

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАМЕНИСТЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ГРУНТЕ

ТУРГУМБАЕВ Ж.Ж., ТУРГУНБАЕВ М.С.
izvestiya@ktu.aknet.kg

В работе установлены закономерности распределения каменистых включений в грунтовой среде Кыргызской Республики. Результаты работы позволяют более точно определить условия работы землеройных машин и аналитически установить энергоемкость процесса разработки грунтов, содержащих каменистые включения.

Разработка грунтов с каменистыми включениями сопровождается значительными динамическими нагрузками, преждевременными усталостными повреждениями металлоконструкций землеройной техники, абразивным износом режущих элементов и снижением производительности, повышением себестоимости разработки грунтов.

Для определения законов распределения камней в грунте были проведены экспериментальные работы на полях Таласского региона Кыргызской Республики.

Установлено, что камни распределены в почвенном слое равномерно и имеют приблизительно одинаковый фракционный состав при различной степени каменистости грунтов [1]. Для того чтобы более точно определить влияние каменистости грунтов на работу землеройных машин, необходимо установить, какая существует связь между количеством камней, расположенных на поверхности грунта, и числом их по глубинам залегания.

Почвы по объему камней подразделяются на следующие группы:

1. Почвы практически некаменистые, содержащие камни до $5 \text{ м}^3 / \text{га}$;
2. Почвы слабокаменистые, содержащие камни $5 \dots 20 \text{ м}^3 / \text{га}$;
3. Почвы среднекаменистые, содержащие камни $20 \dots 50 \text{ м}^3 / \text{га}$;
4. Почвы сильнокаменистые, содержащие камни $50 \dots 100 \text{ м}^3 / \text{га}$.

При этом учитываются лишь те камни, которые находятся на поверхности поля.

После визуального обследования были выбраны участки, представляющие наиболее характерные грунты. На этих участках определялись площадки размером $10 \times 10 \text{ м}$. В дальнейшем из этой площадки были выбраны камни, находящиеся на поверхности грунта.

На этих площадках учитывались и измерялись все камни, находящиеся на поверхности поля. Характер распределения камней по уровням залегания изучали на учетных площадках размером $1 \times 1 \text{ м}$. На них после учета поверхностных камней вынимался грунт на глубине $0 \dots 0,2 \text{ м}$, $0,2 \dots 0,4 \text{ м}$. При этом подсчитывались и измерялись все камни, находящиеся в этих слоях грунта. У крупных камней здесь учитывался лишь тот их объем, который находился в грунте не глубже $0,2$ и $0,4 \text{ м}$. На каждой площадке размером $10 \times 10 \text{ м}$ определялись учетные площадки, расположенные по углам, и одна учетная площадка, расположенная в центре (рис. 1) [2].

По результатам исследований распределения камней на учетных площадках установлено, что среднее значение отношения объема камней в слое $0,2 \text{ м}$ к объему камней, расположенных на поверхности грунта, составляет $2,01$, а на глубине $0,2 \dots 0,4 \text{ м}$ – $5,02$. Ошибка среднего значения равняется $0,067$ при доверительной вероятности $0,8$. Таким образом, для более точного определения вероятностных характеристик воздействия камней на рабочие органы землеройных машин необходимо умножить объемы камней, находящихся на поверхности грунта, на соответствующие коэффициенты объемов камней, расположенных по уровням залегания.



Рис. 1. Учетная площадка размером 1x1м с выбранным грунтом на глубине до 1 м

Далее определялись длины окружности камней взаимно перпендикулярных направлениях. В дальнейшем рассчитывался средний диаметр каменистых включений, по которому они разбивались на следующие градации: 0,03...0,05; 0,05...0,1; 0,1...0,15; 0,15...0,2; 0,2...0,25; 0,25...0,3; и более 0,3 м. Далее определяли объем камней в каждой градации и количество камней в этих градациях.

Объем камней в градации определяется по формуле [3]:

$$V = 0,5236 D_{cp}^3 n \quad (1)$$

где D_{cp} – средний диаметр камня, м;

n – число камней в градации, шт.

Исследования проводились на полях Таласской области, где были обследованы поля общей площадью 19 га.

В результате проведенных исследований по определению закона распределения камней на поверхности грунтов получены гистограммы распределения числа (рис. 2) и объема камней (рис. 3).

Вид представленных гистограмм близок к логарифмически нормальному закону распределения.

