

Тургунбаев М.С.

**КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА, СОДЕРЖАЩЕГО
ОБЛОМОЧНО-КАМЕННОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ**

Тургунбаев М.С.

**ТАШТУУ ТОПУРАКТЫН ТАЛКАЛАНУУ ПРОЦЕССИНИН ОКИШОШ
КРИТЕРИЙЛЕРИ**

M.S. Turgunbaev

**SIMILITUDE PARAMETERS OF PROCESS OF DESTRUCTION OF THE SOIL
CONTAINING DETRITAL AND STONE INCLUSION**

УДК: 622.2+624.13

Топурак казуучу машинанын жумушчу органынын топурак менен болгон оз ара байланышы «катуу тело-иштетуучу чойро» системасынын физикалык окшоштугуна негизделет. Бул учурда топурак реологиялык система катары каралат. Физикалык моделдоодо натуранын жана моделдин параметрлеринин ортосунда масштабтык катыштар омур сурот. Натуроода жана моделде топурактын талкаланышынын окшош процессин алуу учун, талкалануу процессинин окшош критерийлеринин бири бирине тен келуусу зарыл жана жетиштуу. Ошондуктан топурактын натуроода жана модельде талкалануусунун окшош критерийлерин иштеп чыгуу актуалдуу маселе болуп саналат.

Негизги сөздөр: физикалык моделдоо, натура, модель, масштабтык катыштар, окшош процесстер, окшош критерийлери, таштуу топурактын талкаланышы.

Методы моделирования процессов взаимодействия рабочего органа землеройной машины с разрабатываемой средой-грунтом базируются на физическом подобии систем «твердое тело-среда». А грунт представляется в виде реологической системы различной сложности. При физическом моделировании процессов существуют масштабные соотношения между параметрами природы и модели. Для получения подобных процессов разрушения грунта в модели и оригинале необходимо и достаточно, чтобы критерии подобия модели и природы были равными между собой. Поэтому разработка критериев подобия разрушения грунта в модели и природы является актуальной задачей.

Ключевые слова: физическое моделирование, натура, модель, масштабные соотношения, подобные процессы, критерии подобия, разрушение грунта с обломочно-каменным включением.

Methods of model operation of processes of interaction of an action of the digging car with the developed environment soil are based on physical similarity of systems "solid body Wednesday". And the soil is presented in the form of rheological system of varying complexity. At physical model operation of processes there are scale ratios between parameters of nature and model. Receiving similar processes of destruction of a soil in model and the original requires also enough that similitude parameters of model and nature were equal among themselves. Therefore development of similitude parameters of destruction of a soil in models and natures is an actual task.

Key words: physical model operation, nature, model, scale ratios, similar processes, similitude parameters, destruction of a soil with detrital and stone inclusion.

В общем виде характер зависимости между физическими величинами и геометрическими параметрами, характеризующими процесс разрушения грунта с обломочными включениями устанавливается на основе анализа размерностей физических величин, входящих в уравнения [1,2].

Размерность физической величины обозначается $[\phi]$, и показывает связь величины последней с основными величинами данной системы физических величин внутри данного класса.

Размерность любой физической величины ϕ всегда представляет степенной одночлен [3]:

$$[\phi] = P^\alpha \cdot Q^\beta \cdot R^\gamma \cdot S^\delta \dots, \quad (1)$$

где $PQRS\dots$ - система единиц измерения.

Процесс разрушения грунтов с обломочно-каменными включениями рабочим органом землеройной машины зависит от следующих факторов:

$$P_p = f(\gamma, c, \varphi, \sigma, \tau, b, h, v, R_k) \quad (2)$$

где γ – объемный вес, C – сцепление, φ – угол внутреннего, σ – нормальное напряжение, τ – касательное напряжение, b – ширина резания, h – глубина резания, V – скорость резания, R_k – радиус обломочной частицы. Закономерности, описывающие процесс разрушения грунтов с обломочными включениями можно представить в виде:

$$P_p = f(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_k, \phi_{k+1}, \dots, \phi_n) \quad (3)$$

где P_p – определяемый параметр, ϕ_1, \dots, ϕ_n – определяющие параметры. Величины $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_k$ являются величинами с независимыми размерностями. Согласно теореме Бэкингема-Федермана зависимость 3 может быть представлена в виде взаимной зависимости между критериями подобия, т.е. в виде обобщенного критериального уравнения:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n) = 0 \quad (4)$$

