

Зюзин Борис Федорович,  
 д.т.н., профессор, ТГТУ, Тверь

Жигульская Александра Ивановна,  
 к.т.н., доцент, ТГТУ, Тверь

Рыльский Сергей Александрович,  
 аспирант, ТГТУ, Тверь

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЛЕНИЯ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУР MODELING OF DIVISION OF PEAT SYSTEMS

**Аннотация:** Предложены модели деления, разрушения структурных систем с учётом фрактального подхода в оценке формирования структуры разрушения на примере торфяных агрегатов.

**Abstract:** Models of division and destruction of structural systems are proposed, taking into account the fractal approach in assessing the formation of the structure of destruction on the example of peat aggregates.

**Ключевые слова:** Разрушение, фрактальная размерность, торфяные агрегаты.

**Keywords:** Destruction, fractal dimension, peat aggregates.

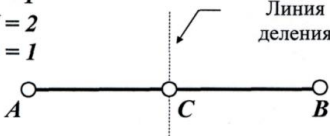
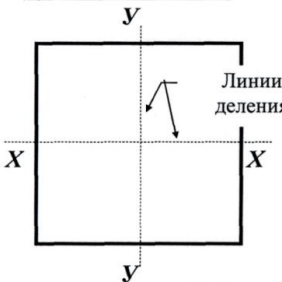
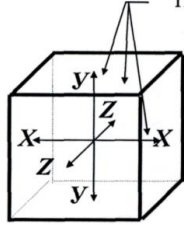
Приведём пример моделирования наиболее распространенного природного явления – деления структурной системы [1, 3, 4].

Эти процессы лежат в основе биологических процессов деления клетки, разрушения горных пород, радиоактивного распада и т.д.

В таблице 1 отображены модели дискретного деления: отрезка на две части, деления плоскости (поверхности) в двух направлениях и деления объёма (пространства) в трёх координатных плоскостях.

Таблица 1

Модели деления структурных систем

Расчетная схема деления	Модельное уравнение
<p><u>Деление отрезка</u></p> <p><math>E = 1</math>  <math>N = 2</math>  <math>D = 1</math></p> 	<p><math>N = (E + 1),</math></p> <p>где <math>N</math> - число образующихся частиц,  <math>E</math> - количество линий деления</p>
<p><u>Деление плоскости</u></p> <p><math>E = 1</math>  <math>N = 4</math>  <math>D = 2</math></p> 	<p><math>N = (E + 1)^2</math></p> <p>Параметр нелинейности деления структурной системы</p> <p><math>X_A = E/(N - 1)</math></p>
<p><u>Деление объема</u></p> <p><math>E = 1</math>  <math>N = 9</math>  <math>D = 3</math></p> 	<p><math>N = (E + 1)^3</math></p> <p>Обобщенные зависимости</p> <p><math>N = (E + 1)^D,</math>  <math>X_A = (E^D \sqrt[D]{N - 1}) / (N - 1),</math></p> <p>где <math>D</math> - фрактальная размерность структурной системы (мерность)</p>



Модели построены исходя из предположения первоначальной изотропности структуры делимого материала. Сам процесс деления обусловлен различными факторами, как внутреннего характера, так и внешними воздействиями. Совокупность этих факторов формирует напряжённо-деформированное состояние в реальных природных объектах.

Поскольку деление связано с изменением размеров пространства, то оно по сути дела отражает процесс изменения мерности структурного объекта или системы его организации. Достаточным условием осуществления деления является единственное ограничение, которое определяет минимальное количество частиц, образующихся в процессе – не менее двух.

Для линейной задачи деления при  $D=1$  параметр нелинейного состояния структурной системы при  $E=0$  равен  $XA = E / (E + 1 - 1) = 1$ .