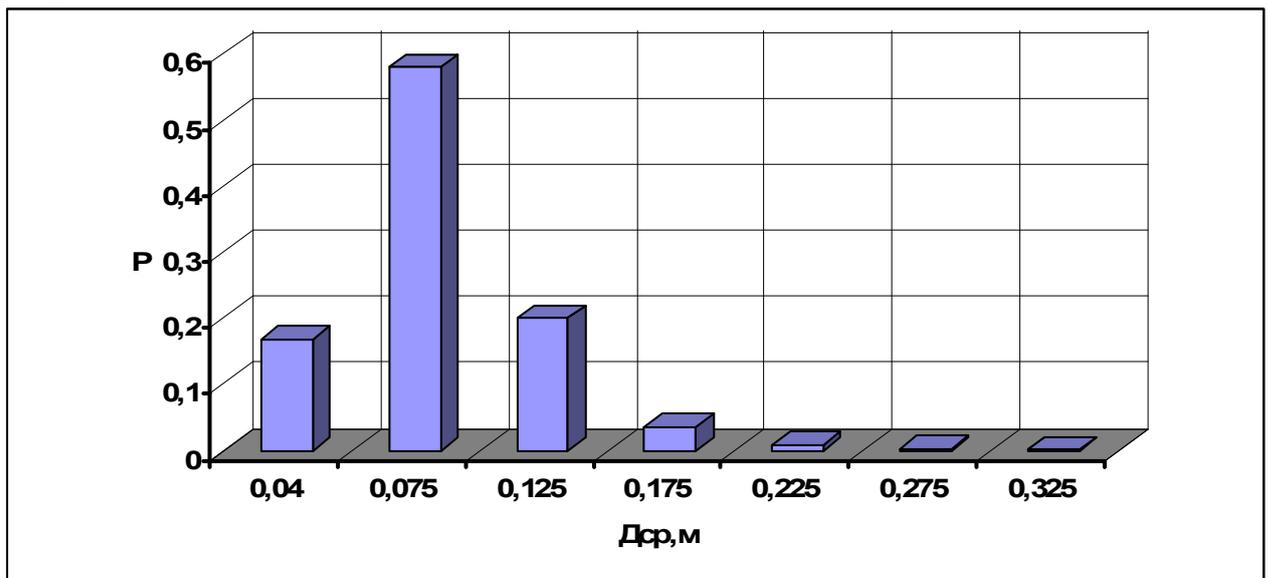


Рис. 2. Гистограмма распределения числа камней

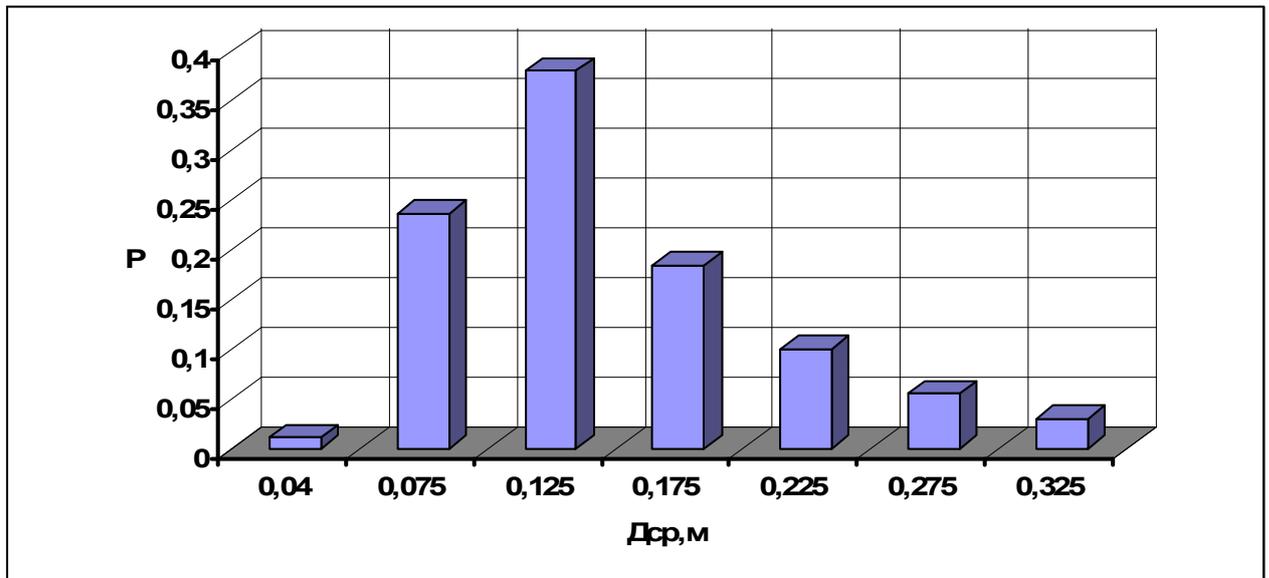


Рис. 3. Гистограмма распределения объема камней

Логарифмически нормальное распределение описывает случайную величину, логарифм которой распределен по нормальному закону с параметрами $a_{\ln t}$ и $\sigma_{\ln t}$. Плотность распределения имеет вид:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_{\ln t} \sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{(\ln t - \ln t_0)^2}{2\sigma_{\ln t}^2}} \quad (2)$$

Параметры этого закона определяются из следующих зависимостей:

$$\ln t_0 = 2 \ln a - 0,5 \ln(D_t + a^2); \quad (3)$$

$$\sigma_{\ln t} = \sqrt{\ln(D_t + a^2) - 2 \ln a}, \quad (4)$$

где a – математическое ожидание; D_t – дисперсия случайной величины.

Произведя точечную оценку параметров распределения методом моментов, получили, что дифференциальная функция предполагаемого логарифмически нормального распределения количества камней описывается зависимостью:

$$f_n(D_{cp}) = \frac{1}{0,4135 \sqrt{2\pi D_{cp}}} e^{-\frac{(\ln D_{cp} + 2,552)^2}{0,342}} \quad (5)$$

Проверка согласованности экспериментальной плотности распределения с теоретической, произведенная с помощью критерия Пирсона, показала, что полученное значение критерия 8,37 меньше критического значения $\chi^2 = 9,49$ при уровне значимости 0,05. Таким образом, зависимость (5) может быть применена для описания распределения количества камней на поверхности грунта.

Данное статистическое распределение обладает следующими статистическими характеристиками: $a = 0,085$ м, $\sigma = 0,037$ м, коэффициент вариации равен 0,43.

Далее по вышеприведенной методике установлен закон распределения объема камней, который характеризуется зависимостью:

$$f_v(D_{cp}) = \frac{1}{0,422 \sqrt{2\pi D_{cp}}} e^{-\frac{(\ln D_{cp} + 2,014)^2}{0,357}} \quad (6)$$

