

6. Skuryatin, N.F. Issledovanie sil, dejstvuyushchih na pricep pri rabote s tyagovo-dogruzochnym ustrojstvom (Study of the Forces Acting on the Trailer when Operating Traction-Finish Loading Device), N.F. Skuryatin, A.V. Bondarev, E.V. Solov'yov, V.N. Amosov, *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, No 4, PP. 94-98.
7. Skuryatin, N.F. Povyshenie gruzopodъemnosti pricepnogo agregata (Enhancement of the Load Capacity of the Trailer Unit), N.F. Skuryatin, E.V. Solov'ev, A.V. Bondarev, *Sel'skij mekhanizator*, 2014, No 12, PP. 38-39.
8. Shchitov, S.V. Puti povysheniya agrotekhnicheskoy prohodimosti kolyosnyh traktorov v tekhnologii vozdel'yvaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur Dal'nego Vostoka (Ways to Improve the Agro-Technical Cross-Country Ability of Wheeled Tractors in the Technology of Cultivation of Crops of the Far East): dis. dokt. tekhn. nauk: 05.20.01, zashchishchena 20.05.09, Shchitov Sergej Vasil'evich, Dal'GAU, Blagoveshchensk, 2009, 325 p.
9. Yablonskij, A.A. Sbornik zadach dlya kursovyyh rabot po teoreticheskoy mekhanike (Collection of Problems for Term Papers on Theoretical Mechanics), Moskva, Vysshaya shkola, 1982, 382 p.
10. Battiato, A., Diserens, E. (2013). Influence of Tyre Inflation Pressure and Wheel Load on the Traction Performance of a 65 kW MFWD Tractor on a Cohesive Soil. *Journal of Agricultural Science*, 5(8), PP.197-214.
11. Šmerda, T., Čupera J. (2010). Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set. *Journal of Terramechanics*, 47, PP. 395-400.
12. Wulfsohn, D., Way, T.R. (2009). Factors that influence tractive performance of wheels, tracks and vehicles. *Advances in Soil Dynamics* vol. 3. St Joseph Michigan ASABE, PP. 209-252.
13. Zoz, F., M., Grisso, R., D. (2003). Traction and Tractor Performance. ASAE Distinguished Lecture Series, Tractor Design, 27, PP. 11-16.

УДК 631.372  
ГРНТИ 68.85.87

DOI: 10.24411/1999-6837-2018-13069

**Шишлов С.А.**, д-р техн. наук, профессор,  
E-mail: sergey\_a\_shishlov@mail.ru,  
Дальневосточный государственный аграрный университет,  
г. Благовещенск, Амурская область, Россия;  
**Шишлов А.Н.**, канд. техн. наук, доцент;  
**Шапарь М.С.**, канд. техн. наук,  
Приморская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Уссурийск, Приморский край, Россия

## НАПРЯЖЕНИЯ НА УПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВОЗАЦЕПА ДВИЖИТЕЛЯ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА

*На основании предложенной гипотезы рассмотрено решение задачи определения сдвигающих напряжений в почве при работе движителя гусеничного трактора через напряжения на упорной поверхности почвозацепа. Приведены установленные теоретические зависимости изменения напряжений по высоте упорной поверхности почвозацепа. Представлены некоторые результаты экспериментальных исследований изменения напряжений по высоте упорной поверхности почвозацепа, подтверждающие теоретические предпосылки.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОЧВА, ПОЧВОЗАЦЕП, ГУСЕНИЧНЫЙ ТРАКТОР, СДВИГАЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ.

UDC 631.372

DOI: 10.24411/1999-6837-2018-13069

**Shishlov S.A.**, Dr Tech. Sci., Professor,

E-mail: sergey\_a\_shishlov@mail.ru;

Far Eastern State Agrarian University,

Blagovedhchensk, Amur region Russia

**Shishlov A.N.**, Cand. Tech. Sci., Associate Professor;**Shapar M.S.**, Cand. Tech. Sci.,

Primorskaya State Academy of Agriculture,

Ussuriisk, Primorsky Krai, Russia

## STRESSES ON THE THRUST SURFACE OF GROUSER OF THE CRAWLER TRACTOR

*On the basis of the proposed hypothesis, the solution of the problem of determining the shear stresses in the soil during the operation of the crawler running part of the tractor through the stresses on the thrust surface is considered. Presented the established theoretical dependences of stress changes on the height of the thrust surface of the grouser. Presented some results of experimental research of stress changes on the height of the thrust surface of the grouser, confirming the theoretical background.*

KEY WORDS: SOIL, GROUSER, CRAWLER TRACTOR, SHEAR STRESS.

Для обеспечения передвижения машины в конкретных почвенных условиях необходимо, чтобы величина сдвигающих напряжений, возникающих от воздействия движителя, не превышала величины допускаемого сдвигающего напряжения почвы. Если первые определяются мощностью двигателя и конструктивными параметрами движителя, то вторые зависят от физико-механических свойств и состояния почвы. Поскольку в современных условиях возможна установка двигателя любой мощности, то определяющим фактором при движении машины являются сцепные свойства почвы.

