

ХИМИЯ

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 4, Number 302 (2015), 78 – 84

Analysis of convergence and limit of the amount of functional series for fractional composition of materials in successive destruction

V.P. Malyshev, Yu.S. Zubrina, D.A. Kaikenov, A.M. Makasheva

Chemical and metallurgical institute named after Zh. Abishev, Karaganda

eia_hmi@mail.ru

Key words: convergence, functional series, analysis, destruction, probabilistic and deterministic model, sum of the series.

Abstract. Probabilistic and deterministic model of sequential destruction of materials is a series of functions, definable not only by the multiplicity of grinding but also the impact of the set (about 15) factors. Probabilistic component summarizes the rate constant for each fraction of the material, and deterministic component accounts not only the destruction, but also the replenishment of the fraction due to the formation of fragments from the previous fractions. Convergence of this functional series is grounded for convergence of its constituent simpler series relating to changes in the geometric size fractions and the rate constant. Limit of the amount of functional series is exactly equal to unity for any variations in the parameters of destruction, due originally equality to unit of initial fractional composition and analytical accounting sequential transmutability fractions. The obtained results were confirmed by the calculations for working conditions of industrial mills and the first time characterizes this probabilistic-deterministic model as guaranteed the strict observance of the balance of the fractions to the extent of the process.

УДК 51+622.73

Анализ сходимости и предела суммы функционального ряда для фракционного состава материалов при последовательной деструкции

В.П. Малышев, Ю.С. Зубрина, Д.А. Кайкенов, А.М. Макашева

Химико-металлургический институт имени Ж. Абисева

eia_hmi@mail.ru

Ключевые слова: сходимость, функциональный ряд, анализ, деструкция, вероятностно-детерминированная модель, сумма ряда.

Аннотация. Вероятностно-детерминированная модель последовательной деструкции материалов представляет собой функциональный ряд, определяемый помимо кратности измельчения воздействием множества (порядка 15) факторов. Вероятностная составляющая обобщает константу скорости процесса для каждой фракции материала, а детерминированная учитывает не только деструкцию, но и пополнение фракции за счет образования осколков от предыдущих фракций. Сходимость данного функционального ряда обоснована по сходимости входящих в него более простых рядов, относящихся к изменению геометрического размера фракций и константы скорости процесса. Помимо этого установлено, что предел суммы функционального ряда строго равен единице при любой вариации параметров деструкции ввиду изначально заданного равенства единице исходного фракционного состава и аналитического учета последовательной превращаемости фракций. Полученные результаты подтверждены расчетами для условий работы промышленных мельниц и впервые характеризуют данную вероятностно-детерминированную модель как гарантирующую строгое соблюдение баланса фракций по мере протекания процесса.

В работах [1-3] представлена вероятностно-детерминированная модель измельчения материалов, которая впервые позволила рассчитывать полный фракционный состав (P_n , доли единицы) в любой момент времени в зависимости от достаточно полного числа действующих факторов:

$$P_n = f(d_{1 \dots n}, \gamma_s, G_s, d_w, \gamma_w, G_w, \gamma_e, G_e, D, \omega, E_a, M, T, P_{01 \dots 0n}, \tau), \quad (1)$$

где $d_{1 \dots n}$ – средние размеры измельчаемых фракций, м; γ_s – плотность зернового материала фракций, кг/м³; G_s – масса зернового материала в мельнице, кг; d_w – диаметр мелющих тел (шаров), м; γ_w – плотность материала шаров, кг/м³; G_w – масса шаровой загрузки, кг; γ_e – плотность воды, кг/м³; G_e – масса воды мельнице, кг; D – внутренний диаметр мельницы, м; ω - частота вращения мельницы, с⁻¹; E_a – энергия активации разрушения зерен, Дж/моль; T – абсолютная температура, К; $P_{01 \dots 0n}$ – исходный фракционный состав измельчаемого материала, доли единицы (д.е.); τ - продолжительность процесса, с.

