ТЕХНИКА ИЛИМДЕРИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCE

Тургунбаев М.С.

ТАШТУУ ТОПУРАКТЫН ТАЛКАЛАНУУ ПРОЦЕССИН КӨП ФАКТОРЛОРДУН НЕГИЗИНДЕ ИЗИЛДӨӨ

Тургунбаев М. С.

МНОГОФАКТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА С ОБЛОМОЧНО-КАМЕННОЙ ЧАСТИЦЕЙ

M.S. Turgunbaev

MULTIFACTOR INVESTIGATION OF THE GROUND DESTRUCTION PROCESS WITH A CLONT-STONE PARTICLE

УДК: 622.2+624.13

Топурактын талкалануу процессин көп факторлорду колдонуп изилдөөнүн негизинде таштуу топуракты талкалоо күчүнүн математикалык регрессиялык модели аныкталган.

Негизги сөздөр: *көп факторлуу эксперимент, таштуу топуракты талкалоо күчү, математикалык регрессиялык модель, факторлор жана алардын өзгөрүү денгээлдери.*

На основе многофакторного исследования процесса разрушения грунта получена математическая регрессионная модель силы разрушения грунта, содержащего обломочное включение.

Ключевые слова: *многофакторный эксперимент, сила разрушения грунта с обломочным включением, математическая регрессионная модель, факторы и их уровни варьирования.*

On the basis of a multifactor study of the process of soil destruction, a mathematical regression model of the ground breaking force containing detrital inclusion was obtained.

Key words: *multifactorial experiment, fracture force of soil with detrital inclusion, mathematical regression model, factors and their levels of variation.*

Целью многофакторного эксперимента является получение математической модели зависимости силы сопротивления и пути резания от прочностных параметров грунта, от параметров разрушения и обломочно-каменной частицы. Многофакторный эксперимент по изучению свойств процесса разрушения грунта с обломочными включениями рабочим органом землеройной машины планируется в соответствии [1, 2]. Для описания кривой регрессии близкой к экстремуму (решение задачи) используют полиномы второго порядка:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i=1}^{n} b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{p=i+1}^{n} b_{ip} x_i x_p , \tag{1}$$

Получение полинома второго порядка происходит на основе экспериментальных исследований, согласно центрального композиционного ротатабельного плана в условиях рандомизации постановки опытов с изменением трех факторов [3,4,5]: прочности породы – x_1, ширины резания – x_2, радиуса обломочно-каменного включения – x_3.

Прочность грунта оценивается обобщенным показателем – числом ударов ударника ДорНИИ - C_0 [6]. На основе априорной информации [6,7] принимается: глубина резания равной h = 0,2 м, угол резания – α = 30^0, скорость резания – v = 1 м/с. Следует отметить в процессе резания режущий элемент действует ниже центра тяжести обломочной частицы, т.е разрушение грунта с комбинированным выкатыванием последней из массива грунта, на определенном пути движения режущего элемента. Блокированное резание. Изучаемыми параметрами являются сила разрушения и путь резания грунта.

Основные параметры процесса резания грунта, содержащего обломочное включение, и уровни их варьирования показаны в табл.1.

Таблица 1 - Факторы и уровни их варьирования

Название факторов	Размерность	Уровни варьирования				
		-1,682	-1	0	+1	+1,682
Прочность грунта, C_0	Число ударов	2,3	3	4	5	5,7
Ширина резания, b	м	0,13	0,2	0,3	0,4	0,47
Средний радиус каменной частицы, R_k	м	0,058	0,075	0,1	0,125	0,142

Для удобства вычислений масштаб факторов приводим к нормированному или стандартному масштабу по зависимости [3,4,5]:

$$x_{H_i} = \frac{(x_{\Phi_i} - x_0)}{I} \quad (2)$$

где $x_{\phi i}$ – фактическое значение фактора, x_0 – значение фактора на основном уровне, I – интервал варьирования.

Интервал варьирования определяется по формуле:

$$I = \left| x_{\Phi_i} - x_0 \right| \quad (3)$$

В случае однородности дисперсий исследуемого параметра в каждой точке факторного пространства опыт считается статистически воспроизводимым. Оценка дисперсий для каждой точки факторного пространства определяется выражением [3,4,5]:

$$S_y^2(i) = \frac{1}{(\nu - 1)} \sum_{i=I}^{\nu} \left(y_{cp} - y_i \right)^2 \quad (4)$$

где y_{cp} – среднее значение исследуемого параметра, v – количество повторных опытов в серии.

