (3)$$

где K_{oi} – коэффициент пропорциональности для идеально однородных кусков;

T_{oi} – показатель, зависящий от уровня неоднородности кокса

Подставив выражение (3) в (1), получим:

$$- \frac{d[C]_i}{dA} - K_{oi} A^{-T_{oi}} [C]_i, \quad (4)$$

После разделения переменных, интегрирования, определения и подстановки постоянной, получили:

$$[c_n]_i = [c_o] \cdot \exp(-m_i n^{ti}) \quad (5)$$

где m_i и n^{ti} - показатели, характеризующие интенсивность убывания в общей массе кокса количества кусков, %, превышающих размер i , то есть суммарного остатка на сите с размером ячеек i мм.

Установлено, что m_i и n^{ti} постоянны при описании процесса разрушения конкретного кокса и поэтому они названы константами. Группой уравнений типа (5), отличающихся предельным размером кусков рассматриваемой массы (i), может быть определено диспергирование в процессе разрушения. Если разрушение происходит в барабане, то число оборотов барабана n непосредственно связано со временем протекания процесса. Поэтому уравнение (5) может быть названо уравнением, описывающим кинетику процесса разрушения.

Имея результаты разрушения кокса на двух уровнях, n_1 и n_2 , можно вычислить константу t_i :

$$t_i = \frac{\frac{\ln \ln [C_o]_i}{[C_{n_2}]_i} - \frac{\ln \ln [C_o]_i}{[C_{n_1}]_i}}{\ln \left(\frac{n_2}{n_1} \right)}, \quad (6)$$

где $[C_o]_i, [C_{n_1}]_i, [C_{n_2}]_i$ - суммарный остаток, %, на сите i в коксе исходном, после n_2 и n_1 оборотов барабана, соответственно.

Зная t_i , можно найти m_i по уравнению:

$$m_i = n^{-t_i} \cdot \ln \frac{[c_o]_i}{[c_n]_i} \quad (7)$$

Определив значение констант процесса, можно по уравнению (5) вычислить суммарные остатки на ситах на разных ступенях разрушения n . Далее, зная $[C]_i$, можно вычислить содержание любого класса крупности в общей массе по соотношениям типа (7) – (10):

$$[C]_{60-80} = [C]_{60} - [C]_{80} \quad (8)$$

$$[C]_{25-40} = [C]_{25} - [C]_{40} \quad (9)$$

$$[C]_{0-10} = 100 - [C]_{10} \quad (10)$$

Адекватность приведённых выше уравнений реальному процессу разрушения доказана на большом количестве экспериментального материала. При этом доказано, что уравнения приемлемы для кокса слоевого способа производства различного состава угольной шихты, условий коксования и способа тушения, при разрушении методом наложения некоторого числа равных воздействий, независимо от их интенсивности и характера до весьма большой глубины. Например, в малом стандартном барабане, называемом также Микум-барабан при количестве оборотов до 2000.

Обобщающую картину диспергации насыпной массы даёт изменение среднего диаметра кусков. Как известно, диаметр – характеристика тела шаровой формы. Когда используется такой параметр для тел, далёких по форме от шара, применяют вычисление по так называемому определяющему свойству. Это значит, что находят диаметр гипотетического шара, который имеет такое же свойство (поверхность, объём или другое), как у характеризуемого тела. В случае характеристики среднего размера кусков чаще других используется просто среднестатистический размер, вычисляемый по формуле (11):

$$D_{cp} = \sum \frac{a_i \cdot d_i}{100} \quad (11)$$

где d_i - средний размер класса (например, для класса 60-80 мм это 70 мм);

a_i – количество этого класса в общей массе, %.

Для описания процесса истирания кокса используется гармоническим диаметром, D^r , так как он связан с поверхностью, а истираемость может быть охарактеризована приращением поверхности на единицу работы. D^r вычисляется по формуле:

$$D^r = \frac{100}{\sum \frac{a_i}{d_i}} \quad (12)$$

Динамика уменьшения среднего диаметра кокса при разрушении описывается формулой:

$$D_n = D_0 \exp(-\delta \cdot n^x), \quad (13)$$

где D_n и D_0 - средние диаметры кусков в исходной насыпной массе и после n числа воздействий, соответственно;

δ и x – константы процесса изменения диаметров при разрушении.

При этом для различия зависимости при использовании средневзвешенного и гармонического диаметров в последнем случае вместо δ пишем Δ , и вместо x пишем x' , то есть:

$$D_n^r = D_0^r \cdot \exp(-\Delta \cdot n^{x'}) \quad (14)$$

Численная характеристика показателя x или x' находится по формуле, аналогичной (6):

$$x = \frac{\ln \ln [D_0]_i / [D_{n2}]_i - \ln \ln [D_0]_i / [D_{n1}]_i}{\ln(n_2 / n_1)} \quad (15)$$

$$x' = \frac{\ln \ln [D_0^r]_i / [D_{n2}^r]_i - \ln \ln [D_0^r]_i / [D_{n1}^r]_i}{\ln(n_2 / n_1)} \quad (16)$$

Аналогично формуле (7) находятся константы.

Например:

$$\delta = n^{-x} \cdot \ln \frac{D_0}{D_n} \quad (17)$$

$$\Delta = n^{-x'} \cdot \ln \frac{D_0^r}{D_n^r} \quad (18)$$

Анализ большого числа экспериментальных данных показал, что для определённого способа разрушения и отмеченной крупности кусков (i), константы t_i изменяются в небольшом диапазоне. Если принять их постоянными величинами, то в некоторой степени это корректируется при вычислении величины m_i , и, следовательно, описание процесса разрушения, до глубины 200-300 оборотов Микум–барабана, сохраняет адекватность. Аналогично может быть упрощено и описание процесса изменения средних диаметров.