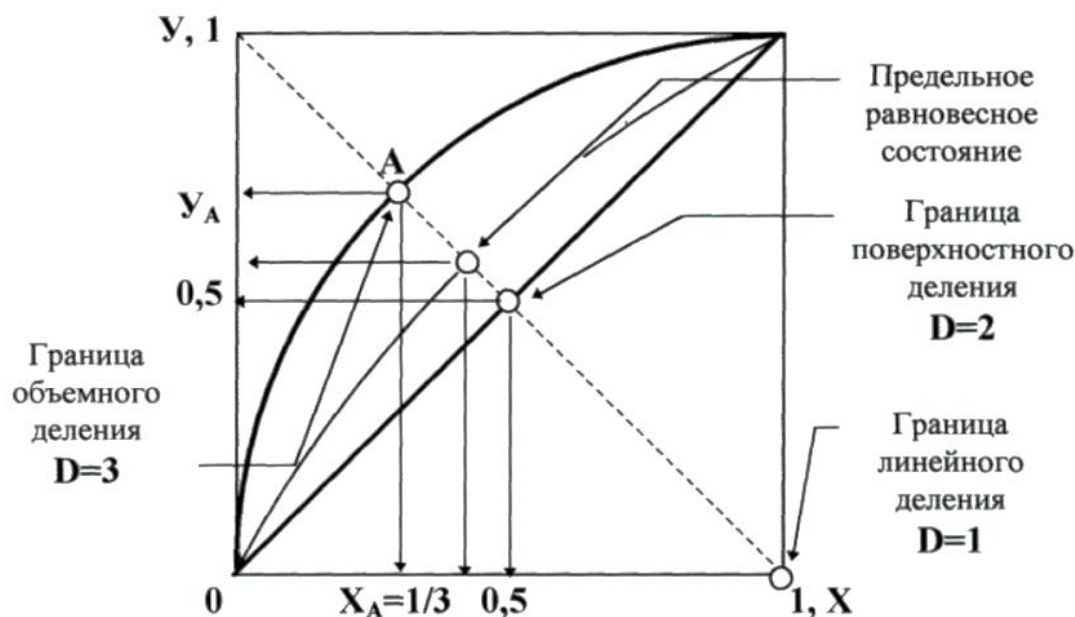
Для поверхностной задачи деления ( $D=2$ ) изотропной структурной системы получаем условие разрушения при  $E=0$

$$XA = E / [(E + 1)2 - 1] = 1 / (E + 2) \leq 1/2.$$

Для объёмной задачи деления изотропного тела в случае, когда  $D=3$  при  $E=0$ ,

$$XA = 1 / (E2 + 3E + 3) \leq 1/3.$$

На рисунке 1 приведены области деления структурной системы, представленные в системе приведенных координат.



Влияние интенсивности деления структурной системы  $E$  на параметр нелинейности  $XA$  характеризуется зависимостью  $XA = E / [(E + 1)D - 1]$ .

Можно установить своеобразную качественную классификацию областей деления (разрушения) структурной системы по диапазону изменения ее мерности (фрактальной размерности):

- точечное разрушение –  $D < 1$ ,
- линейное деление –  $1 < D < 2$ ,
- поверхностное разрушение –  $2 < D < 3$ ,
- объёмное деление –  $D > 3$ .

В таблице 2 приведены фрактальные характеристики структуры торфов, представляющих один из объектов естественно природной структурной системы.