Величину сдвигающих напряжений почвы можно определить по уравнению Кулона [3]

$$\tau = c + \sigma \cdot tg\varphi, \quad (1)$$

где  $c$  - связность грунта, $\sigma$  - сжимающее напряжение, $\varphi$  - угол внутреннего трения почвы.

При использовании этого уравнения необходим достаточно большой объем лабораторных исследований для каждого типа почвы в зависимости от ее состояния.

Ряд ученых [1,2 и др.] предлагает более сложные зависимости для определения сдвигающих напряжений, но и они ограничиваются возможностью использования.

Проанализировав имеющиеся закономерности и пути решения задачи определения сдвигающих напряжений в почве, нами была предложена гипотеза их определения через напряжения на упорной поверхности почвозацепа. Для решения этой задачи приняты следующие допущения:

1. почва является средой упруго-пластической;

2. плотный подпахотный горизонт имеет достаточную глубину залегания и на напряженное состояние верхнего слоя почвы влияния не оказывает;

3. упорная поверхность почвозацепа является абсолютно жесткой;

4. напряжения от воздействия почвы возникают только на упорной поверхности почвозацепа;

5. упорная поверхность почвозацепа является нерасчлененной.

На основании принятых допущений задача определения сдвигающих напряжений является плоской. Поместив начало координат в вершине почвозацепа, ось X считаем направленной вдоль упорной поверхности, ось Y направленной перпендикулярно оси X (рисунок 1). Условие равновесия выделенного элемента на упорной поверхности почвозацепа запишем в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку напряжение  $\sigma_x$  на величину сдвигающих напряжений не влияет,

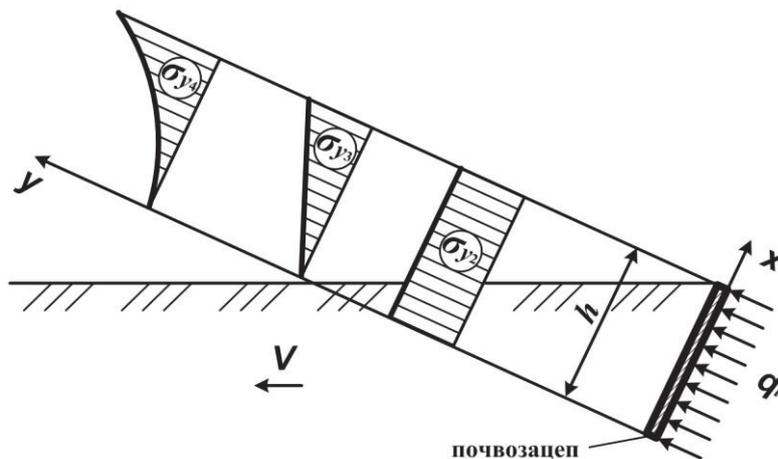


Рис.1. Эпюры распределения нормальных напряжений по высоте упорной поверхности почвозацепа: V – направление перемещения движителя;  $q_i$  – реакция почвы на упорную поверхность почвозацепа; h – высота упорной поверхности почвозацепа

Принимаем функцию распределения напряжений в виде полинома четвертого порядка

$$f_4 = \frac{a_4 x^4}{12} + \frac{b_4 x^3 y}{6} + \frac{c_4 x^2 y^2}{2} + \frac{d_4 x y^3}{6} + \frac{e_4 y^4}{12} \quad (3)$$

Для полиномов второго и третьего порядка никаких ограничений на определение коэффициентов не накладывается, т.к. уравнения равновесия удовлетворяются при любых их значениях. Для полинома четвертого порядка условия равновесия удовлетворяются только в том случае, когда

$$a_4 = -(2c_4 + a_4) \quad (4)$$

С соблюдением этого условия, дифференцируя дважды уравнение (3) по x, имеем

$$\sigma_{y_4} = a_4 x^2 + b_4 x y + c_4 y^2 \quad (5)$$

установим закон изменения напряжений  $\sigma_y$  на упорной поверхности почвозацепа. Закон распределения напряжений  $\sigma_y$  по высоте упорной поверхности почвозацепа будем искать в виде полинома. Принимая функцию распределения  $\sigma_y$  в форме полинома второго и третьего порядка, получим закон распределения напряжений на эпюре в виде прямой линии (рисунок 1). Поскольку в реальных условиях работы почвозацепа почва является средой анизотропной, равномерным распределение напряжений быть не может [4].

На упорной поверхности почвозацепа при  $y = 0$  имеем

$$\sigma_{y_4} = a_4 x^2 \quad (6)$$

Уравнение (6) показывает, что закон изменения напряжений по высоте упорной поверхности почвозацепа является степенным и имеет вид квадратной параболы. Дальнейшее повышение порядка полинома не изменяет закона распределения напряжений, при этом лишь изменяется крутизна ветви параболы (рисунок 1).

