DOI 10.28983/asj.y2021i8pp87-90 УДК 631.3.02, 631.439

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЕННОГО СЛОЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СИЛУ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ ОБРАБОТКЕ

АБРАМОВ Игорь Львович, *Федеральный научный центр лубяных культур*

Значительной проблемой в разработке современной сельскохозяйственной техники является отсутствие методики расчета ее рабочих органов на прочность, обеспечивающей достаточную точность результатов. Используемые модели расчета не учитывают микрорельеф обрабатываемой поверхности, что приводит к значительной погрешности при определении как экстремальных, так и долговременных нагрузок на рабочие органы механизмов. В приведенной статье рассматривается влияние микрогеометрии поверхности обрабатываемой почвы на усилия, возникающие в почвообрабатывающем инструменте. Рассмотрена существующая расчетная модель на примере игольчатой бороны, указаны ее недостатки и предложен путь их устранения. Приведены экспериментальные данные по исследованиям размера микронеровностей профиля поверхности почвы, выявлены закономерности случайного распределения микронеровностей, в частности, подтверждено предположение о нормальном характере этого распределения. На основании полученных данных предложены зависимости для более точного расчета нагрузок, действующих на почвообрабатывающий инструмент.

Введение. Модели, применяемые для расчета напряженно-деформированного состояния почвообрабатывающего инструмента, как правило, при описании движения этого инструмента используют допущение о том, что поверхность почвы является идеально ровной [2]. Такое допущение, безусловно, вносит определенную погрешность в расчет. Ранее точность расчетов, достигаемая при использовании такой модели, считалась вполне достаточной, но в настоящее время, когда на первый план выходит экономическая эффективность как в эксплуатации, так и при производстве почвообрабатывающих машин, наряду с использованием ранее не применявшихся материалов, эту, изначально заложенную в модель погрешность, необходимо учитывать.

Таким образом, целью представленного исследования является изучение закономерностей микрорельефа почвенного слоя, что позволит производить более точные расчеты действующих на почвообрабатывающий инструмент сил в процессе реальной эксплуатации, даст возможность более точно рассчитать необходимые прочностные свойства этого инструмента, что, в свою очередь, позволит избежать как неоправданно высоких затрат при производстве за счет применения более дешевых конструкционных материалов, так и снизить количество поломок в процессе эксплуатации, вызванных недостаточной прочностью применяемого инструмента.

Методика исследований. Влияние микрогеометрии поверхности почвенного слоя на прочностные свойства обрабатывающего инструмента будем рассматривать на примере игольчатой бороны. Тем не менее, следует отметить, что это влияние в той или иной степени будет проявляться при работе практически любого сельскохозяйственного оборудования, в том числе не обязательно непосредственно предназначенного для обработки самой почвы. Так, даже не слишком большие неровности могут приводить к периодическому контакту, например, рабочих органов жаток с поверхностью почвы.

Для решения задачи контактного взаимодействия инструмента с почвой необходимо определить действующие в системе силы. Значения этих сил в значительной степени зависят от заглубления инструмента, то есть профиль микронеровностей поверхности оказывает непосредственное влияние на условия контактной задачи.

В качестве практического примера рассмотрим взаимодействие иглы игольчатой бороны с почвой. Общая схема контакта представлена на рис. 1 [1].

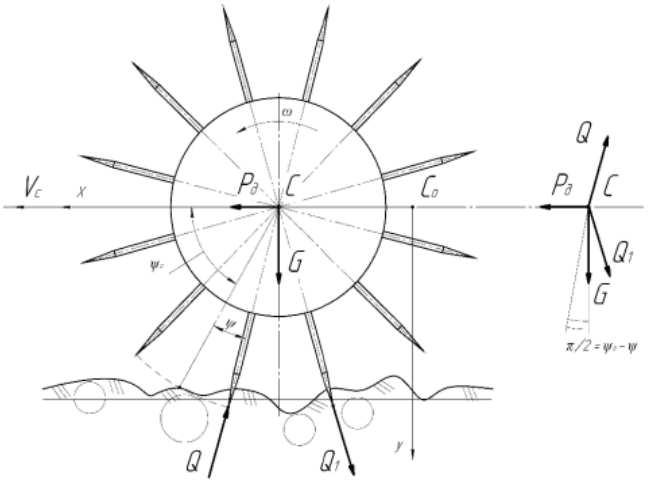

Рис. 1. Схема контактного взаимодействия игольчатого колеса бороны с почвой

Анализ схемы показывает, что иглы можно рассматривать, как консольные стержни, испытывающие осевое сжатие и касательный изгиб.