Ход процесса разрушения при его реализации в различных условиях представляет интерес во многих случаях, и он неоднократно исследовался прямым экспериментом. Разработка математической модели преобразования состава кокса создала предпосылку для аналитического исследования процесса разрушения кокса, имеющего место в практике его транспортирования потребителям и подготовке к использованию. Понятно, что при перегрузках с транспортёра на транспортёр или при погрузке в железнодорожные вагоны и других операциях кокс разрушается не так, как это имеет место при его испытании. В то же время, зная динамику разрушения кокса в каком-либо испытательном барабане и преобразования насыпной массы при реальном процессе, можно найти такое число оборотов барабана, которое воспроизводит изменение фракций i . Такое число оборотов называют эквивалентным или барабанным эквивалентом, однако правильней называть этот термин «Условная эквивалентная величина механической нагрузки» (УЭВМН).

УЭВМН – называют идентификацией диспергирования. Идентификацией диспергирования можно не только находить по данным испытания в одном аппарате результаты испытания в любом другом (если известны соотношения констант процесса), но и находить прошлое состояние насыпной массы и прогнозировать будущий состав кокса после нахождения величин n_3 .

Известно, что качество кокса во многом определяет эффективность (в том числе и экономическую) металлургических процессов. Известно также, что по мере разрушения кокса его прочность возрастает, казалось бы – не проблема: надо разрушить кокс до получения максимальной прочности. Но, при разрушении часть кокса переходит из состояния металлургического в коксовую мелочь. Ценность её значительно ниже ценности металлургического кокса. Таким образом, ни металлурги, ни коксохимики не заинтересованы в разрушении кокса, несмотря на то, что более прочный кокс имеет более высокую цену. Типичная картина взаимодействия противоречивых процессов. В таких случаях вопрос решается нахождением оптимума. Иначе говоря, определением такой меры разрушения, при которой переход части металлургического кокса в мелкие фракции будет компенсирован повышением стоимости оставшейся части крупного кокса и повышением эффективности его использования.

1.2 Установление констант разрушения кокса разных классов крупности

Здесь и далее, для простоты и удобства в расчетах будем использовать табличный редактор MS Excel (аналогичные операции можно выполнить и в любом другом табличном редакторе, например в таблицах Google, Open Office и т.д.).

В расчетах исходим из данных, получаемых ОТК предприятия – поставщика ежесменных рассевов из стандартного испытания проб товарного кокса. Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

$$M_{25} = 84,55, M_{10} = 8,178$$

В этом случае в барабан для испытания (кокс класса >25 мм) будет загружаться соответственно по классам, %:

$$\begin{aligned} +80: & \frac{15}{0,973} = 15,416, \\ 60-80: & \frac{25,9}{0,973} = 26,618, \\ 40-60: & \frac{42,5}{0,973} = 43,679, \\ 25-40: & \frac{13,9}{0,973} = 14,285, \end{aligned}$$

где $0,973 = (100 - 2,7) / 100$ – коэффициент пересчета состава;

2,7 – количество класса <25мм;

Полученные данные представлены в таблице 1 в виде суммарных остатков товарного кокса. Это исходные данные для расчетов. Здесь также представлены и некоторые другие, последовательно, аналитически получаемые данные. Суммарные остатки находят сложением количества классов – больших, чем определенный размер.

Так, остаток на сите 60 мм, % => 80 мм, % + (60-80) мм, %;

Остаток на сите 40 => 60 + (40-60), или, по – другому, >40 => 80 + (60-80) + (40-60) и так далее (указываем только одну сторону квадрата).

Ранее показано, что изменение суммарного остатка (%) на сите i при разрушении в барабане любой конструкции до 2000 оборотов описывается уравнением (5):

$$C_{ni} = C_{oi} \exp(-m_i n_i^{ti}),$$

где C_{oi} и C_{ni} – суммарные остатки на сите i (иначе говоря – куски кокса размерами больше, чем i , мм) соответственно в исходном коксе и после n оборотов барабана;

m_i, t_i – константы процесса разрушения для суммарных остатков кокса на ситах i .

Константа t_i связана с однородностью кусков и интенсивностью ее проявления. Известно, что для малого барабана при глубине разрушения порядка 300-400 оборотов значения t_i могут быть приняты постоянными. Их величина приведена в таблице 1.

Имея экспериментально установленные значения C_{oi} и C_{ni} , приняв постоянными значения t_i , для условий стандартного испытания ($n=100$) можно вычислить константы прочности m для суммарных остатков на ситах i по формуле (7):

$$m_i = (100^{t_i}) \ln \left(\frac{C_{oi}}{C_{ni}} \right)$$

Таблица 1 – Результаты анализа и расчета параметров гранулометрического состава кокса на разных стадиях его транспортировки

	A	B	C	D	E	F	G	H
	i	$[(C)_{ti}]$ Состав товарного кокса	$>25\text{мм}$ в товарном коксе (C_0)	Для 100об (C_{100i})	Постоянная деградации (t_i)	m_i	Состав предскипового кокса $[(C)_{nc}]$	Предскиповый после 100 об. ($C_{nc+100об}$)
13	$>80\text{мм}$	15	15,41	0,1	0,4	0,798	3,55	0,091
14	$>60\text{мм}$	40,9	42,03	8,25	0,5	0,162	23,95	7,506
15	$>40\text{мм}$	83,4	85,71	50,65	0,55	0,1041	62,6	45,604
16	$>25\text{мм}$	97,3	100	84,55	0,65	0,008	89,75	80,312
17	$>10\text{мм}$	98,8	100	91,82	0,7	0,003	94,87	89,277

1.3 Определение эквивалентного числа оборотов барабана (n_{zi}) для прогнозирования состава предскипового кокса

После логарифмирования уравнения (5) и незначительных преобразований можно увидеть, что:

$$n_{zi} = i \sqrt{\frac{\ln(c_{ii} / c_{nci})}{m_i}} \quad (19)$$

где C_{ti} и C_{nci} - суммарные остатки на сите i соответственно товарного и предскипового кокса.