Проверка гипотезы о равенстве строчных дисперсий проводим по критерию Кохрена [3,4,5] (табл.2), который рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{\max s_y^2(i)}{\sum_1^N s_y^2(i)} \quad (5)$$

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по следующим выражениям:

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2B_1\left[(\phi+2)B_1 - \phi\right]} \\ B_1 &= \frac{\phi N}{(\phi+2)(N - N_0)} \\ C_1 &= \frac{N}{\sum_{j=1}^{N} x_j^2} \end{aligned}\right\} \qquad \left.\begin{aligned} S_0 &= \sum_{j-1}^{N} y_j \\ S_j &= \sum_{j-1}^{N} x_{jj} y_j (где i = 1,2,...,n) \\ S_{jk} &= \sum_{j-1}^{N} x_{ji} x_{jk} y_j (где i = k) \\ S_{ii} &= \sum x_{ji}^2 y_i (i = 1,2,...,n) \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

$$b_0 = \frac{2A_1B_1}{N}\left[S_0B_1(\phi+2) - C_1\sum_{i=1}^{n} S_{ii}\right].\ b_i = \frac{C_1S_i}{N},\ b_{ik} = \frac{C_1^2 S_{ik}}{B_1 N}$$

$$b_{ii} = \frac{A_1C_1}{N}\left[S_{ii}C_1\left[B_1(\phi+2) - n\right] + C_1(1 - B_1)\sum^{n} S_{ii} - 2B_1S_0\right] \quad (7)$$

где N – общее число опытов, N_0 – число опытов в центре плана; ϕ – число факторов.

Оценка дисперсии воспроизводимости можно найти на основании результатов опытов, проведенных в центре плана по следующей зависимости:

$$S_y^2 = \frac{1}{(N_0 - 1)} \sum_{i=I}^{N_0} \left(y_{cp}^{'} - y_i \right)^2 \quad (8)$$

При этом среднее значение y_{cp} равно:

$$y'_{cp} = \frac{1}{N_0}\sum_{i=1}^{N_0} y_i \qquad (9)$$

Эта величина найдена для числа степеней свободы: $f^{св} = N_0 - 1$.

Гипотеза о статистической значимости коэффициентов регрессии проверяется критерием Стьюдента:

$$\left|b_j\right| \geq S_{b_j} t_{kp}, \qquad (10)$$

где S_{bj} – оценка среднеквадратичных отклонений соответствующих коэффициентов регрессии; $t_{кр}$ – критическое табличное значение критерия Стьюдента [3,4,5] (табл.2).

Если неравенство выполняется, то гипотеза о значимости коэффициента принимается, в противном случае коэффициент считается незначимым и приравнивается к нулю.

Оценка дисперсий коэффициентов регрессии определяются следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} S_{b_0}^2 &= \frac{2A_1B_1(n+2)}{N}\cdot S_y^2 \\ S_{b_j}^2 &= \frac{S_y^2}{N-N_0} \\ S_{b_{jk}}^2 &= \frac{c^2S_y^2}{N} \\ S_{b_{ii}}^2 &= \frac{Ac^2S_y^2}{N}\left[B(n+1)-(n-1)\right] \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Адекватность математической регрессионной модели проверяется по критерию Фишера, значение которого определяется формулой:

$$F_P = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}. \qquad (12)$$

где $S_{ад}^2$ – оценка дисперсии неадекватности; S_y^2 – оценка дисперсии воспроизводимости эксперимента.

Оценка дисперсии неадекватности определяется по следующей зависимости:

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum\left(y_{iэ} - y_{ip}\right)^2 - S_y^2}{N - \frac{(v+2)\cdot(v+1)}{2} - \left(N_0 + 1\right)}, \qquad (13)$$

где y_{ip} – расчетное значение функции отклика; $y_{iэ}$ – экспериментальное значение функции отклика.

Число степеней свободы, связанное с оценкой этой дисперсии:

$$q_0 = N - \frac{(v+2)\cdot(v+1)}{2} \qquad (14)$$

В случае $F_p < F_{kp}$ модель считается адекватной при выбранном уровне значимости (табл.2).