Таблица 2

**Фрактальная размерность структур агрегатов торфяных систем (по данным И.И. Лиштвана, Б.А. Богатова, М.И. Кулака [2])**

Группа и вид торфа	Фрактальная размерность $D$ торфа типа:		
	низинного	переходного	верхового
Средние значения для типа торфа	2,406	2,247	2,091
Ольховый	2,411	-	-
Березовый	2,411	-	-
Еловый	2,367	-	-
Сосновый	2,637	-	-
Группа древесная	2,472	2,286	2,031
Древесно-осоковый	2,274	-	-
Древесно-тростниковый	2,425	2,247	-
Сосново-пушицевый	-	-	2,086
Группа древесно-травяная	2,502	2,277	2,085
Древесно-гипновый	2,329	-	-
Древесно-сфагновый	2,441	2,192	2,172
Группа древесно-моховая	2,385	2,193	2,172
Тростниковый	2,392	-	-
Вахтовый	2,202	-	-
Осоковый	2,406	2,403	-
Шейхцериевый	2,275	2,193	2,118
Группа травяная	2,370	2,298	2,100
Осоково-гипновый	2,512	-	-
Осоково-сфагновый	2,433	2,037	-
Пушицево-сфагновый	-	-	2,081
Шейхцерицево-сфагновый	-	-	2,146
Группа травяно-моховая	2,472	2,019	2,106
Сфагновый	2,064	2,106	2,114
Гипновый	2,398	2,245	-
Фускум	-	-	2,098
Медиум	-	-	2,093
Сфагново-мочажинный	-	-	2,114
Комплексный	-	-	2,016
Группа моховая	2,292	2,215	2,079
Усредненное значение $D$	2,386	2,211	2,099

Как видно из данных таблицы, структура низинного торфа близка к предельно-равновесному состоянию  $D = 2,4142$ , тогда как фрактальная размерность для верхового торфа стремится к 2.

Для анизотропного тела закономерность деления будет определена выражением  $N = (E + 1)X(E + 1)Y(E + 1)Z$ , где  $D = X + Y + Z$ ;  $0 < (X, Y, Z) < 1$ .

Критерий предельного равновесного состояния структурной системы связан с фрактальной размерностью следующей зависимостью

$$KP = (1 - D) / [D(1 + D)].$$

Критерий имеет экстремум  $KP \rightarrow \min$  при

$D = \sqrt{2 + 1} = 2,4142\dots$  и  $XA = 1/D = 0,4142\dots$  В этом случае  $E=0$ .

В таблице 3 приведены расчётные значения показателей деления структурной системы.



Таблица 3

**Показатели деления структурной системы**

Параметр нелинейности деления – $XA$			
$D \rightarrow$	1	2	3
$E=0$	1	1/2	1/3
$E=1$	1	1/3	1/7
$E=2$	1	1/4	1/13
$E=3$	1	1/5	1/21

Если предположить, что структурные связи в торфе в горизонтальных плоскостях уравновешены за счёт хаотического переплетения остатков растений-торфообразователей, протекающего в процессе заторфовывания, то будут уравновешены  $X = Y = 1$ , тогда можно оценить фрактальную размерность по взаимно перпендикулярным координатам как сумму составляющих  $D = X + Y + Z$ , при  $X = Y = 1$ ,  $Z = D - 2$ .

Тогда для низинного типа торфа  $Z = D - 2 = \sqrt{2} - 1$ , а для верхового –  $Z \rightarrow 0$ .

**Список литературы:**

1. Богатов Б.А., Зюзин Б.Ф., Миронов В.А., Лотов В.Н. Прогнозирование предельных состояний в нелинейной геомеханике: монография. Минск: ОО Белорусская горная академия, 2000, 340 с.
2. Лиштван И.И., Богатов Б.А., Кулак М.И. Влияние фрактальной неоднородности структуры на деформационно-прочностные свойства агрегатов торфяных систем // Кол. журн. 1992. Т. 54, № 4.
3. Зюзин Б.Ф., Савинов Д.А. Фрактальная модель в оценке механической переработки дисперсных структур. Материалы Международной НТК: «Математические модели нелинейных возбуждений, переноса, динамики, управления в конденсированных системах и других средах». Тверь: ТвГТУ, 1996. С. 42.
4. Савинов Д.А. Изучение закономерностей и разработка методов оценки разрушения торфяных структур: автореф. дисс. канд. техн. наук. Тверь: ТГТУ, 1996. 16 с.