Фактически разрушению подвергается кокс всего спектра крупности, включая и класс <25 мм, поэтому расчет ведем исходя из состава товарного кокса, а не из состава >25 мм, как в случае вычисления констант m_i .

Предположим, что за период отбора проб товарного кокса, состав которого указан ранее (представлен в таблице 1, колонка St_i), отбирали пробу предскипового кокса. Рассев этой пробы до и после 100 оборотов барабана соответствует по фракциям *i* данным, представленным в таблице 1.

Если занести результаты исследования состава предскипового кокса по фракциям *i* в колонку G таблицы 1, то для вычисления пэ80 в произвольной ячейке следует набрать:

$$= \left(\frac{LN \left(\frac{B13}{G13} \right)}{F13} \right)^{\frac{1}{E13}}$$

В ячейке появится значение пэ80, равное 4,58. Аналогично, копированием формулы рассчитываем пэ для остатков на ситах 60; 40; 25 и 10 мм.

1.4 Расчет гранулометрического состава скипового кокса

По данным предварительных экспериментальных исследований был установлен состав предскипового кокса и состав подрешетного продукта грохота. Допустим, что данные соответствуют представленным в таблице 2 (строки 15,16).

Из процентного количества мелочи <25 мм (замусоренности) предскипового кокса (10%) вычитаем количество этого же класса, ушедшего в отсев (8,28%). Допускаем, что класс >25 мм в отсева (2,04%) представлен только кусками размером 25-40 мм. Вычитаем из количества класса 25-40 мм в предскиповом коксе (27,15%) количества кокса, перешедшего в «провал» (2,04%). Получаем остаток предскипового кокса, попадающий в скип, таблица 2 строка 17).

Пересчитываем результаты для получения общей суммы 100% (делим % каждого класса на (100-% отсева)/100, т.е на 0,916). Получаем состав скипового кокса (строка 18 таблица 2).

Следует заметить, что количество и состав подрешетного продукта грохочения могут изменяться по двум причинам: разработка (износ) классифицирующих отверстий и изменение количества мелочи в предскиповом коксе. Влияние износа грохотов устанавливают экспериментально, для чего определяют состав подрешетного продукта, как минимум в начале, так и в конце компании работы грохота. Эти данные служат основанием для нахождения в дальнейшем количества кокса >25 мм в отсеваемой мелочи расчетным путем.

Определение потерь от измельчения

Используя вычисленные данные о составе предскипового кокса (таблица 2, строка 20) можно прогнозировать с определенной степенью точности количество потерь от измельчения. Практически это инверсная задача поиска состава скипового кокса. Иными словами, допускаем, что замусоренность скипового кокса и количество кокса >25 мм, переходящего в подрешетный продукт с мелочью, сохраняются постоянными.

Таблица 2

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Кокс		Гранулометрический состав (%) по классам, мм					Сум., %	
			>80	60-80	40-60	25-40	<25		
15	Предскиповый		3,55	20,4	38,65	27,15	5,12	5,12	100
16	Отсев на грохоте, %		0	0	0	2,04	0	0	10,32
17	Надрешетны кокс		3,55	20,04	38,65	25,11	5,12	5,12	89,67
18	Скиповый, %		3,96	22,80	43,19	28,06	0	0	100
19	Предскиповый +100об		0,091	7,41	38,09	34,70	8,96	10,7	100
20	Отсев до скипа, %		0	0	0	2,04			89
21	Остаток, %		0,091	7,41	38,09	32,66			67
22	Скиповый +100 об.		0,103	8,39	43,12	36,97			100

Вычислив состав предскипового кокса, находим разность между количествами класса <25 мм в предскиповом и скиповом коксе. Получаем количество мелочи в потерях от измельчения (в % от использованного кокса).

1.5 Определение газопроницаемости и плотности насыпной массы кокса

При транспортировке кокса одним из важнейших показателей является насыпная масса кокса. Установлено, что для товарного кокса, в пределах разрушения до 100 оборотов Микум-барабана включительно, зависимость насыпной массы от фракционного состава описывается уравнениями:

$$\rho = 420,6 + 171\gamma_{40-60} - 391\gamma_{>60}\gamma_{40-60} - 232\gamma_{40-60}\gamma_{25-40} + 288\gamma_{40-60}\gamma_{<25} + 1047\gamma_{25-40}\gamma_{<25}, \text{ кг/м}^3 \quad (20)$$

где γ – количество кокса класса крупности, указанного в подстрочном индексе, в долях единицы.

Можно вести расчет по формуле:

$$\rho = 420,6 + 1,71a_{40-60} - 0,0391(a_{>80} + a_{80-60})a_{40-60} - 0,0232a_{40-60}a_{25-40} + 0,0288a_{40-60}a_{<25} + 0,105a_{25-40}a_{<25}, \text{ кг/м}^3 \quad (21)$$

где a – количество кокса класса крупности, указанного в подстрочном индексе, в процентах.

Для доменного процесса играет роль газопроницаемость насыпной массы кокса, и это свойство многократно устанавливали экспериментально. Обработка опубликованных данных привела к следующему виду зависимости удельной газопроницаемости от гранулометрического состава:

а) для не разрушавшегося кокса, мм. вод. ст/м:

$$\Delta P_0 = 7,6 - 5,2\gamma_{>60} - 3,0\gamma_{40-60} + 19,0\gamma_{<25} + 5,1\gamma_{>60}\gamma_{25-40} \quad (22)$$

где γ – количество кокса класса крупности, указанного в подстрочном индексе, в долях единицы.