Поскольку пластическая деформация рабочего органа приведет к нарушению режима нор-

мальной эксплуатации бороны, то предельными рабочими следует считать нагрузки, не превышающие предела упругости материала иглы. В связи с тем, что колесо бороны жестко закреплено на валу, то движение и нагружение вдоль одной из осей отсутствует. Таким образом, задача сводится к плоской задаче о консольно закрепленном стержне с переменным сечением.

Расчетная схема для этой задачи представлена на рис. 2.

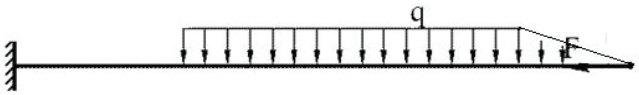

Рис. 2. Расчетная схема для консольно закрепленного стержня переменного сечения с жесткой заделкой

Предельные напряжения не должны превышать предела текучести материала с учетом коэффициента запаса прочности *K:*

$$\sigma_{lim} < \frac{\sigma_T}{K}. \quad (1)$$

Из условия равновесия и геометрических параметров иглы можно определить реакцию опор нагрузки.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0; \\ \sum F_y = 0; \\ \sum M_A = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Из [3] известно, что сила, действующая на иглу, зависит от ее глубины погружения и, считая глубину погружения иглы в почву функцией, зависящей от горизонтального перемещения и имеющей случайный характер, значение усилия можно определить так:

$$P_{\partial_ш} = k\frac{\lambda(x)}{\psi_{12}}\psi\cos(\psi_0 + \psi) + Q_1 \quad (3)$$

где $\lambda(x)$ – глубина внедрения иглы в почву в зависимости от координаты продольного перемещения агрегата, k – эмпирический коэффициент, зависящий от твердости почв, ψ – угол между иглами, Q_1 – сила сопротивления движению иглы на выходном полуцикле и определяемая по методике [1].

Следовательно, для определения напряжений и деформаций, возникающих в игле, необходимо определить случайную функцию глубины погружения иглы от координаты $\lambda(x)$, в зависимости от которой, в свою очередь, можно будет определить значения сил, действующих на иглу.

Измерения, проведенные в [6], показывают разброс значений силы сопротивления вертикальному проколу почвы от 250 до 3600 Н в зависимости от ее твердости и диаметра индентора. Следовательно, эти значения можно считать пределами изменения случайной функции силы, зависящей от глубины погружения иглы в почву.

Результаты исследований. Для проверки выдвинутых предположений был использован ультразвуковой профилограф собственной разработки [3].

В результате профилографирования почвенного слоя до и после боронования были получены данные по размерам выступов и впадин микрорельефа поверхности, на основании которых были построены гистограммы распределения, представленные на рис. 3, 4.

Из анализа рисунков видно, что распределение значений высоты микронеровностей носит нормальный характер, причем имеются два максимума частоты отклонений – как в отрицательной, так и в положительной части. После боронования характер зависимости не изменяется, так же сохраняется нормальный характер распределения с двумя максимума-

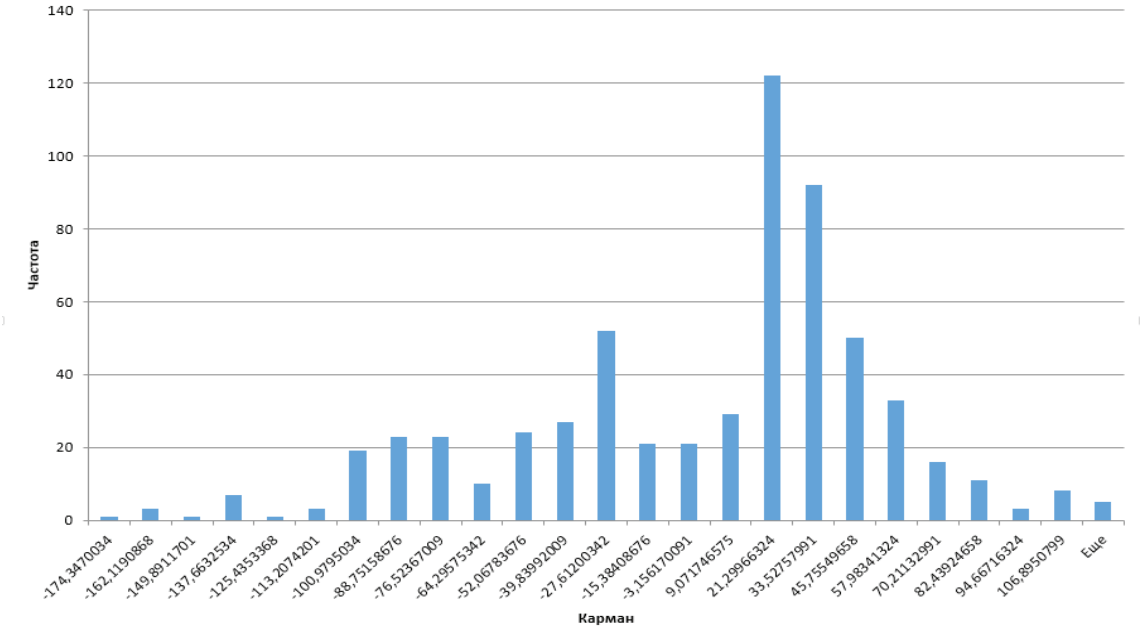

Рис. 3. Частотное распределение размера микронеровностей поверхности почвы. Обработка – пахота