где $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ – критерии подобия. Критерии подобия, составленные из физических величин, входящих в условия однозначности (краевые условия) называются определяющими. В работе [4] определены критерии подобия Π_1 и Π_2 , составленных из величин, входящих в условие однозначности для рабочих процессов взаимодействия грунта с рабочими органами землеройно-транспортных машин:

$$\Pi_1 = \frac{\tau}{\gamma \cdot l} \text{ и } \Pi_2 = \frac{\sigma}{\gamma \cdot l}.$$

С помощью определяющих критериев можно установить определяемые критерии подобия, которые составлены из физических величин, не являющихся необходимыми для однозначной характеристики данного процесса. Тогда (4) можно представить в виде:

$$\Pi_3 = \Phi(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n) \quad (5)$$

где $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ – определяющие критерии подобия.

Из анализа формулы 2 следует, что количество факторов, влияющих на процесс разрушения грунта с обломочными включениями равно $n = 9$.

Размерности определяющих факторов:

$$[\gamma] = \frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot м^3}, \quad [c] = \frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot м^2}, \quad [\sigma] = \frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot м^2}, \quad [\tau] = \frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot м^2}, \quad [\varphi] = 1, \quad [\varphi_0] = 1, \quad [\alpha] = 1,$$

$$1. [\epsilon] = м, \quad 2. [h] = м \quad [v] = \frac{м}{с}, \quad 3. [R_k] = м$$

Из анализа размерностей физических величин следует, что среди них имеются 3 величины (b, h, R_k), с независимой размерностью, т.е. $k = 3$. В этом случае согласно П-теореме количество определяющих критериев подобия процесса разрушения грунта с обломочными включениями равно 6, т.е. $m = n - k = 6$.

На основе этого можно сказать, что процесс разрушения грунта с обломочными включениями является достаточно сложным, и описывается относительно высоким количеством критериев подобия, равное 6. Как известно с помощью метода анализа размерностей конкретный вид функции $\Phi(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_6)$ установить не удастся.

Рассмотрим схему взаимодействия рабочего органа землеройной машины с разрабатываемой средой. Грунт является пластической средой, напряженное состояние в нем описывается уравнением Кулона-Мора и характеризуется наличием сцепления и трения между частицами грунта [5]. В работе [6] рассмотрена реологическая модель процесса разработки грунта рабочим органом землеройной машины.

Рассмотрим реологическую модель разработки грунта, содержащего обломочные включения рабочим органом землеройной машины (рис 1).

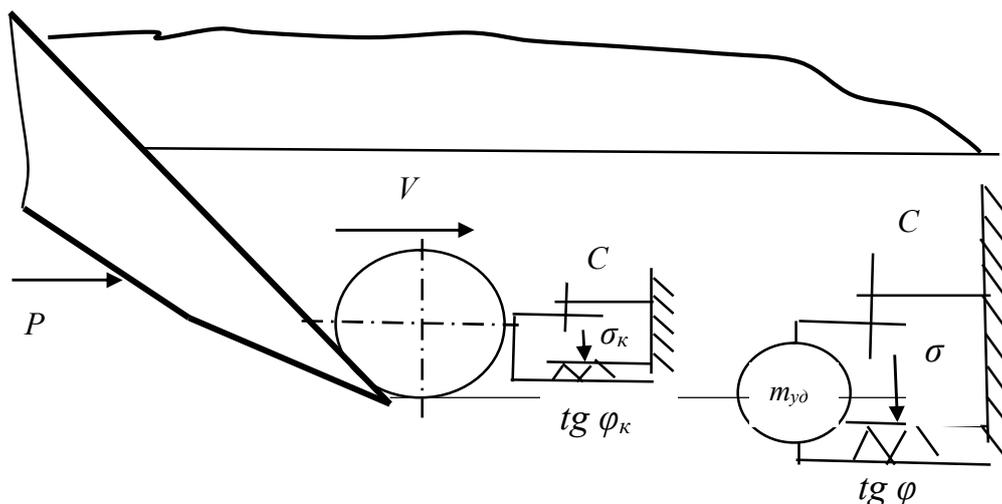


Рис.1. Реологическая схема процесса разрушения грунта с обломочным включением

Из анализа схемы разрушения следует, что напряженное состояние грунта состоит из напряженного состояния вокруг обломочной частицы и напряженного состояния однородной части грунта. Тогда согласно уравнениям Кулона-Мора напряженное состояние грунта с обломочным включением при действии рабочего органа в неустановившемся режиме может описываться уравнением вида:

$$\tau = (\sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + C) + (\sigma_k \operatorname{tg} \varphi_k + C) + m_{y\partial} \frac{dV}{dt} \quad (6)$$

где σ_k – нормальное напряжение на поверхности обломочной частицы, φ , φ_k – угол внутреннего трения, соответственно однородной зоны, и зоны, где содержится обломочная частица (обломочная зона), $m_{y\partial}$ – удельная масса сдвигаемого объема грунта.