Вероятностная составляющая рассматриваемой модели основана на обобщенном вероятностном представлении процесса и скорости соударений при превращениях взаимодействующих тел в химических, механических и любых подобных системах [4-6]:

$$\nu = ZP_{\text{конц}}P_{\text{ст}}P_a, \quad (2)$$

где Z - частота соударения; $P_{\text{конц}}$ – вероятность совместного обнаружения взаимодействующих тел в любом элементарном объеме реакционного пространства (концентрационный фактор); $P_{\text{ст}}$ – вероятность наиболее эффективной взаимной ориентации взаимодействующий тел (стериический фактор); P_a – вероятность разрушения материала путем преодоления энергетического барьера активации (активационный фактор).

Раскрытие вероятностных факторов через параметры работы мельницы (1) приводит к выражению константы разрушения для фракции со средним размером зерен d_n

$$k_n = \frac{8[(d_n/d_w) - (d_n/d_w)^2]}{(1 - 2\omega\sqrt{2D/g})(G_w/\gamma_w + G_s/\gamma_s + G_e/\gamma_e)^2 \gamma_w \gamma_s} \exp\left(-\frac{E_a}{RT + MgD(\gamma_w/\gamma_s)(d_w/d_n)^3}\right), \text{с}^{-1}, \quad (3)$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с²; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К).

Детерминированная составляющая модели получается при строгом решении системы из n дифференциальных уравнений, учитывающих не только скорость разрушения, но и накопления n -ой фракции за счет осколков от предыдущих фракций

$$\frac{dP_n}{d\tau} = k_{n-1}P_{n-1} - k_nP_n. \quad (4)$$

При этом удалось найти выражение для общего члена функционального ряда [7-9]:

$$P_n = P_{0n}e^{-k_n\tau} + \sum_{j=1}^{n-1} P_{0j} \prod_j^{n-1} k_j \sum_j^n \frac{e^{-k_j\tau}}{\prod_{\substack{j,i=1 \\ i \neq j}}^n (k_i - k_j)}, \text{д.е.} \quad (5)$$

Здесь первое слагаемое учитывает убыль n -ой фракции в результате собственного разрушения, а второе слагаемое фиксирует накопление осколков размером d_n за счет разрушения предыдущих, более крупных фракций.

Анализ сходимости и суммы ряда $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$

Непосредственный анализ сходимости и предела суммы данного ряда представляется затруднительным, как это вообще характерно для функциональных рядов [10], однако возможен предварительный анализ встроенных в этот ряд мажорантных рядов (по признаку Вейерштрасса). Первая мажоранта относится к последовательности изменения размера фракций, которая может быть выражена формулой для ряда $\sum_{n=1}^{\infty} d_n$

$$d_{n+1} = d_n/q, \quad (6)$$

где $q = const > 1$, т.к. разрушение зерен сопровождается уменьшением их размера. Общий член ряда, представленный через размер самой крупной (первой) фракции,

$$d_n = d_1/q^{n-1} \quad (7)$$

удовлетворяет необходимому признаку сходимости Коши

Достаточный признак сходимости Даламбера также соблюдается (8)

$$\frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{d_1 q^n}{d_1 q^{n+1}} = \frac{1}{q} < 1. \quad (9)$$

Более сложной является вторая мажоранта, выражаемая последовательностью констант скорости измельчения $\sum_{n=1}^{\infty} k_n$. В ней варьируемым параметром при прочих равных условиях является d_n , и если объединить прочие параметры соответствующими постоянными величинами a, c, f , то выражение (3) сводится к виду

$$k_n = a[(d_n/d_{\text{ш}}) - (d_n/d_{\text{ш}})^2] \exp\left[-\frac{E_a}{c + f(d_{\text{ш}}/d_n)^3}\right]. \quad (10)$$