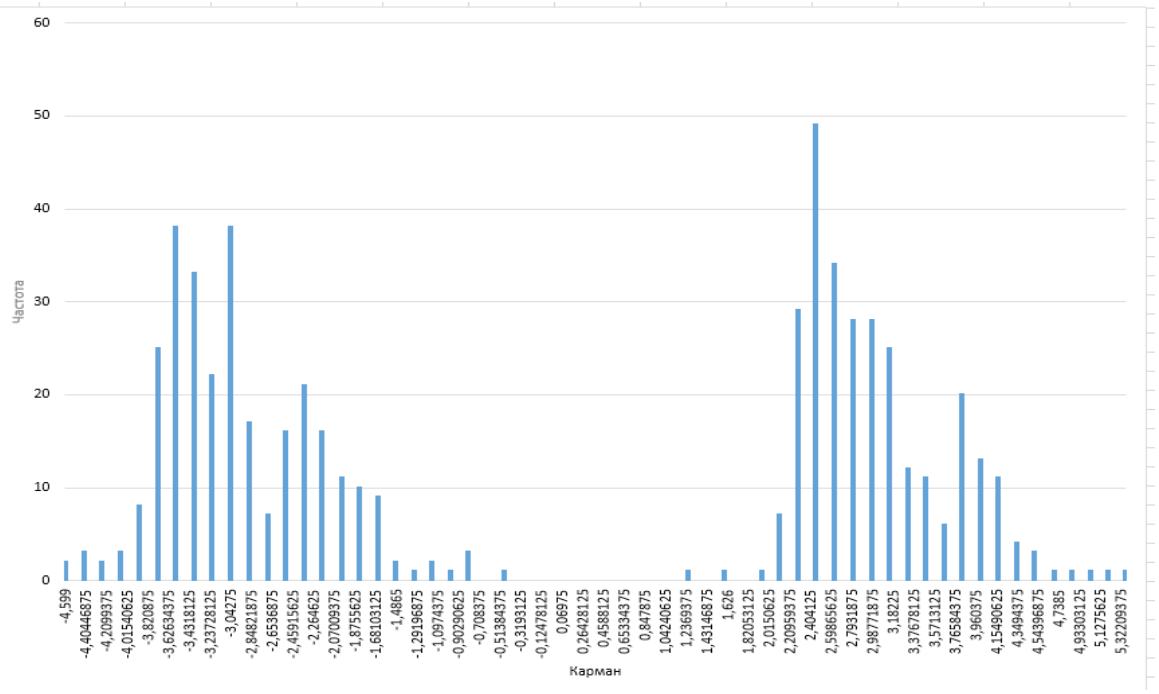

Рис. 4. Частотное распределение размера микронеровностей поверхности почвы. Обработка – боронование игольчатой бороной

ми и так же значения пиков распределения не имеют симметричного характера относительно нуля, хотя как абсолютные значения высот, так и их разброс значительно уменьшаются относительно значений, полученных после пахоты.

Также следует отметить, что пик распределения для положительной и отрицательной частей значений имеет разное абсолютное значение относительно нулевой линии. Предположительно это вызвано тем, что материал от разрушившихся выступов, попадая во впадины поверхности заполняет их менее плотной упаковкой, чем было до обработки почвы. Тем не менее, решение этого вопроса требует дополнительного исследования, в частности, измерения зависимости изменения высоты микронеровностей от времени, прошедшего после обработки почвы, что выходит за рамки данного исследования.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно сделать заключение, что функция зависимости глубины погружения иглы в почву от координаты имеет нормальное случайное распределение [4]:

$$\lambda(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-a)^2/2\sigma^2}. \qquad (4)$$

Поскольку функция силы сопротивления обработке почвы, действующей на иглу, прямо пропорциональна глубине погружения иглы, то и значение силы сопротивления обработке почвы также имеет нормальное распределение. Следовательно, для определения глубины погружения иглы необходимо определить параметры нормального распределения, а именно математическое ожидание a среднее квадратичное отклонение σ. Эти параметры можно определить из частотного распределения размеров микронеровностей поверхности почвы.

