

## Обоснование размеров области напряжений в почве под действием механической нагрузки

А. М. Цыпук<sup>1</sup>

Петрозаводский государственный университет

В статье приведены результаты теоретических исследований распространения напряжений в почве. Область напряжений имеет форму конуса трения, основание которого находится там, где напряжение  $\sigma$ , являющееся следствием нагрузки, выравнивается по величине с сопротивлением почвы смятию  $[\sigma]$ , Па. Получены аналитические выражения для расчета дальности распространения напряжения в однородной среде.

**Ключевые слова:** почва, напряжение, сопротивление смятию, угол трения, деформатор, зона рыхления.

При решении многих теоретических задач, связанных с обработкой почвы, возникает необходимость определения дальности распространения напряжения под действием механической нагрузки. Из теории обработки почвы известно, что напряжения в ней распространяются перпендикулярно к поверхности деформатора, а на границах его - под углом внутреннего трения к нормальным векторам. Например, при обработке почвы культиватором, область напряжений перед рабочим органом типа *долота* называется *зоной рыхления*. Установлено, что ширина этой зоны значительно превышает ширину долота и в ней происходит подвижка частиц почвы [1].

Величина напряжения убывает по мере удаления от деформатора.

Если вектор силы, создающей напряжение в почве при обработке, направлен к ее поверхности изнутри, происходит вспучивание почвы, что наблюдается визуально. В этом случае дальность распространения области напряжений естественно ограничена поверхностью почвы. Если вектор силы направлен в глубь почвы, дальность распространения области напряжений можно оценить экспериментально: тензометрированием или по деформации слоев почвы, искусственно созданных контрастным материалом (меловым порошком).

Экспериментальные исследования не дают ответа на вопрос об истинной дальности распространения напряжений в почве, т. к. всегда можно предположить, что при большей чувствительности приборов слабые напряжения можно зарегистрировать на любом расстоянии от деформатора. Отсюда возникает

необходимость теоретического обоснования этого вопроса.

Рассмотрим простейшую схему образования области напряжений под воздействием на поверхность почвы силы  $N$  через деформатор, площадь которого мала (рис. 1).

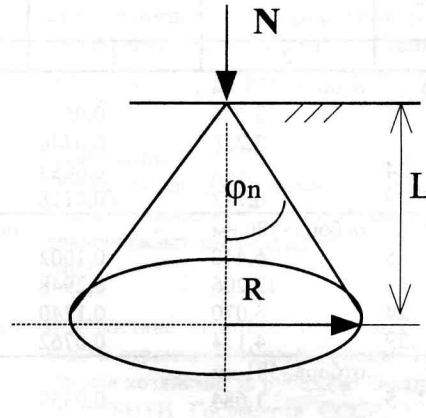


Рис. 1. Область напряжений в почве от точечного деформатора

Найдем величину напряжения  $\sigma$  в плоскости, отстоящей на некоторое расстояние  $L$  от поверхности почвы. Радиус  $R$  основания конуса определится из выражения

$$R = L \operatorname{tg} \varphi_n = L f_n, \quad (1)$$

где  $\varphi_n$  - угол внутреннего трения;  $f_n$  - коэффициент трения в среде почва-почва (являются объективными механическими характеристиками почвы).

Площадь  $S$  основания определится из выражения

$$S = \pi L^2 f_n^2. \quad (2)$$

Величина  $\sigma$  напряжения определится по известной формуле

$$\sigma = N/S. \quad (3)$$

Напряжение будет убывать пропорционально квадрату расстояния от поверхности почвы.

На основе анализа изученных явлений в различных областях физики можно предположить, что на некотором удалении величина  $\sigma$  сравняется с удельным сопротивлением почвы смятию  $[\sigma]$ , после чего дальнейшее распространение области напряжений, вы-

<sup>1</sup> Автор - профессор кафедры технологии и оборудования лесного комплекса

званных действием силы  $N$ , прекратится. Позволим провести аналогию с взаимодействием полей (магнитных, электрических), граница которого приходится на поверхность, где напряженности уравниваются. Заметим, что принятые посылки не противоречат диалектическому принципу единства мира.

На основании вышеизложенного, максимальная дальность распространения напряжений  $L_1$  от точечного деформатора определится из выражения

$$L_1 = \sqrt{\frac{N}{[\sigma] \pi f_n^2}} \quad (4)$$

На рис. 2 представлена схема воздействия на поверхность почвы силой  $N$  через деформатор в виде круга радиусом  $r$ .

