УДК 622.331.002.5

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УПРУГОСТИ ТОРФЯНОЙ ВЕРХОВОЙ НЕОСУШЕННОЙ ЗАЛЕЖИ

Копенкина Л.В. – кандидат технических наук, доцент,
Синицын В.Ф. – доктор технических наук, профессор
Тверской государственный технический университет
Россия, г. Тверь

Закон распределения коэффициента упругости торфяной верховой неосушенной залежи получен авторами статьи в результате косвенной информации, содержащейся в работе В.И. Персикова [1].

В 1970-е годы В.И. Персиковым в Калининском филиале ВНИИТП проводились натурные эксперименты с целью количественной оценки степени соответствия параметров ходового устройства машины КПО условиям эксплуатации ее на верховой неосушенной залежи. Особенностью такой залежи является наличие деятельного слоя толщиной 0,2-0,5 м, состоящего из неразложившихся остатков отмерших растений и пронизанного корнями травяно-кустарниковой растительности, образующими своеобразный каркас, обладающий значительной прочностью [2]. Несущая способность верховой неосушенной залежи обеспечивается в основном прочностью деятельного слоя, от чего зависит осадка колеса, что и показали экспериментальные исследования В.И. Персикова [1]. Прочность такого слоя залежи определялась сдвигомером-крыльчаткой СК, характеризовалась величиной сопротивления сдвигу τ [3]. Многочисленные измерения τ (5100), проводившиеся в течение нескольких лет на торфяных месторождениях Калининской (Тверской), Московской и Вологодской областей позволили установить закон его распределения. Результаты исследований были представлены В.И. Персиковым в виде статистического ряда [1].

В результате была получена эмпирическая формула, позволяющая вычислять осадку колеса H машины КПО через сопротивление сдвигу τ деятельного слоя залежи:

$$H = 0{,}064 / \tau - 0{,}167 \text{ м}, \qquad (1)$$

где τ – сопротивление сдвигу деятельного слоя залежи, кГ/см^2.

Персиков установил, что максимально допустимое значение осадки колеса машины КПО равна 0,78 м. При осадке больше 0,78 м происходит разрушение деятельного слоя, и колесо теряет способность перекатываться. Осадка увеличивается по мере уменьшения прочности деятельного слоя. Используя зависимость (1), можно определить, что осадка 0,78 м имеет место при τ = 0,067 кГ/см^2. Следовательно, проходимость машины обеспечена, если прочность деятельного слоя залежи $\tau \geq 0{,}067$ кГ/см^2. Используя закон распределения сопротивлению сдвигу, можно вычислить вероятность того, что значение τ в любом месте верховой неосушенной залежи будет не меньше предельного τ = 0,067

кГ/см^2. Эта вероятность (вероятность того, что проходимость машины КПО будет обеспечена) равна 0,95. Таким образом, экспериментальные исследования Персикова потребовали больших затрат времени и средств, позволили количественно оценить работоспособность машины КПО на неосушенной залежи.

Эти результаты исследований непосредственно не могут быть использованы ни для чего другого, даже для иных размеров колеса и иных нагрузок на колесо.

Известно, что для вычисления осадки колеса в общем случае необходимо знать деформационные свойства залежи. В качестве параметра, характеризующего деформационные свойства торфяной залежи и широко применяемого при расчете ходовых устройств торфяных машин, используется коэффициент упругости k_u [4].

Значения коэффициента упругости k_u торфяной верховой неосушенной залежи изменяются в очень широких пределах. Эти изменения выступают как следствие пространственной неоднородности торфяной залежи и проявляются, в частности, в изменении значений коэффициента упругости по пути движения машины. На пути в несколько сотен метров наблюдаемые значения коэффициента упругости могут отличаться в десятки раз. Это означает, что при оценке проходимости машин по верховым неосушенным залежам коэффициент упругости залежи нужно считать случайной величиной и учитывать закон его распределения. Непосредственное экспериментальное определение закона распределения коэффициента упругости k_u торфяной верховой неосушенной залежи является задачей, требующей для своего решения больших затрат времени, труда и средств.