Проверка соответствия предполагаемого закона распределения с теоретическим законом проведена также с помощью критерия Пирсона. Рассчитанное значение критерия равняется 0,017, которое значительно меньше критического значения $\chi^2 = 9,49$. Таким образом, зависимость (6)

с достаточной уверенностью можно применить для описания закона распределения объема камней, находящихся на поверхности грунта.

Статистическое распределение имеет следующие статистические характеристики: $a = 0,146 \text{ м}^3$, $\sigma = 0,065 \text{ м}^3$, коэффициент вариации равен 0,44.

Из приведенных статистических рядов следует, что наиболее часто встречаемыми камнями являются камни размерами 0,05...0,1 м, а по суммарному объему наиболее представительными камнями являются камни размером 0,1...0,15 м.

Для определения энергоемкости процесса разрушения грунта, содержащего каменные включения, необходимо установление вероятности встречи камней с рабочим органом землеройной машины. Для решения данной задачи необходимо определение закона распределения камней в слое грунта.

Для определения закона распределения камней по уровням залегания выберем вероятностную модель встречи камней с рабочим органом землеройной техники. Для этого примем следующие допущения:

1. Вероятность встречи рабочего органа с камнем зависит только от длины пройденного им пути и не зависит от месторасположения разработки грунта. Содержание камней различных размеров зависит от объема разрабатываемого грунта и не зависит от выбранного места разработки грунта.
2. Вероятность содержания того или иного количества камней в разрабатываемом участке грунта не зависит от количества камней на другом участке. Камни располагаются на разрабатываемых участках грунта независимо друг от друга.
3. Вероятность попадания в элементарный объем разрабатываемого грунта двух или более камней слишком мала по сравнению с попаданием в него одного камня.