Условием сохранения положительных значений k_n является $d_n < d_{\text{ш}}$, причем по мере измельчения $d_n \rightarrow 0$ согласно (8), поэтому для старших членов ряда вычитаемым $(d_n/d_{\text{ш}})^2$ можно пренебречь. В экспоненте второе слагаемое знаменателя, напротив, приобретает доминирующее значение, стремясь к бесконечности, ввиду $\lim_{n \rightarrow \infty} (d_{\text{ш}}/d_n)^3 = (d_{\text{ш}}/0)^3 = \infty$. При этом предельное выражение для экспоненты примет форму

$$(11) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \exp\left[-\frac{E_a}{c + f(d_n/d_{\text{ш}})^3}\right] = \exp\left[-\frac{E_a}{\infty}\right] = 1$$

С учетом полученных упрощений для старших членов ряда формула (10) редуцируется до вида

$$k_n = ad_n/d_{\text{ш}}. \quad (12)$$

По признаку Коши ряд $\sum_{n=1}^{\infty} k_n$ сходится, т.к. $d_n \rightarrow 0$:

$$(13) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} k_n = \lim_{n \rightarrow \infty} (ad_n/d_{\text{ш}}) = 0,$$

что подтверждается и признаком Даламбера (с учетом (9)):

$$(14) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{k_{n+1}}{k_n} = \frac{a d_{n+1}/d_{\text{ш}}}{d_{\text{ш}} ad_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} < 1.$$

С учетом сходящихся мажорантных рядов $\sum_{n=1}^{\infty} d_n$ и $\sum_{n=1}^{\infty} k_n$ можно проанализировать сходимость основного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$ (5). Для старших членов ряда по признаку Коши первое слагаемое ряда $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$ является сходящимся:

$$(15) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} (P_{0n} e^{-k_n \tau}) = 0 e^{-0\tau} = 0 \cdot 1 = 0.$$

Необходимо пояснить, что начальный фракционный состав, каким бы произвольным он не задавался в интервале суммы, равной единице, при пользовании формулой (5) всегда дополняется старшими членами, равными нулю, число которых определяется принятой точностью расчета P_n и в принципе устремлено в бесконечность.

Ввиду заданности условия $\sum_{n=1}^{\infty} P_{0n} = 1$ первое слагаемое ряда $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$, а именно $\sum_{n=1}^{\infty} P_{0n} e^{-k_n \tau}$, является сходящимся, т.к. отображает суммарную убыль каждой фракции во времени, и для любой τ $P_{0n} e^{-k_n \tau} \leq P_{0n}$, ввиду чего $\sum_{n=1}^{\infty} P_{0n} e^{-k_n \tau} \leq 1$.

Во втором слагаемом ряду $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$ анализ старших членов позволяет сделать следующее. Этот ряд представляет собой сумму произведений констант скоростей в виде основного фрагмента

$$\sum_{j=1}^{n-1} P_{0j} \prod_{j=1}^{n-1} k_j,$$

и поскольку при $n \rightarrow \infty$ $k_{n-1} \rightarrow 0$ ввиду условия (13), то за счет этого каждое слагаемое $P_{0j} \prod_{j=1}^{n-1} k_j$ обнуляется и сама сумма стремится к нулю.

Таким образом, признак сходимости Коши для этого слагаемого ряда $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$, как и для первого слагаемого, соблюдается. Что касается признака Даламбера, то в данном случае обоснование его представляется затруднительным из-за необходимости рассмотрения по крайней мере предела

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^{n-1} P_{0j} \prod_{j=1}^{n-1} k_j}{\sum_{j=1}^{n-2} P_{0j} \prod_{j=1}^{n-2} k_j}.$$

Однако сходимость ряда $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$ может быть обоснована непосредственно через сумму этого ряда, которая однозначно определяется задаваемой суммой начального содержания фракций, строго равной единице, $\sum_{n=1}^{\infty} P_{0n} = 1$. Это строгое равенство единице соблюдается при дальнейших превращениях ввиду аналитического решения системы дифференциальных уравнений (4), обеспечивающего строгое соответствие уменьшения доли предыдущего класса P_{n-1} приращению предыдущего класса P_n с константой интегрирования, содержащей величину P_{0n} для каждой строки системы [7]. Другими словами, строгая детерминация последовательной деструкции вещества путем решения системы дифференциальных уравнений дает результат, адекватный закону сохранения исходной суммы содержания фракций для любой полноты превращений этих фракций.