Авторы статьи нашли способ получить закон распределения коэффициента упругости торфяной верховой неосушенной залежи. Наши предварительные исследования показали, что с использованием результатов экспериментальных исследований В.И. Персикова установление закона распределения коэффициента упругости торфяной верховой неосушенной залежи сводится к чисто математической задаче.

В соответствии с формулой (1) каждому значению сопротивления сдвига τ соответствует вполне определенное значение осадки H колеса машины КПО. Каждому значению осадки H соответствует вполне определенное значение объема $V_к$ погруженной в залежь части колеса – объема залежи, вытесненной колесом. Коэффициент упругости залежи, кН/м^3, можно вычислить по формуле

$$k_u = Q / V_k, \qquad (2)$$

где Q – нагрузка на колесо КПО, 12,25 кН;

$V_к$ – объем залежи, вытесненной колесом, м^3.

Следовательно, коэффициент упругости k_u является функцией сопротивления сдвигу τ. Закон распределения сопротивления сдвигу τ известен. Нахождение закона распределения k_u в данном случае – нахождение закона распределения функции случайного аргумента.

Аналитического решения этой задачи предложено не было – в частности, из-за того, что нет формулы, выражающей объем погруженной части арочного колеса через осадку. В связи с этим для решения задачи установления закона распределения коэффициента упругости верховой неосушенной залежи использовался метод статистического моделирования. В соответствии с законом распределения сопротивления сдвигу τ методом обратных функций моделируется одна реализация τ. С использованием полученной реализации τ по формуле (1) вычисляется соответствующая осадка арочного колеса H. По величине H определяется объем залежи $V_к$, вытесненной колесом. Используя $V_к$, по формуле (2) вычисляют значение реализации k_{ui}. Алгоритм определения объема погруженной части арочного колеса методом статистического моделирования реализован в программе VKOL [5].

Авторами применено моделирование случайной величины, когда закон распределения задан гистограммой. Для того чтобы закон распределения τ соответствовал закону распределения, полученному Персиковым, приняли 5000 реализаций случайной величины. Изложенная последовательность и методы вычислений были оформлены в виде компьютерной программы. Коэффициент упругости верховой неосушенной залежи представлены в виде статистического ряда и гистограммы.

Математическое ожидание коэффициента упругости неосушенной верховой залежи m_{ku} оказалось равным 97,52 кН/м^3, среднее квадратичное отклонение σ_{ku} составило 75,56 кН/м^3. Средние квадратичные погрешности этих числовых характеристик находятся в пределах 0,5-1%. Значения коэффициента упругости неосушенной верховой залежи варьируют в широком диапазоне от 10 до 570 кН/м^3.

Гистограмма показывает, что закон распределения коэффициента упругости асимметричен: правая граница распределения удалена от математического ожидания на 473 кН/м^3, а левая – всего на 87 кН/м^3. Расчетное значение коэффициента упругости k_u должно быть намного меньше математического ожидания и должно приниматься с учетом тех выгод и рисков, которые будут при том или ином значении коэффициента упругости, а для этого надо знать конструкцию машины. Используя гистограмму и статистическую функцию распределения, можно делать прогнозы о расчетных значениях коэффициента упругости, при которых будет обеспечиваться проходимость машины.

Список литературы:

1. Персиков В.И. Исследование взаимодействия колесного движителя на арочных шинах с неосушенной торфяной залежью верхового типа. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук 05.02.17. - Калинин, 1974. - 22 с.

2. Романов В.В. Гидрофизика болот. - Л.: Гидрометеоиздат, 1961. - 359 с.

3. Амарян Л.С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов. - М.: Недра, 1969. - 191 с.

4. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учебное пособие для строит. спец. вузов. - 3-е изд., доп. - М. Высшая школа, 1979. - 272 с.

5. Синицын В.Ф., Копенкина Л.В. Математические модели теории вероятностей в задачах исследования и проектирования торфяных машин: монография. - Тверь: ТвГТУ, 2017. - 172 с.