Для получения результата в Па/м расчет ведут по формуле:

$$\Delta P_o = 74.5 - 51\gamma_{>60} - 29.6\gamma_{40-60} + 186.2\gamma_{<25} + 50\gamma_{>60}\gamma_{25-40} \quad (23)$$

б) для кокса после 100 оборотов Микум–барабана применяют:

$$\Delta P_n = 4,4 + 145\gamma_{<25} - 274\gamma_{>60}\gamma_{<25} - 82,7\gamma_{<25}\gamma_{25-40} \quad (24)$$

2 Методические указания по выполнению курсовой работы

2.1 Задание для выполнения курсовой работы (по вариантам)

Выполнить прогноз качества кокса для конечных потребителей (доменного производства) используя метод условных эквивалентов механической нагрузки. Выполнить прогноз потерь кокса в доменном производстве от измельчения.

При значении M25 менее 91% и M10 более 6%, а также среднего диаметра более 50мм или содержания фракции +80 более 10% определить уровень механической обработки в аппарате для получения заданных свойств кокса (АПЗСК), работающего в каскадно-водопадном режиме.

Подлежат определению:

- 1) Стандартные показатели прочности скипового кокса (M25 и M10);
- 2) Константы дробимости и истираемости;
- 3) Гармонические диаметры кусков кокса;
- 4) Средний диаметр кусков кокса у конечного потребителя;
- 5) Гидравлическое сопротивление насыпной массы кокса конечного потребителя;
- 6) Насыпная плотность скипового кокса;
- 7) Потери кокса от измельчения, %

Исходные данные для выполнения работы представлены ниже.

2.2 Тема курсовой работы

Прогноз качества кокса для конечного потребителя

2.3 Исходные данные

Данные по составу кокса за сменную выработку:

Таблица 3

кокс	состав, %, по классам, мм					в том числе	
	>80	80-60	60-40	40-25	<25	25--10	<10
товарный	14,8+ n/10	26- n/20	42,4+ n/20	14,1- n/20	По ост- татку	1,6-n/70	По ост.
после 100 об	0+n/2 0	8,2- n/40	42,4+ n/40	33,9- n/20	По ост- татку	7,3-n/70	По ост.
Доменное производство							
Показатель	Фракция						
	>80	>60	>40	>25	>10		
Состав предскипового кокса, Спс, %	3,6- n/40	24- n/40	62,4+n /10	89,7+n/40	94,9-n/70		
t _{iy}	0,4	0,5	0,55	0,65	0,7		
среднее количество провала, %							10,3+n/90
в том числе :							
<25 мм							8,3-n/50
40--25 мм:							По ост.

2.4 Основная литература

1) Справочник коксохимика. В 6-и томах. Том 2. Производство кокса/ Под ред. А.К. Шелкова - М.: Металлургия, 1965. - 288 с.

2) Справочник коксохимика. В 6-и томах. Том 6, Экономика, организация и управление коксохимическим предприятием / Под ред. А. М. Приступы, канд. экон. наук Е. И. Котлярова, В. А. Корниловой.- Харьков: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2010.- 320 с.

3) Кауфман А.А. Технология коксохимического производства: Учебное пособие/А.А. Кауфман, Г.Д. Харлампович — Екатеринбург: ВУХИН-НКА, 2005. — 288 с.

4) Глуценко И.М. Прогноз качества кокса /И.М. Глуценко - М.: Металлургия, 1976. – 200 с.

2.5 Лабораторное оборудование и методики, которые должны быть использованы:

Если необходимые значения того или иного свойства находятся за пределами представленного в справочных материалах диапазона изменения физических условий (температур, давлений, концентраций), то следует прибегнуть к методам экстраполяции. При отсутствии сведений можно воспользоваться подобием физико-химических свойств, правилом линейности химико-технологических функций и другими расчетными методами.

2.6 Использование ЭВМ:

Пакет прикладных офисных программ MS Office.

2.7 План выполнения курсовой работы

Таблица 4

Название разделов работы	Форма промежуточной отчетности	Примечания
Введение	Предоставление материалов на электронном или бумажном носителях	Рассмотреть проблематику и актуальность темы работы в условиях современного производства кокса
Обзор методов прогнозирования качественных показателей кокса	Предоставление материалов на электронном или бумажном носителях	Среди рассматриваемых методов подробно описать метод условных эквивалентов механической нагрузки.
Расчетная часть	Предоставление материалов на электронном или бумажном носителях	По выданным значениям технологических параметров выполнить расчет следующих показателей качества кокса: - стандартные показатели прочности скипового кокса (M25 и M10); -средний диаметр кусков кокса; -константы дробимости и истираемости; -гармонические диаметры; -гидравлическое сопротивление насыпной массы кокса и насыпная плотность кокса; -потери кокса от измельчения, %
Выбор типового оборудования по рассчитанным параметрам	Предоставление материалов на электронном или бумажном носителях	При значении M25 менее 91% и M10 более 6%, а также среднего диаметра более

		50мм или содержания фракции +80 более 10% определить уровень механической обработки в аппарате для получения заданных свойств кокса (АПЗСК), работающего в каскадно-водопадном режиме.
Заключение	Предоставление материалов на электронном или бумажном носителях	Подвести итог проделанным вычислениям.

3 Выполнение курсовой работы

3.1 Расчет состава товарного кокса + 25 мм по классам и после 100 оборотов

Товарный кокс +25 мм ($\alpha_{тк, 25(i)}$) по классам рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{тк, 25(i)} = \alpha_{тк(i)} / (100 - \alpha_{тк-25(i)}) * 100 \quad (25)$$

где i – класс товарного кокса, фракции кокса;
-25 – класс товарного кокса.