Более того, исходное содержание может быть задано непосредственно в размерных единицах массы, объема или процентах, и это не изменит строгости решения системы дифференциальных уравнений по этим переменным. Таким образом, сумма рассматриваемого функционального ряда может быть выражена как

$$\sum_{n=1}^{\infty} P_n = \sum_{n=1}^{\infty} P_{0n}. \quad (16)$$

Но долевое представление исходных данных и конечных результатов является более универсальным. Оно становится необходимым, если использовать фракционный состав для расчета энтропии измельчения по динамике изменения долевого содержания фракций [8]. Поскольку любое размерное представление множества можно выразить через долевое с помощью постоянного коэффициента пропорциональности, то сходимость размерного ряда сохраняется, если обеспечена сходимость долевого.

Расчетная часть

С целью проверки и иллюстрации полученных результатов воспользуемся разработанной вероятностно-детерминированной моделью (4), (5) применительно к сухому измельчению монофракции кварцевой руды, т.е. при $P_{01} = 1$, $P_{02 \dots \infty} = 0$, с характеристиками $d_1 = 0,01 \text{ м}$, $M_{SiO_2} = 0,0601 \text{ кг/моль}$, $\gamma_3 = 2650 \text{ кг/м}^3$, $E_a = \Delta H_m = 9170 \text{ Дж/моль}$. В качестве промышленного образца взяты характеристики мельницы Жезказганской обогатительной фабрики МШЦ 3,6×4,0: $d_{ш} = 0,06 \text{ м}$, $m = 0,883 \text{ кг}$, $\gamma_{ш} = 7874 \text{ кг/м}^3$, $G_{ш} = 60000 \text{ кг}$, $\gamma_3 = 2650 \text{ кг/м}^3$, $G_3 = 18760 \text{ кг}$, $W = 0,267 \text{ с}^{-1}$, $G_B = 0 \text{ кг}$, $\gamma_B = 1000 \text{ кг/м}^3$, $D = 3,36 \text{ м}$. Другие постоянные: $T = 298 \text{ K}$, $R = 8,31441 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$, $g = 9,807 \text{ м/с}^2$. Типичные условия последовательного разрушения зерен согласно [11] подчиняются образованию каждый раз восьми осколков, что эквивалентно уменьшению диаметра в два раза

$$d_n = d_1 (1/2)^{n-1}. \quad (17)$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимости константы скорости измельчения k_n и выхода фракции P_n от размера зерна d_n и продолжительности τ

n	d_n , м	k_n , с ⁻¹	P_n при τ , с							
			0	60	120	180	240	600	1200	3600
1	0,01	$2,687 \cdot 10^{-3}$	1	0,851	0,724	0,617	0,525	0,199	0,040	0
2	0,005	$8,346 \cdot 10^{-3}$	0	0,116	0,170	0,187	0,185	0,092	0,019	0
3	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,192 \cdot 10^{-2}$	0	0,026	0,066	0,097	0,115	0,079	0,017	0
4	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$7,334 \cdot 10^{-3}$	0	0,006	0,031	0,069	0,107	0,153	0,043	0
5	$6,25 \cdot 10^{-4}$	$3,799 \cdot 10^{-3}$	0	0,001	0,008	0,026	0,056	0,242	0,150	0
6	$3,125 \cdot 10^{-4}$	$1,915 \cdot 10^{-3}$	0	0	0,001	0,004	0,012	0,177	0,337	0,013
7	$1,562 \cdot 10^{-4}$	$9,605 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0,001	0,052	0,291	0,159
8	$7,812 \cdot 10^{-5}$	$4,809 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0	0,006	0,092	0,428
9	$3,906 \cdot 10^{-5}$	$2,406 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0	0	0,011	0,316
10	$1,953 \cdot 10^{-5}$	$1,203 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0	0	0,001	0,077
11	$9,766 \cdot 10^{-6}$	$6,018 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0	0	0	0,007
12	$4,883 \cdot 10^{-6}$	$3,009 \cdot 10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0
13	$2,441 \cdot 10^{-6}$	$1,505 \cdot 10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0
14	$1,221 \cdot 10^{-6}$	$7,524 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	–	–	1	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000	1,001	1,000