В свою очередь нормальное давление определяется:

$$\sigma = \frac{\gamma \cdot s^3}{s^2} = \gamma \cdot s \quad (7)$$

где s – обобщенный линейный размер рабочего органа.

Нормальное давление на поверхности обломочной частицы определяется:

$$\sigma_k = \frac{\gamma \cdot s_k^3}{s_k^2} = \gamma \cdot s_k \quad (8)$$

где s_k – радиус обломочной частицы

Удельная масса сдвигаемого объема грунта (отношение массы сдвигаемого объема грунта к поверхности сдвига):

$$m_{y\partial} = \frac{\gamma \cdot s^3}{g \cdot s^2} = \frac{\gamma \cdot s}{g} \quad (9)$$

Процесс разрушения грунта рабочим органом землеройной машины представляется в виде реологической модели разрушения грунта. Подставляя 7, 8, 9 в 6 получаем:

$$\tau = (\gamma \cdot s \cdot \operatorname{tg} \varphi + C) + (\gamma \cdot s_k \operatorname{tg} \varphi_k + C) + \frac{\gamma \cdot s}{g} \frac{dV}{dt} \quad (10)$$

Тогда условие прочности для грунта оригинала (н), и для грунта модели (м) записывается в следующем виде:

$$\tau_n = (\gamma_n s_n \operatorname{tg} \varphi_n + C_n) + (\gamma_n s_{kn} \operatorname{tg} \varphi_{kn} + C_n) + \frac{\gamma_n s_n}{g} \frac{dV}{dt}$$

$$\tau_m = (\gamma_m s_m \operatorname{tg} \varphi_m + C_m) + (\gamma_m s_{km} \operatorname{tg} \varphi_{km} + C_m) + \frac{\gamma_m s_m}{g} \frac{dV}{dt} \quad (11)$$

Из (11) безразмерные величины $\operatorname{tg} \varphi$ и $\operatorname{tg} \varphi_k$ выделяются как критерии подобия. Получаем критерии подобия процесса разрушения грунта, содержащего обломочное включение на основании уравнения (10) путем деления каждого члена на $\gamma \cdot s$:

$$P_1 = \frac{C}{\gamma \cdot s} \quad (12)$$

$$P_2 = \frac{V^2}{g \cdot s} \quad (13)$$

$$P_3 = \text{tg} \varphi \quad (14)$$

$$P_4 = \text{tg} \varphi_k \quad (15)$$

$$P_5 = \frac{s_k}{s} \quad (16)$$

$$P_6 = \frac{\tau}{\gamma \cdot s} \quad (17)$$

Критерии P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 являются *определяющими критериями*, а критерий P_6 - определяемым, т.к. в своем составе содержит определяемый параметр – τ .

Для получения подобных процессов разрушения грунта в модели и оригинале необходимо и достаточно, чтобы критерии подобия модели и природы были равными между собой: $P_1 = idem, P_2 = idem, P_3 = idem, P_4 = idem, P_5 = idem, P_6 = idem$.

При физическом моделировании процессов существуют масштабные соотношения между параметрами природы и модели. Для физического моделирования процесса разрушения грунта с обломочными включениями вводим следующие масштабные величины:

$$\tau_m = \frac{\tau_n}{K_\tau}, \gamma_m = \frac{\gamma_n}{K_\gamma}, s_m = \frac{s_n}{K_s}, \text{tg} \varphi_m = \frac{\text{tg} \varphi_n}{K_{\text{tg} \varphi}}, C_m = \frac{C_n}{K_c}, s_{km} = \frac{s_{kn}}{K_{s_k}}, \text{tg} \varphi_{km} = \frac{\text{tg} \varphi_{kn}}{K_{\text{tg} \varphi_k}}, V_m^2 = \frac{V_n^2}{K_V^2} \quad (18)$$

Уравнения (11) приводим к интегральному аналогу. Бесконечно малые величины заменяем на конечные. Знаки равенства между членами уравнения заменяем на знаки пропорциональности.

$$\tau_m \sim \gamma_m s_m \text{tg} \varphi_m \sim C_m \sim \gamma_m s_{km} \text{tg} \varphi_{km} \sim \frac{\gamma_m}{g} V_m^2 \quad (19)$$