Отдельно следует отметить, что поскольку центры распределения могут быть не симметричны относительно нулевой отметки уровня почвы, то в расчете устойчивости к усталостному разрушению и расчету собственных частот колебаний обрабатывающего инструмента это также необходимо учитывать.

Заключение. Экспериментально подтверждено, что функция $\lambda(x)$ имеет нормальное распределение, следовательно, сила сопротивления, действующая на иглу P также имеет нормальное распределение. Максимальные абсолютные значения глубины впадин микропрофиля поверхности меньше максимальных абсолютных значений высоты выступов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов И.Л., Сизов И.В.* К вопросу о теоретических основах воздействия игл игольчатой бороны на почву // Агроэкоинфо. – 2018. – № 3(33). – С. 58–60.

2. Анализ работы игольчатой бороны при качении по почве / Г.А. Хайлис [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2014. – № 5. – С. 25–28.

3. *Абрамов И.Л., Кондрашов В.А.* Разработка и применение ультразвукового профилографа для определения параметров микронеровностей поверхности почвенного // Сельский механизатор. – 2020. – № 9. – С. 14–15.

4. *Гмурман, В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. 9-е изд., стереотип. – М.: Высш. шк., 2003 – 497 с.

5. *Ковалев М.М., Кондрашов В.А.* Определение зависимости движущей силы игольчатой бороны от сопротивления почвы проколу и числа одновременно заглубляющихся игл // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 22–25.

6. Экспериментальные исследования игольчатой бороны / В.А. Шейченко [и др.]. – Германия, 2017. – 164 с.

Абрамов Игорь Львович, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур, Россия.*

170041, г. Тверь, Комсомольский просп., 17/56.

Тел.: (4822) 416-110.

Ключевые слова: *микрорельеф почвы; механическая прочность; расчетная модель; нормальное распределение.*

INVESTIGATION OF THE MICRORELIEF OF THE SOIL LAYER SURFACE AND ITS EFFECT ON THE STRENGTH OF SOIL RESISTANCE TO TILLAGE

Abramov Igor Lvovich, *Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops, Russia.*

Keywords: *soil microrelief; mechanical strength; calculation model; Gaussian distribution.*

The lack of the operating elements strength calculating methods providing sufficient accuracy of the results is a significant problem in modern agricultural machinery development. The using calculation models do not take into consideration the microrelief of the treated surface, which leads to a significant error in determining both extreme and long-term loads on the working bodies of mechanisms. In this article author analyzes the cultivated soil treated surface microgeometry influence on the forces arising in the tillage tool. The existing design model is considered on the needle harrow example, its disadvantages are indicated and a way to eliminate them is proposed. Experimental data on the soil surface profile microroughnesses size study are presented, regularities of the microroughnesses random distribution are revealed, in particular, the assumption of the normal nature of this distribution is confirmed. The dependenses based on the obtained data are proposed for a more accurate acting on the tillage tool loads calculation.

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

DOI 10.28983/asj.y2021i8pp90-94 УДК 631.3:621

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

ЖУРАВЛЕВА Лариса Анатольевна, *Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева*

НГУЕН Ван Тхуан, *Московский политехнический университет*

В процессе полива широкозахватными дождевальными машинами (ДМ) за счет взаимодействия колес с почвой происходит ее уплотнение. При этом колеса ДМ воздействуют на почву с определенным удельным давлением, зависящим от целой совокупности факторов, основными из которых являются длина машины, длина пролета, масса машины, диаметр водопроводящего трубопровода, площадь пятна контакта колеса, определяемого его геометрией, давлением и типом шин. В работе представлены теоретические исследования удельного давления колеса на почву и возможности его снижения. Даны рекомендации по типу и количеству колес, которые необходимо устанавливать на ходовых тележках ДМ на основе сравнения рассчитанного удельного давления конструируемой машины с нормативным воздействием движителей на почву сельскохозяйственной техники.

Введение. Движение широкозахватных ДМ по орошаемому полю – это процесс взаимодействия их колес с почвой [4], вызывающее ее уплотнение. Интенсивное уплотнение приводит к эрозии почвы, тем самым разрушая природную структуру и уменьшая урожайность. Поэтому совершенствование конструктивных параметров широкозахватных ДМ для удовлетворения требованиям ГОСТ по нормативному удельному давлению на почву является актуальной задачей.

Методика исследований. Расчет был проведен с помощью программы Matlab 2017a.

Расчет для ДМ с пневматическими колесами.

Исходные данные для расчета: шины марок 14,9–24, 16–20, 18–24 и 23–26. Основные характеристики приведены в табл. 1 [8–11].

Ширина протектора $B_{пр}$ принимается в зависимости от ширины профиля В [1]:

$$B_{пр} = (0,7 - 0,85)B. \quad (1)$$