Все три ряда, $\sum_{n=1}^{\infty} d_n$, $\sum_{n=1}^{\infty} k_n$, $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$, являются сходящимися по критерию Коши, т.к. во всех случаях старшие члены ряда устремляются к нулю. По признаку Даламбера первый ряд дает отношение

$$\frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{1}{2} < 1$$

для всех смежных членов ряда и, как известно для суммы ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = 2$, сходится, имея предел с учетом (17) $\sum_{n=1}^{\infty} d_n = 2d_1$. Второй ряд в области младших членов имеет максимум при $n=3$, но затем по мере возрастания n образует зависимость:

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
k_{n+1}/k_n	0,615	0,518	0,504	0,502	0,501	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500

чем подтверждается его сходимость. Однако сумму ряда в общем случае аналитически выразить затруднительно, поскольку для младших членов приближения, использованные при анализе старших членов, являются недействительными. Вообще каждый раз определение суммы ряда требует творческого решения и не имеет строгого алгоритма, как, впрочем, и взятие интегралов.

Это особенно наглядно отображается характером рядов $\sum_{n=1}^{\infty} P_n$ при различной продолжительности процесса. Во всех случаях члены ряда устремляются к нулю, изменяясь при возрастании n от монотонно убывающей зависимости через переходную к экстремальной и затем к логарифмически нормальному распределению. Что касается предела отношения P_{n+1}/P_n , то оно не может быть выражено определенным числом ввиду сложной зависимости не только от n , но и от τ , что вообще характерно для функциональных рядов, а тем более для ряда с функцией вида (1). Поэтому в данном случае необходимым и достаточным условием сходимости ряда является аналитически обусловленное равенство $\sum_{n=1}^{\infty} P_n = 1$.

Общий вид зависимости $P_n = f(n, \tau)$ при вышеуказанных условиях представлен на рис. 1.