Подставляя в уравнение 2.23 значения 2.22 получаем:

$$\frac{\tau_n}{K_\tau} \sim \frac{\gamma_n s_n \text{tg} \varphi_n}{K_\gamma K_s K_{\text{tg} \varphi}} \sim \frac{C_n}{K_c} \sim \frac{\gamma_n s_{kn} \text{tg} \varphi_{kn}}{K_\gamma K_{s_k} K_{\text{tg} \varphi_k}} \sim \frac{\gamma_n}{K_\gamma} \frac{V_n^2}{g K_V^2} \quad (20)$$

В уравнении 20 оставляем только масштабные величины:

$$\frac{1}{K_\tau} \sim \frac{1}{K_\gamma K_s K_{\text{tg} \varphi}} \sim \frac{1}{K_c} \sim \frac{1}{K_\gamma K_{s_k} K_{\text{tg} \varphi_k}} \sim \frac{1}{K_\gamma K_V^2 g} \quad (21)$$

Каждое соотношение 21 делим на $\frac{1}{K_c}$

Получаем соотношения, выраженные через K_c .

$$\frac{K_c}{K_\tau} = \frac{K_c}{K_\gamma K_s K_{\text{tg} \varphi}} = \frac{K_c}{K_\gamma K_{s_k} K_{\text{tg} \varphi_k}} = \frac{K_c}{K_\gamma K_V^2 g} = 1 \quad (22)$$

Далее из 22 получаем искомые индикаторы подобия:

$$\frac{K_c}{K_\tau} = 1 \quad (23)$$

$$\frac{K_c}{K_\gamma K_s K_{\text{tg} \varphi}} = 1 \quad (24)$$

$$\frac{K_c}{K_\gamma K_{s_k} K_{\text{tg} \varphi_k}} = 1 \quad (25)$$

$$\frac{K_c}{K_\gamma K_v^2 g} = 1 \quad (26)$$

Для процессов разрушения грунтов с обломочными включениями, происходящих в полевых условиях и в лаборатории вводятся ограничения $K_\gamma = 1$, и $K_g = 1$, свидетельствующие о том, что объемный вес и силы тяжести грунта в натуре и в модели остаются не измененными, т.е $\gamma_m = \gamma_n$ и $g_m = g_n$. При $tg\varphi_m = tg\varphi_n$ и $tg\varphi_{км} = tg\varphi_{кн}$ коэффициенты трения грунта и на поверхности обломочной частицы в модели и оригинала должны быть равными. В таком случае из индикаторов подобия получаем масштабное уравнение следующего вида:

$$K_c = K_s, K_v = \sqrt{K_s}, K_\tau = K_s, K_s = K_{sk} \quad (27)$$

При физическом моделировании (уменьшение линейных размеров) разрушения грунта с обломочными включениями используется метод эквивалентного материала [7] со следующими параметрами:

$$C_m = \frac{C_n}{K_s}, V_m = \frac{V_n}{\sqrt{K_s}}, S_{км} = \frac{S_{кн}}{K_s}, tg\varphi_m = tg\varphi_n, tg\varphi_{км} = tg\varphi_{кн}, \gamma_m = \gamma_n, g_m = g_n, \tau_m = \frac{\tau_n}{K_s} \quad (28)$$

Литература:

1. Тургунбаев М.С. Определение закономерностей распределения каменистых включений в грунте [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев М.С.Тургунбаев // Известия КГТУ им.Раззакова, Бишкек, 2011. – С. 7-11.
2. Тургунбаев М.С. Грунтовые условия эксплуатации землеройных машин на территории Кыргызской Республики [Текст]: Ж.Ж.Тургумбаев М.С.Тургунбаев // Монография Бишкек, 2008. - 80 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гмурман. - М: Высшая школа, 2003. - 479 с.
4. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин [Текст] / В.И. Баловнев. - М: Высшая школа, 1981. - 335 с.
5. Клейн Г.К. Расчет подпорных стенок [Текст] / Г.К. Клейн. - М.,1964.
6. Баловнев В.И. Подобие и моделирование в системе дорожно-строительных машин [Текст] / учеб. пособие для вузов / В.И. Баловнев.– М.: МАДИ, 2014. - 148 с.
7. Баловнев В.И. Моделирование и прогнозирование процессов взаимодействия машин с многофазными средами [Текст] / учеб. пособие / В.И. Баловнев. - МАДИ (ГТУ). - М., 2000. - 62 с.

Рецензент: . д.т.н., профессор, академик Инж.Акад.КР А.Мендекеев