В таком случае слой грунта, содержащий каменные включения, мы вправе рассматривать как простейшее или пуассоновское поле с равномерным содержанием точек в пространстве с плотностью λ [4], которая зависит от каменности данного участка. Значит, количество камней в разрабатываемом объеме грунта есть случайная величина, подчиняющаяся закону Пуассона.

Плотность содержания камней в рассматриваемом объеме равна:

$$\lambda = \frac{a}{V_{gp}}, \quad (7)$$

где a – математическое ожидание пуассоновского распределения, шт,

V_{gp} - объем разрабатываемого грунта, м^3 .

Каменность рассматриваемого участка грунта определяется формулой:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m n_i v_i}{V_{gp}}, \quad (8)$$

где n_i - количество камней в i -той градации, шт,

v_i - объем камня i -той градации, м^3 .

Отсюда количество камней в i -той градации:

$$n_i = i_i \frac{V_{gp}}{v_i}, \quad (9)$$

где i_i - каменность i -той градацией разрабатываемого объема грунта.

Плотность камней i -той фракцией в рассматриваемом объеме грунта:

$$\lambda_i = \frac{n_i}{V_{gp}} = \frac{i_i}{v_i} \quad (10)$$

Вероятность встречи m камней i -той градации с рабочим органом на пути L определяется формулой Пуассона:

$$P_V(m) = \frac{(a_{L_i})^m}{m!} e^{-a_{L_i}} \quad (11)$$

где математическое ожидание определяется:

$$a_{L_i} = \frac{i_i}{v_i} bhL \quad (12)$$

где b,h,L – ширина, глубина и длина резания, м.

Результаты расчета вероятности встречи одного камня i-той градации с рабочим органом землеройной машины на пути L = 1,6 м приведены в табл.1.

В табл.2 приведены средние объемы камней по глубинам залегания и общая каменность в зависимости от степени каменности грунтов.

Таблица 1

Вероятность встречи одного камня i-той градации с рабочим органом землеройной машины на пути L

Каменность грунта	Размеры камня, м						
	0,04	0,075	0,125	0,175	0,225	0,275	0,325
Практически не каменистый	0,01238	0,04116	0,01466	0,00263	0,00067	0,000203	0,000068
Слабокаменистый	0,05886	0,17331	0,06908	0,01302	0,00337	0,00105	0,00034
Среднекаменистый	0,14723	0,32968	0,16917	0,0356	0,00938	0,00284	0,00095
Сильнокаменистый	0,25816	0,355167	0,28569	0,07313	0,01994	0,00606	0,00202

Таблица 2

Средний объем камней по глубинам разработки

Степень каменности	Средний объем камней на поверхности, м3/га	Средний объем камней на глубине 0,2 м, м3/га	Средний объем камней на глубине 0,4 м, м3/га	Общая каменность, %, при h=0,2 м	Общая каменность, %, при h=0,4 м
Практически не каменистый	2,5	5,025	12,55	0,25125	0,6275
Слабокаменистый	12,5	25,125	62,75	1,25625	3,1375
Среднекаменистый	35	70,35	175,7	3,5175	8,785
Сильнокаменистый	75	150,75	376,5	7,5375	18,825

Разработка грунтов землеройными машинами производится послойным снятием стружки грунта. В работе [5] указано, что толщина стружки грунта изменяется в пределах 0...0,3 м, которая обеспечивает полное использование мощности машины. Если принять толщины резания грунта равной 0,2 м, ширины резания – 0,1 м, то объем разрабатываемого грунта будет зависеть от длины резания или от пути прохождения рабочего органа.

Вывод: полученные результаты о вероятностно-статистических характеристиках распределения камней в зоне разработки грунтов землеройными машинами позволяют более точно определить условия их работы и аналитически установить энергоемкость процесса разработки грунтов, содержащих каменистые включения.

Список литературы

1. Тургунбаев М.С. Грунтовые условия эксплуатации землеройных машин в северных регионах Кыргызской Республики. Современные проблемы проектирования,

- строительства и эксплуатации автомобильных дорог//Материалы научно-технической конференции. –Алма-Ата, 1998. – С. 160-164.
2. Труль О.А. Математическая статистика в лесном хозяйстве. – Минск.: Выш.шк., 1967. – 452 с.
 3. Алиев И.И. Краткий справочник по математике. – Москва.: РадиоСофт., 2006. – 190 с.
 4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
 5. П.А.Жуков, Н.Д.Аверин. Экскаваторы. – М.: Машгиз, 1948. – 502 с.