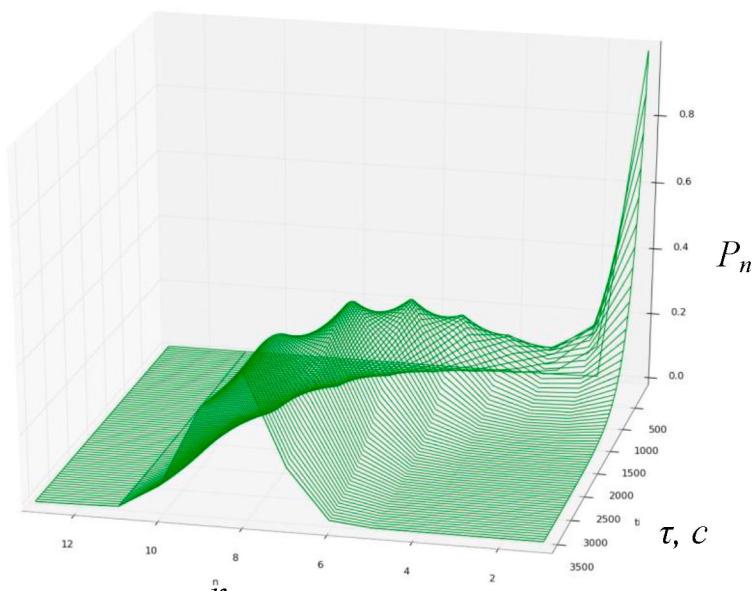


Рисунок 1 – Зависимость фракционного состава (P_n) от кратности n и продолжительности измельчения зерна (τ, c)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Малышев В.П. Новый аспект в теории измельчения руд и управления этим процессом // Обогащение руд. – 1995. – № 4-5. – С. 4-14.
- [2] Малышев В.П., Турдукожаева А.М., Кайкенов Д.А. Развитие теории измельчения руд на основе молекулярной теории соударений и формальной кинетики последовательных реакций // Обогащение руд. – 2012. – № 4. – С. 29-35.
- [3] Малышев В.П., Макашева А.М., Бектурганов Н.С., Токбулатов Т.Е., Кравченко В.Г., Кайкенов Д.А. Использование вероятностной модели измельчения для анализа и прогнозирования работы промышленной мельницы // Обогащение руд. – 2014. – N4. – С. 3-7.
- [4] V.P. Malyshev, A.M. Turdukozhayeva (Makasheva). What Thunder There and is not Heard When Using Ball Mills? // Journal of Materials Science and Engineering A. – 2013. – № 2. – V. 3. – P. 131-144.
- [5] Малышев В.П. молекулярный шарм и гремящее торнадо барабанных шаровых мельниц // Энциклопедия инженера-химика. – 2013. N9. – с. 54-59; V10. – к. 56-60; N11. – с. 44-52.
- [6] Malyshev V.P., Makashova A.M. Unated nature and model chemical and mechanical reactions of consecutive destruction of substance/ Theoretical and experimental Chemistry. Abstracts of the V-th International science conference. – Karaganda, 2014. P. 31
- [7] Малышев В.П., Турдукожаева А.М., Кайкенов Д.А. Разработка математической модели последовательной деструкции вещества методом прямого интегрирования // Доклады НАН РК. – 2012. – № 4. – С. 5-13.
- [8] Малышев В.П., Турдукожаева (Макашева) А.М., Бектурганов Н.С., Кайкенов Д.А. Логарифмически нормальное распределение фракций при измельчении материалов как атTRACTор в вероятностной модели процесса // ДАН РК. – 2013. – № 6. – С. 46-53.
- [9] Малышев В.П., Макашева А.М., Зубрина Ю.С. Общий вид интегралов при разложении сложной дробной функции на элементарные // ДАН РК. – 2014. – N6. – с. 11-14.
- [10] Яу Ш., Надис С. Теория струн и скрытые измерения Вселенной. – СПб.: Питер, 2014. – с. 147.
- [11] Ходаков Г.С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. 308 с.