Для класса 25 – 10 товарный кокс (+25мм) должны иметь выход 0%, проверим расчеты по формуле:

$$\alpha_{тк, 25(25-10)} = 100 - \alpha_{тк 25(80)} + \alpha_{тк 25(80-60)} + \alpha_{тк 25(60-40)} + \alpha_{тк 25(40-25)}, \quad (26)$$

Товарный кокс +25 мм после 100 оборотов ($\text{Стк}_{25+100(i)}$) рассчитывается по формуле:

$$\text{Стк}_{25+100(i)} = \alpha_{тк+100(i)} / (100 - \alpha_{тк+100(-25)}) * 100 \quad (27)$$

Для класса 25 – 10 товарный кокс +25 мм после 100 оборотов Микум-барабана рассчитывается по формуле:

$$\text{Стк}_{25+100(25-10)} = 100 - \text{Стк}_{25+100(80)} + \text{Стк}_{25+100(80-60)} + \text{Стк}_{25+100(60-40)} + \text{Стк}_{25+100(40-25)}, \quad (28)$$

3.2 Расчет фракционного состава товарного кокса

Состав товарного кокса ($\text{Стк}(i)$) для фракции +80 рассчитывается по формуле:

$$\text{Стк}(80) = \alpha_{тк}(80) \quad (29)$$

Состав товарного кокса ($\text{Стк}(i)$) для фракции +60 рассчитывается по формуле:

$$\text{Стк}(60) = \alpha_{тк}(80) + \alpha_{тк}(80-60), \quad (30)$$

Состав товарного кокса ($\text{Стк}(i)$) для фракции 40 рассчитывается по формуле:

$$\text{Стк}(40) = \alpha_{тк}(80) + \alpha_{тк}(80-60) + \alpha_{тк}(60-40) \quad (31)$$

Состав товарного кокса ($\text{Стк}(i)$) для фракции +25 рассчитывается по формуле:

$$\text{Стк}(25) = \alpha_{тк}(80) + \alpha_{тк}(80-60) + \alpha_{тк}(60-40) + \alpha_{тк}(40-25) \quad (32)$$

Состав товарного кокса ($\text{Стк}(i)$) для фракции +10 рассчитывается по формуле:

$$\text{Стк}(10) = \text{Стк}(25) + \alpha_{тк}(25-10) \quad (33)$$

Состав товарного кокса +25мм $\text{C}_{0;25(i)}$ для фракции +80 рассчитывается по формуле:

$$\text{C}_{0;25(80)} = \alpha_{тк, 25(80)} \quad (34)$$

Состав товарного кокса +25мм $\text{C}_{0;25(i)}$ для фракции +60 рассчитывается по формуле:

$$\text{C}_{0;25(60)} = \alpha_{тк, 25(80)} + \alpha_{тк, 25(80-60)} \quad (35)$$

Состав товарного кокса +25мм $\text{C}_{0;25(i)}$ для фракции +40 рассчитывается по формуле:

$$C_{0;25}(40) = \alpha_{тк, 25}(80) + \alpha_{тк, 25}(80-60) + \alpha_{тк, 25}(60-40) \quad (36)$$

Состав товарного кокса +25мм C_{0;25}(i) для фракции +25 рассчитывается по формуле:

$$C_{0;25}(25) = \alpha_{тк, 25}(80) + \alpha_{тк, 25}(80-60) + \alpha_{тк, 25}(60-40) + \alpha_{тк, 25}(40-25) \quad (37)$$

Состав товарного кокса +25мм C_{0;25}(i) для фракции +10 равен 100%.

Состав для разрушенного кокса (C₁₀₀(i)) для фракции +80 рассчитывается по формуле:

$$C_{100}(80) = C_{тк+100}(80) \quad (38)$$

Состав для разрушенного кокса (C₁₀₀(i)) для фракции +60 рассчитывается по формуле:

$$C_{100}(60) = C_{тк+100}(80) + C_{тк+100}(80-60) \quad (39)$$

Состав для разрушенного кокса (C₁₀₀(i)) для фракции +40 рассчитывается по формуле:

$$C_{100}(40) = C_{тк+100}(80) + C_{тк+100}(80-60) + C_{тк+100}(60-40) \quad (40)$$

Состав для разрушенного кокса (C₁₀₀(i)) для фракции +25 рассчитывается по формуле:

$$C_{100}(25) = C_{тк+100}(80) + C_{тк+100}(80-60) + C_{тк+100}(60-40) + C_{тк+100}(40-25) \quad (41)$$

Состав для разрушенного кокса (C₁₀₀(i)) для фракции +10 рассчитывается по формуле:

$$C_{100}(10) = C_{100}(25) + C_{тк+100}(40-25) \quad (42)$$

Постоянная деградации (t(i)) для фракций выбирается по справочным данным (приведены в задании):

$$t(i) = t(i),y \quad (43)$$

Для фракции +80: t(80) = t(80),y = 0,4.

Для фракции +60: t(60) = t(60),y = 0,5.

Для фракции +40: t(40) = t(40),y = 0,55.

Для фракции +25: t(25) = t(25),y = 0,65.

Для фракции +10: t(10) = t(10),y = 0,7.