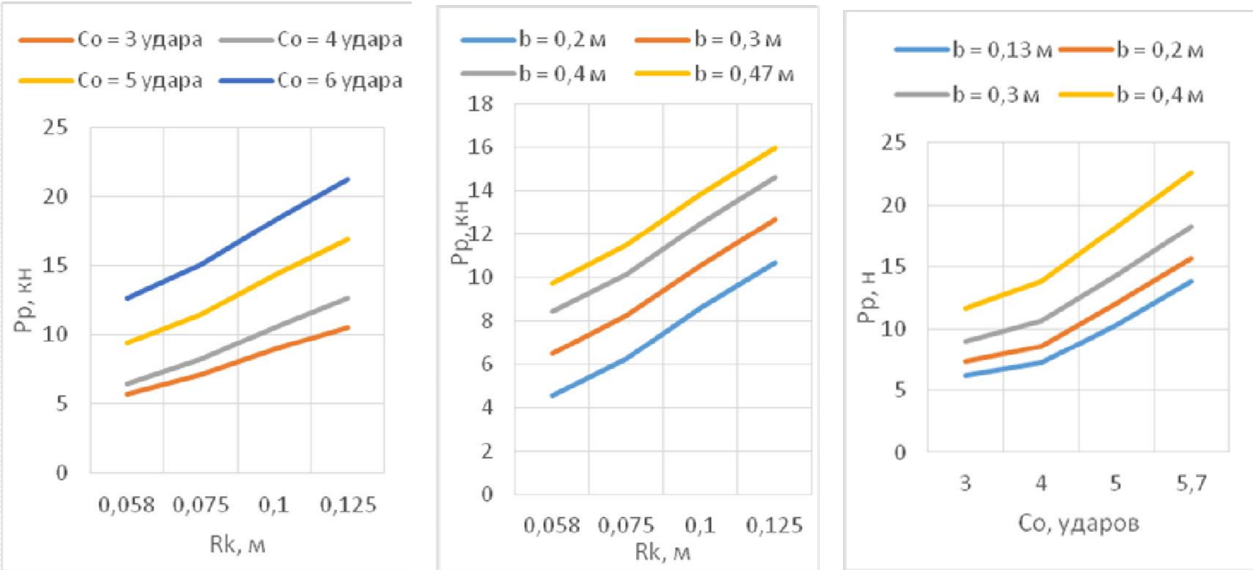
Таким образом на основе статистического анализа результатов многофакторного эксперимента получены математическая регрессионная модель силы сопротивления разрушению грунта с обломочно-каменными включениями (*в кН*):

$$P_p = 10{,}582 + 2{,}712x_1 + 1{,}967x_2 + 2{,}212x_3 + 1{,}077x_1^2 - 0{,}02x_2^2 - 0{,}132x_3^2 + \\ 0{,}359x_1x_2 + 0{,}525x_1x_3 + 0{,}0167x_2x_3 \qquad (15)$$

Для перехода математической модели в реальных физических величинах производим обратный переход от стандартного масштаба к натуральному используя выражение 2.

Математическая регрессионная модель силы сопротивления разрушению грунта с обломочно-каменными включениями в реальных физических величинах выглядит следующим образом (*в кН*):

$$P_p = 12{,}8654 - 9{,}081c_0 + 5{,}842b + 44{,}076R_k + 1{,}077c_0^2 - 2b^2 - 208R_k^2 + \\ 3{,}59c_0b + 21c_0R_k + 6{,}68bR_k \qquad (16)$$



а) б) в)

Рис.1. Изменение силы разрушения грунта, содержащего обломочно-каменное включение, при постоянных значения факторов на основном уровне: а) – b = 0,3 м, б) – C_0 = 4 удара, в) – R_k = 0,1м.

Из анализа рис.1 видно, что зависимость между силой разрушения и радиусом обломочной частицы грунта подчиняется нелинейной зависимости, причем эта нелинейность более четко выражается с возрастанием радиуса каменной частицы. Прочностные параметры грунта влияют на силовые параметры разрушения грунта также нелинейно более ярко выраженном виде.

Таким образом на основе полученной математической регрессионной модели можно будет установить силу разрушения грунта, содержащего обломочные включения в зависимости от прочностных свойств грунта, параметров резания и обломочно-каменной частицы.

Таблица 2 – Результаты проверок соответствия критериям

Критерий Кохрена, при q_1 = 2, q_2 = 20, G = 0,26 < 0,27 (табличное значение), то можно считать, что экспериментальные данные получены без грубых ошибок										
Критерий Стьюдента $q = 40 \quad a = 0{,}05$, t_{kp} = 2,021										
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_2^1	x_2^2	x_3^2	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$
bi	10,582	2,712	1,967	2,212	1,077	-0,02	-0,132	0,359	0,525	0,0167
$\lvert b_i \rvert \geq S_{b_j} t_{kp}$	0,0148	0,0054	0,0054	0,0054	0,006	0,006	0,006	0,007	0,0078	0,0078
Вывод	знач	знач	знач	знач	знач	знач	знач	знач	знач	знач
Критерий Фишера $a = 0{,}05$										
q_1	q_2	*Fp*	*Fkp*	Вывод:						
6	45	1,33	2,3	Модель адекватна						

Литература:

1. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. М., «Мир», 1981, - 520 с.
2. Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. Изд. «Наука». 1976.279 с.
3. Зарубин Б.С. Математическое моделирование в технике. М., МГТУ им.Баумана, 2003, - 496 с.
4. Самарский А.А. Математическое моделирование в технике. Идеи. Методы. Примеры. М., ФИЗМАТЛИТ, 2001, - 320 с.
5. Хартмам К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М. Мир, 1977.
6. Зеленин А.Н., Баловнев И.П., Керов И.П. Машины для земляных работ – М.: Машиностроение, 1975. - 421 с.
7. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. - М.: Машиностроение, 1971. - 359 с.

Рецензент: д.техн.н., профессор Мендекеев Р.А.