REFERENCES

- [1] Malyshev V.P. Novyj aspekt v teorii izmel'chenija rud i upravlenija jetim processom // Obogashhenie rud. – 1995. – № 4-5. – P. 4-14. (in Russ).
- [2] Malyshev V.P., Turdukozhayeva A.M., Kajkenov D.A. Razvitiye teorii izmel'chenija rud na osnove molekuljarnoj teorii soudarenij i formal'noj kinetiki posledovatel'nyh reakcij // Obogashhenie rud. – 2012. – № 4. – P. 29-35. (in Russ).
- [3] Malyshev V.P., Makasheva A.M., Bekturganov N.S., Tokbulatov T.E., Kravchenko V.G., Kajkenov D.A. Ispol'zovanie verojatnostnoj modeli izmel'chenija dlja analiza i prognozirovaniya raboty promyshlennoj mel'nicy // Obogashhenie rud. – 2014. – N4. – P. 3-7. (in Russ).
- [4] V.P. Malyshev, A.M. Turdukozhayeva (Makasheva). What Thunder There and is not Heard When Using Ball Mills? // Journal of Materials Science and Engineering A. – 2013. – № 2. – V. 3. – P. 131-144. (in Eng.).
- [5] Malyshev V.P. molekuljarnyj sharm i gremjashhee tornado barabannyyh sharovyh mel'nic // Jenciklopedija inzhenerahimika. – 2013. N9. – p. 54-59; V10. – k. 56-60; N11. – p. 44-52. (in Russ).
- [6] Malyshev V.P., Makasheva A.M. Unated nature and model chemical and mechanical reactions of consecutive destruction of substance/ Theoretical and experimental Chemistry. Abstracts of the V-th International science conference. – Karaganda, 2014. P. 31. (in Eng.).
- [7] Malyshev V.P., Turdukozhayeva A.M., Kajkenov D.A. Razrabotka matematicheskoy modeli posledovatel'noj destrukcii veshhestva metodom prjamogo integrirovaniya // Doklady NAN RK. – 2012. – № 4. – P. 5-13. (in Russ).
- [8] Malyshev V.P., Turdukozhayeva (Makasheva) A.M., Bekturganov N.S., Kajkenov D.A. Logarifmicheski normal'noe raspredelenie frakcij pri izmel'chenii materialov kak attraktor v verojatnostnoj modeli processa // DAN RK. – 2013. – № 6. – P. 46-53. (in Russ).
- [9] Malyshev V.P., Makasheva A.M., Zubrina Ju.S. Obshhij vid integralov pri razlozenii slozhnoj drobnoj funkci na jelementarnye // DAN RK. – 2014. – N6. – p. 11-14. (in Russ).
- [10] Jau Sh., Nadis S. Teoriya strun i skrytye izmerenija Vselennoj. – SPb.: Piter, 2014. – p. 147. (in Russ).
- [11] Hodakov G.S. Fizika izmel'chenija. – M.: Nauka, 1972. 308p. (in Russ).

**ДӘЙЕКТІ ДЕСТРУКЦИЯ КЕЗІНДЕГІ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ФРАКЦИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫНА АРНАЛҒАН
ҚЫЗМЕТТИК ҚАТАР ЖИНАҚТЫЛЫҒЫ МЕН СОММАСЫ ШЕГІНІҢ ТАЛДАУЫ**

В.П.Малышев, Ю.С.Зубрина, Д.А.Кайкенов, А.М.макашева
Ж.Әбішев атындағы химия-металлургия институты
eia_hmi@mail.ru

Тірек сөздер: жинақтылық, функционалдық қатарды, талдау, деструкция, ықтималды-детерминді модель, қатарды соммасы.

Аннотация. Материалдардың дәйекті деструкциясының ықтималды-детерминді модель үсакталу еселігінен басқа көптеген (шамамен 15) фактордың әсерімен анықталатын қызметтік қатар болып табылады. Үіктимал құрамдас болік материалдың әрбір фракциясы үшін үрдіс жылдамдығының константасын жалпыласа, детерминді құрамдас болік тек қана деструкцияны ғана емес, бұған дейінгі фракциялардан пайда болған сыйықтардың есебінен фракциялардың толығуын да есепке алады. Аталған қызметтік қатардың жинақтылығы құрамындағы фракциялардың геометриялық өлшемі мен үрдіс жылдамдығы константасының өзгеруіне жататын едәуір жай қатарлардың жинақтылығымен негізделген. Бұдан басқа қызметтік қатар соммасының шегі деструкция өлшемдерінің кез келген өзгеруі кезінде шығыс фракциялық құрам мен фракциялардың дәйекті өзгеруінің аналитикалық есебінің бастанқыдан белгіленген бірлікке теңдігінен дәл бірлікке тең екендігі анықталған. Алынған нәтижелер өнеркәсіптік дірмендердің жұмыс істеу жағдайларының есебімен расталған және алғаш рет жоғарыда айтылған ықтималды-детерминді модельді үрдістің өту шамасына қарай фракциялар тепе-тендігін қатаң түрде сакталуына кепілдік ретінде сипаттайды.

Поступила 16.07.2015 г.