Постоянная деградация (m(i)) для фракций рассчитывается по формуле:

$$m_i = (100^{-t_i}) * \ln(C_{0;25}(i) / C_{100}(i)) \quad (44)$$

Состав предскипового кокса (C_{спс}(i)) для фракций равен составу предскипового кокса доменного производства (C_{спсд.пр}(i))

$$C_{спс}(i) = C_{спсд.пр}(i) \quad (45)$$

Уровень эквивалентного воздействия на кокс при транспортировке в доменное производство nэ(i) рассчитывается по формуле:

$$nэ(i) = \ln(C_{0;25}(i) / C_{спс}(i)) / \left(m_i^{\frac{1}{t_i}}\right) \quad (46)$$

Предскиповый кокс после 100 оборотов (C_{спсф+100}(i)) рассчитывается по формуле:

$$C_{спсф+100}(i) = C_{0;25}(i) * \exp(-m_i * nэ_i + 100^{t_i}) \quad (47)$$

3.3 Расчет состава предскипового и скипового кокса по классам

Состав предскипового кокса (a_{пс}(i)) для класса +80 считается по формуле:

$$a_{пс}(80) = C_{спс}(80) \quad (48)$$

Состав предскипового кокса (a_{пс}(i)) для класса 80 – 60 считается по формуле:

$$\alpha_{пс}(80-60) = \Sigma_{пс}(60) - \Sigma_{пс}(80) \quad (49)$$

Состав предскипового кокса ($\alpha_{пс}(i)$) для класса 60 – 40 считается по формуле:

$$\alpha_{пс}(60-40) = \Sigma_{пс}(40) - \Sigma_{пс}(60) \quad (50)$$

Состав предскипового кокса ($\alpha_{пс}(i)$) для класса 40 – 25 считается по формуле:

$$\alpha_{пс}(40-25) = \Sigma_{пс}(25) - \Sigma_{пс}(40) \quad (51)$$

Состав предскипового кокса ($\alpha_{пс}(i)$) для класса -25 считается по формуле:

$$\alpha_{пс}(-25) = 100 - \Sigma_{пс}(25) \quad (52)$$

Состав предскипового кокса ($\alpha_{пс}(i)$) для класса 25 – 10 считается по формуле:

$$\alpha_{пс}(25-10) = \Sigma_{пс}(10) - \Sigma_{пс}(25) \quad (53)$$

Состав предскипового кокса ($\alpha_{пс}(i)$) для класса -10 считается по формуле:

$$\alpha_{пс}(-10) = 100 - \Sigma_{пс}(10) \quad (54)$$

Суммарный состав предскипового кокса ($\alpha_{пс\text{сумм}}$) = 100% рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{пс\text{сумм}} = \alpha_{пс}(80) + \alpha_{пс}(80-60) + \alpha_{пс}(60-40) + \alpha_{пс}(40-25) + \alpha_{пс}(-25) \quad (55)$$

Отсев на грохоте (G_i) для классов 80; 80-60; 60-40 принимаем равными нулю.
Отсев на грохоте (G_i) для класса 40-25 рассчитывается по формуле:

$$G(40-25) = \Pi(40-25) \quad (56)$$

Отсев на грохоте (G_i) для класса -25 рассчитывается по формуле:

$$G(-25) = \Pi(-25) \quad (57)$$

Суммарный отсев на грохоте ($G_{\text{сумм}}$), рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{сумм}} = G_{80} + G_{80-60} + G_{60-40} + G_{40-25} + G_{-25} \quad (58)$$

Состав над решётчатого кокса ($\alpha_{над}(i)$) рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{над}(i) = \alpha_{пс}(i) - G_i \quad (59)$$

Суммарный состав над решётчатого кокса ($\alpha_{над\text{ сумм}}$) рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{над\text{ сумм}} = \alpha_{над}(80) + \alpha_{над}(80-60) + \alpha_{над}(60-40) + \alpha_{над}(40-25) + \alpha_{над}(-25) \quad (60)$$

Состав скипового кокса ($\alpha_{сп}(i)$) рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{сп}(i) = \alpha_{над}(i) * (100 - \alpha_{над}(-25)) / (\alpha_{над\text{ сумм}} - \alpha_{над}(-25)) \quad (61)$$

Состав скипового кокса для класса -25 ($\alpha_{сп}(-25)$) равен составу надрешётчатого кокса ($\alpha_{над}(-25)$):

Суммарный состав скипового кокса ($\alpha_{сп\text{сумм}}$) = 100% рассчитывается по формуле:

$$\text{асп сумм} = \text{асп}(80) + \text{асп}(80-60) + \text{асп}(60-40) + \text{асп}(40-25) + \text{асп}(-25) \quad (62)$$

Предскиповый кокс после 100 оборотов для класса 80 (Спск+100(80)) равен предскиповому коксу после 100 оборотов для фракции +80 (Спсф+100(80)):

Предскиповый кокс после 100 оборотов для класса 80-60 (Спск+100(80-60)) рассчитывается по формуле:

$$\text{Спск}+100(80-60) = \text{Спсф}+100(60) - \text{Спсф}+100(80) \quad (63)$$

Предскиповый кокс после 100 оборотов для класса 60-40 (Спск+100(60-40)) рассчитывается по формуле:

$$\text{Спск}+100(60-40) = \text{Спсф}+100(40) - \text{Спсф}+100(60) \quad (64)$$

Предскиповый кокс после 100 оборотов для класса 40-25 (Спск+100(40-25)) рассчитывается по формуле:

$$\text{Спск}+100(40-25) = \text{Спсф}+100(24) - \text{Спсф}+100(40) \quad (65)$$

Предскиповый кокс после 100 оборотов для класса -25 (Спск+100(-25)) рассчитывается по формуле:

$$\text{Спск}+100(-25) = 100 - \text{Спсф}+100(25) \quad (66)$$

Предскиповый кокс после 100 оборотов для класса 25-10 (Спск+100(25-10)) рассчитывается по формуле:

$$\text{Спск}+100(25-10) = \text{Спсф}+100(10) - \text{Спсф}+100(25) \quad (67)$$

Предскиповый кокс после 100 оборотов для класса -10 (Спск+100(-10)) рассчитывается по формуле:

$$\text{Спск}+100(-10) = 100 - \text{Спсф}+100(10) \quad (68)$$

Суммарный предскиповый кокс после 100 оборотов (Спск+100 сумм)=100% рассчитывается по формуле:

$$\text{Спск}+100 \text{ сумм} = \text{Спск}+100(80) + \text{Спск}+100(80-60) + \text{Спск}+100(60-40) + \text{Спск}+100(40-25) + \text{Спск}+100(-25) \quad (69)$$

Отсев до скипа (F_i) для классов 80; 80-60; 60-40 принимаем равными 0.