Значение коэффициента  $a_4$  выбирается исходя из условия предельного сопротивления объема почвы смятию по глубине. Следовательно, его можно характеризовать как изменение объемного веса почвы по глубине.

Для экспериментальной проверки полученной зависимости на условный почвозацеп, выполненный из металлической пластины толщиной 3 мм и высотой 60 мм, по высоте через 10 мм наклеивались тензометрические датчики с базой 10 мм, фиксирующие величину деформации. По величине деформации определяли значение напряжений в соответствующих точках.

На основании расчетных и экспериментальных данных построены теоретическая и экспериментальная зависимости распределения напряжений по высоте упорной поверхности почвозацепа (рисунок 2), позволяющие сделать вывод о том, что полученные зависимости имеют тесную сходимость, т.е. теоретические выводы подтверждаются экспериментально.

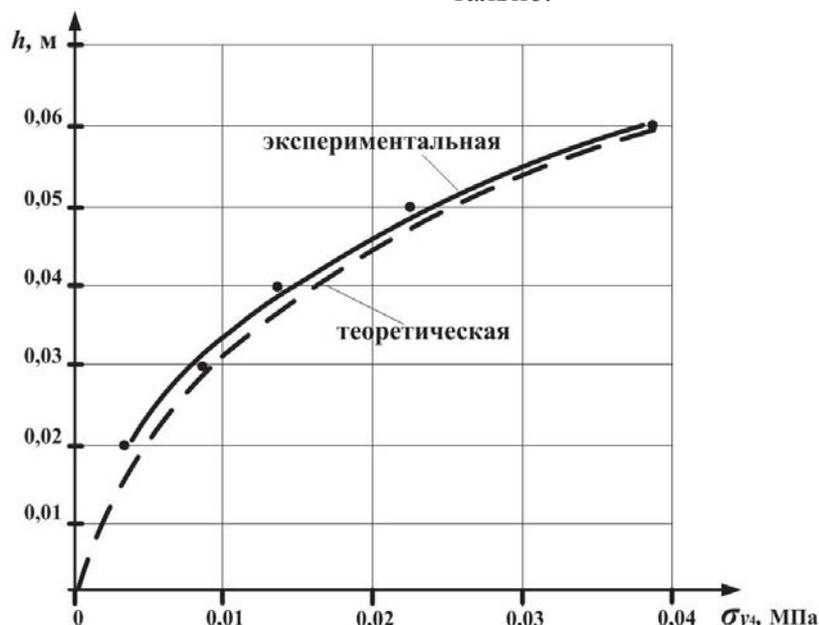


Рис. 2. Изменение нормальных напряжений  $\sigma_{y4}$  по высоте упорной поверхности почвозацепа  $h$

#### Библиографический список

1. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность-машина: пер. с англ./ М. Г. Беккер; пер. В.В. Гуськова. – Москва: Машиностроение, 1973. –520 с.
2. Водяник, И.И. Воздействие ходовых систем на почву (научные основы). – Москва: Агропромиздат, 1990.–172 с.
3. Мацепуро, М.Е. Процесс взаимодействия гусеничных тракторов с минеральным грунтом / М.Е. Мацепуро, С.С. Селицкий // Вопросы земледельческой механики. – Минск, 1961. - Т.6. – С. 94-129.
4. Шишлов, С.А. Фрикционно-адгезионные свойства почв Приморского края, влияющие на работу машин / С.А. Шишлов, А.Н. Шишлов, П.В. Тихончук, С.В. Щитов, А.Б. Жирнов // Научное обозрение. – 2016. - №17. – С.102-106.

#### Reference

1. Bekker, M.G. Vvedenie v teoriyu sistem mestnost'-mashina (Introduction to the Theory of Terrain-Machine Systems), per. s angl. M. G. Bekker, per. V.V. Gus'kova, Moskva, Mashinostroenie, 1973, 520 p.
2. Vodyanik, I.I. Vozdejstvie hodovyh sistem na pochvu (nauchnye osnovy) (Impact of Running Systems on Soil (Scientific Basis), Moskva, Agropromizdat, 1990,172 p.
3. Macepuro, M.E., Selickij, S.S. Process vzaimodejstviya gusenichnyh traktorov s mineral'nym gruntom (The Process of Interaction of Crawler Tractors with Mineral Soil), *Voprosy zemledel'cheskoj mekhaniki*, Minsk, 1961, T.6, PP. 94-129.
4. Shishlov, S.A. Frikcionno-adgezionnye svojstva pochv Primorskogo kraja, vliyayushchie na rabotu mashin (Friction and Adhesion Properties of Soils of Primorsky Krai, Affecting the Operation of Machines), S.A. Shishlov, A.N. Shishlov, P.V. Tihonchuk, S.V. Shchitov, A.B. Zhirnov, *Nauchnoe obozrenie*, 2016, No 17, PP.102-106.