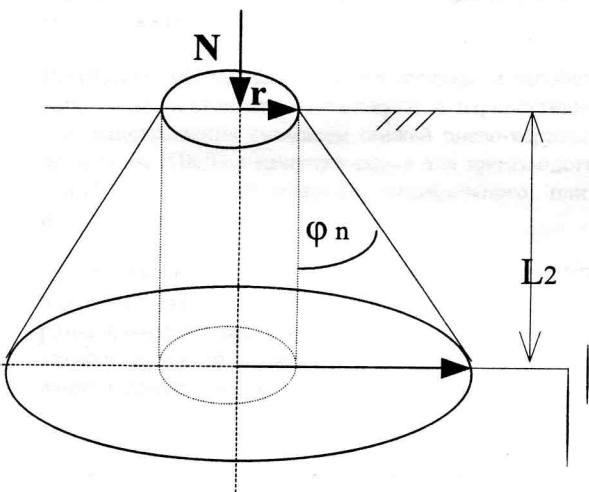


Рис. 2. Область напряжений в почве от круглого деформатора

Максимальная дальность  $L_2$  распространения напряжений от круглого плоского деформатора определится из выражения

$$L_2 = -A + \sqrt{A^2 + B}, \quad (5)$$

где величины  $A$  и  $B$  имеют значения

$$A = r / f_n, \quad B = (N / [\sigma] \pi - r^2) / f_n^2. \quad (6)$$

Рассмотрим численные примеры. В качестве механических характеристик почвы примем величины, замеченные при полевых исследованиях подрезки корней

сеянцев в лесном питомнике [2]:  $[\sigma] = 108$  кПа;  $f_n = 0,37$ .

**Пример 1.**  $N = 10$  кН,  $r = 0,1$  м.

Величина  $L_2$  получается  $0,19$  м.

**Пример 2.**  $N = 10$  кН,  $r = 0,2$  м.

Расчетная величина  $L_2$  получается  $-0,08$  м, т. е. отрицательная, что на первый взгляд ставит под сомнение корректность предлагаемой методики.

Определим по формуле (3), какое напряжение  $\sigma$  создается непосредственно под деформатором, на границе его контакта с почвой, и получим величину  $79,6$  кПа, т. е.  $\sigma < [\sigma]$ !

На практике это будет означать, что действие усилия  $N$  на почву не проявится, в частности, не останется даже отпечатка деформатора.

Решение задачи для деформатора, например квадратной формы со стороной  $a$  (рис. 3), также будет иметь вид (5), но значения  $A$  и  $B$  будут иными:

$$A = 2a / \pi f_n, \quad B = (N / [\sigma] - a^2) / \pi f_n^2. \quad (7)$$

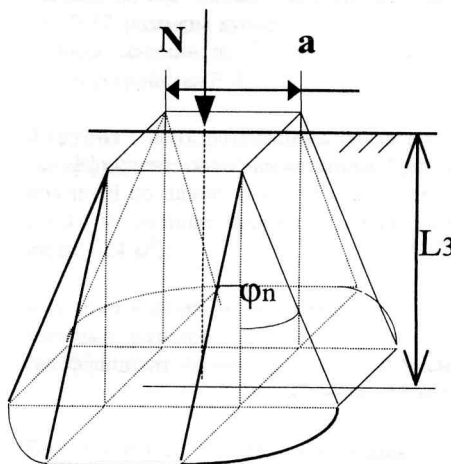


Рис. 3. Область напряжений в почве от квадратного деформатора

Экспериментальная проверка предложенной методики расчета была выполнена для обоснования рабочей скорости корнеподрезчика [3], при этом расхождение с расчетными данными не превысило 5%, т. е. сходимость результатов вполне удовлетворительная.

По предварительным данным, предложенную методику обоснования размеров области напряжений в

почве под действием механической нагрузки можно также успешно применить для решения задач уплотнения грунта в строительстве и многих других.

Материалы статьи были доложены автором и одобрены на теоретическом семинаре кафедры механики строительного факультета Петрозаводского государственного университета 6 марта 1997 года.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зима И. М., Малогин Т. Т. Механизация лесохозяйственных работ. М.: Лесная пром-сть, 1976. 416 с.

2. Цыпук А. М. Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / ЛТА. СПб., 1996. 299 с.
3. Цыпук А. М. Обоснование скорости резания корнеподрезчика для лесных питомников // Повышение качества машин и механизмов в процессе проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта: Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. СПб., 1996. С.156-160.