Отсев до скипа для класса 40-25 (F₄₀₋₂₅) равно количеству провала для класса 40-25 (П₄₀₋₂₅).

Отсев до скипа для класса -25 (F₋₂₅) равно количеству провала для класса -25 (П₋₂₅).

Суммарный отсев до скипа F_{сумм} рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{сумм}} = F_{80} + F_{80-60} + F_{60-40} + F_{40-25} + F_{-25} \quad (70)$$

Остаток (Q_i) рассчитывается по формуле:

$$Q_i = \text{Спск}+100(i) - F_i \quad (71)$$

Суммарный остаток (Q_{сумм}) рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{сумм}} = Q_{80} + Q_{80-60} + Q_{60-40} + Q_{40-25} + Q_{-25} \quad (72)$$

Скиповый кокс после 100 оборотов для класса (Ссп+100(i)) рассчитывается по формуле:

$$\text{Ссп}+100(i) = Q_i * (100 - Q_{-25}) / (Q_{\text{сумм}} - Q_{-25}) \quad (73)$$

Суммарный скиповый кокс после 100 оборотов (Ссп+100 сумм) рассчитывается по формуле:

3.4 Определение показателей прочности M10 и M25

Показатель прочности M10 для товарного кокса равен товарному коксу после 100 оборотов для класса -10:

$$M10_{atk} = C_{тк} + 100(-10)$$

Показатель прочности M25 для товарного кокса равен разрушенному коксу для фракции +25:

$$M25_{atk} = C100(25)$$

Показатель прочности M10 для предскипового кокса рассчитывается по формуле:

$$M10_{апс} = 100 - C_{пс} + 100(10) \quad (75)$$

Показатель прочности M25 для предскипового кокса равен предскиповому коксу после 100 оборотов для фракции +25:

$$M25_{апс} = C_{псф} + 100(25)$$

Показатель прочности M10 для скипового кокса рассчитывается по формуле:

$$M10_{асп} = (100 * (C100(10) - C_{псф} + 100(10)) / Q_{сумм}) \quad (76)$$

Показатель прочности M25 для скипового кокса рассчитывается по формуле:

$$M25_{асп} = (100 * (100 - C_{сп} + 100(-25)) / (100 - \alpha_{сп}(-25))) \quad (77)$$

3.5 Расчет дополнительных параметров скипового кокса

Средний диаметр кусков скипового кокса (D0) рассчитывается по формуле:

$$D0 = (90 * \alpha_{сп}(80) + 70 * \alpha_{сп}(80-60) + 50 * \alpha_{сп}(60-40) + 32,5 * \alpha_{сп}(40-25) + 12,5 * X_{\alpha_{сп}(-25)}) / 100 \quad (78)$$

Средний диаметр кусков скипового кокса после 100 оборотов (Dn) рассчитывается по формуле:

$$Dn = (90 * C_{сп+100}(80) + 70 * C_{сп+100}(80-60) + 50 * C_{сп+100}(60-40) + 32,5 * X_{C_{сп+100}(40-25)} + 12,5 * C_{сп+100}(-25)) / 100 \quad (79)$$

Константа дробимости (δ) рассчитывается по формуле:

$$\delta = 100 - 0,4 * \ln(D0/Dn) \quad (80)$$

Гидравлическое сопротивление (ΔP_0), Па/м, рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_0 = 74 - 0,51 * (\alpha_{сп}(80) + \alpha_{сп}(80-60)) - 0,29 * \alpha_{сп}(60-40) + 1,86 * \alpha_{сп}(-25) - 0,005 * X_{(\alpha_{сп}(80) + \alpha_{сп}(80-60)) * \alpha_{сп}(40-25)} \quad (81)$$

Гидравлическое сопротивление (ΔP_{100}), Па/м, рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{100} = 43 + 14,2 * C_{сп+100}(-25) - 0,24 * (C_{сп+100}(80) + C_{сп+100}(80-60)) * X_{C_{сп+100}(-25)} \quad (82)$$

Гидравлическое сопротивление (ΔP), Па/м, рассчитывается по формуле:

Насыпная плотность скипового кокса $\rho_{сп}$, кг/м³, рассчитывается по формуле:

$$\rho_{сп} = 420,6 + \alpha_{сп}(60-40) / 100 * (171 - 3,91 * (\alpha_{сп}(80-60) + \alpha_{сп}(80)) - 2,32 * \alpha_{сп}(40-25) + 2,88 * \alpha_{сп}(-25)) + 0,1 * \alpha_{сп}(40-25) * \alpha_{сп}(-25) \quad (84)$$

Насыпная плотность скипового кокса после 100 оборотов ($\rho_{сп+100}$), кг/м³, рассчитывается по формуле:

$$\rho_{сп+100} = 420,6 + C_{сп+100}(60-40) / 100 * (171 - 3,91 * (C_{сп+100}(80-60) + C_{сп+100}(80)) - 2,32 * C_{сп+100}(40-25) + 2,88 * C_{сп+100}(-25)) + 0,1 * C_{сп+100}(40-25) * C_{сп+100}(-25) \quad (85)$$

Гармонический диаметр кусков скипового кокса ($d_{гр}$), мм, рассчитывается по формуле:

$$d_{гр} = 100 / (\alpha_{сп}(80)/90 + \alpha_{сп}(80-60)/70 + \alpha_{сп}(60-40)/50 + \alpha_{сп}(40-25)/32,5 + \alpha_{сп}(-25)/12,5) \quad (86)$$

Гармонический диаметр кусков скипового кокса ($d_{гр+100}$), мм, рассчитывается по формуле:

$$d_{гр+100} = 100 / (C_{сп+100}(80) / 90 + C_{сп+100}(80-60)/70 + C_{сп+100}(60-40) / 50 + C_{сп+100}(40-25) / 32,5 + C_{сп+100}(-25) / 12,5) \quad (87)$$

Константа истираемости (Δ) рассчитывается по формуле:

$$\Delta = 100 - 0,35 * \ln(d_{гр} / d_{гр+100}) \quad (88)$$

Библиографический список

1. Анищенко В. С., Динамические системы, Соросовский образовательный журнал, 1997, № 11, с. 77-84.
2. Арнольд В. И. Жёсткие и мягкие математические модели. - М.: МЦНМО, 2004. - ISBN 5-94057-134-4.
3. Безручко Б. П., Смирнов Д. А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. - Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005.- ISBN 5-94409-045-6.
4. Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Н. Г. Прикладная математика: Предмет, логика, особенности подходов. С примерами из механики: Учебное пособие. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: УРСС, 2006. - 376 с. - ISBN 5-484-00163-3
5. Введение в математическое моделирование. Учебное пособие. Под ред. П. В. Трусова. - М.: Логос, 2004. - ISBN 5-94010-272-7.
6. Вероятностные разделы математики / Под ред. Ю. Д. Максимова. - Спб.: «Иван Фёдоров», 2001. - 592 с. - ISBN 5-81940-050-X.
7. Горбань А. Н., Хлебопрос Р. Г., Демон Дарвина: Идея оптимальности и естественный отбор. - М: Наука. Гл ред. физ.-мат. лит., 1988. - 208 с. - (Проблемы науки и технического прогресса) - ISBN 5-02-013901-7 (Глава «Изготовление моделей»)
8. Данилов Ю. А., Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение. Серия «Синергетика: от прошлого к будущему». Изд.2. - М.: URSS, 2006. - 208 с. ISBN 5-484-00183-8
9. Дьяконов В. П. Matlab R2006/2007/2008. Simulink 5/6/7. Основы применения. Серия: Библиотека профессионала. - М.: Солон-Пресс, 2008. - 800 с. - ISBN 978-5-91359-042-8
10. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. - 456с.
11. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. - 167 с.
12. Зайцевский И.В., Свиридов А.П., Слесарев Д.А. Нейронные сети и их приложения. - М.: МЭИ, 2002. - 95с.
13. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. - 287с.
14. Краснощёков П. С., Петров А. А. Принципы построения моделей. - издание второе, пересмотренное и дополненное. - М.: ФАЗИС; ВЦ РАН, 2000. - 412 с. - (Математическое моделирование; Вып.1). - ISBN 5-7036-0061-8.
15. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. - М.: Горячая линия - Телеком, 2001. - 382с.
16. Лазарев А.И., Харламов И.П., Яковлев П.Я., Яковлева Е.Ф. Справочник химика-аналитика.- М.: Металлургия, 1976.- с 184
17. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Матлаб 6. - М.: Диалог МИФИ, 2002. - 496с.
18. Мучник Д.А, Гуляев В.М. Расчеты и прогнозирование показателей качества металлургического кокса с использованием ПК. Учебное пособие для студентов специальности 7.090401 «Металлургия чёрных металлов», 7.091604 «Химическая технология топлива и углеродных материалов». - Днепродзержинск.:издательство Днепродзержинского государственного технического университета, 2007. - 225 с.
19. Мышкис А. Д., Элементы теории математических моделей. - 3-е изд., испр. - М.: КомКнига, 2007. - 192 с. - ISBN 978-5-484-00953-4
20. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. - М.: Горячая линия - Телеком, 2001. - 182с.
21. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 344с.
22. Петров А. А., Поспелов И. Г., Шананин А. А. Опыт математического моделирования экономики. - М.: Энергоатомиздат, 1996. - 544 с. – ISBN 5 - 7036 - 0061-8.
23. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. - 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2001. - ISBN 5-9221-0120-X.

24. Севостьянов, А. Г. Моделирование технологических процессов: учебник / А. Г. Севостьянов, П. А. Севостьянов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 344 с.
25. Советов Б. Я., Яковлев С. А., Моделирование систем: Учеб. для вузов - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 2001. - 343 с. - ISBN 5-06-003860-2
26. Тарков М.С. Нейрокомпьютерные системы. М.: БИНОМ, 2006. - 142с.
27. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. - М.: Мир, 1992.
28. Цымбал Б. П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии. - Кемерово-Москва: «Российские университеты» Кузбассвузиздат - АСТШ, 2006. - ISBN 5-202-00925-9.
29. Model Reduction and Coarse-Graining Approaches for Multiscale Phenomena (англ.). Springer, Complexity series, Berlin-Heidelberg-New York, 2006. XII+562 pp. ISBN 3-540-35885-4. Проверено 18 июня 2013. Архивировано из первоисточника 19 июня 2013.
30. Peierls R. Model-Making in Physics. — Contemp. Phys., January/February 1980, v. 21, pp. 3-17; Перевод: Пайерлс Р., Построение физических моделей, УФН, 1983, № 6.

САБЛИН АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
по выполнению курсовой работы
для студентов направления подготовки 18.03.01 Химическая технология,
очной и заочной форм обучения

Подписано в печать 16.12.2020 г.		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег. № 235	Печать цифровая Тираж 10 экз.	Уч.-изд.л. 1,56

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Новотроицкий филиал
462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.
E-mail: nf@misis.ru
Контактный тел. 8 (3537) 679729.

