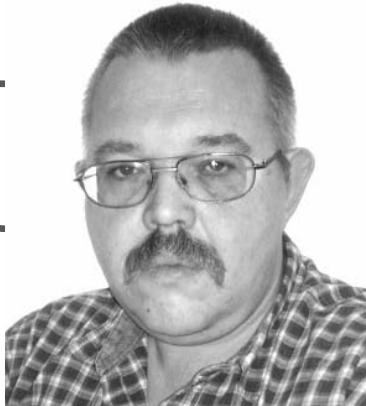


К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ИГОЛЬЧАТОЙ БОРОНЫ



И.Л. Абрамов

к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории возделывания и уборки лубяных культур
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства», г. Тверь

В настоящее время продолжает оставаться актуальной задача снижения себестоимости производства сельскохозяйственных машин. Одним из возможных путей её решения является уменьшение затрат на разработку и изготовление опытных образцов. Во всём мире опытная доводка экспериментальных образцов новейшей техники активно замещается методами компьютерного моделирования процессов [1], происходящих при эксплуатации различных машин и их отдельных узлов. Тем не менее, следует понимать, что для проведения достоверного компьютерного моделирования необходимо иметь математическую модель, описывающую эти процессы с максимальной долей достоверности.

На сегодняшний день по существующим методикам можно рассчитать необходимые характеристики, требуемые для проектирования различных сельскохозяйственных машин [2]. Однако объём собираемых данных, получаемых при опытной эксплуатации экспериментальных машин и агрегатов, всегда меньше получаемого при штатной эксплуатации, в силу чего невозможно в полной мере исключить влияние факторов, изначально казавшихся незначительными. Применение компьютерного моделирования могло бы сильно облегчить и упростить сам процесс доводки экспериментальной техники, но основная трудность применения таких, несомненно, прогрессивных методов, состоит в том, что теоретическая модель работы агрегатов, применяемая для расчётов, обычно использует ряд упрощений и предположений, что может привести к очень значительному отличию получаемых в реальности результатов от теоретически предсказанных.

Так, при моделировании движения игольчатой бороны по почве, её поверхность принимается идеально ровной [3], что, очевидно, не соответствует реальным условиям эксплуатации. Более того, предварительные расчёты на прочность показали, что пределы прочности, текучести и выносливости применяемых в производстве игл стали Ст45 вполне удовлетворяют принятым при проектировании значениям. Тем не менее, при опытной эксплуатации обнаружилось, что прочность игл является недостаточной, что в итоге привело к поломкам. Фотография типичного излома иглы представлена на рисунке 1.

На фотографии видно типичное усталостное разрушение резьбового соединения. Известно, что одной из основных причин такого разрушения является вибрация в процессе эксплуатации [4]. Однако при моделировании движения бороны по идеально ровной поверхности учесть вибрации не представляется возможным, поскольку в таких идеальных условиях они будут отсутствовать.

*Игольчатая борона,
микрорельеф
поверхности движения,
компьютерное
моделирование,
прочность*

*Soil spiker, sliding surface
microrelief, computer
simulation, strength*

Вторым фактором, влияющим на возникновение вибраций при качении игольчатой бороны, является неоднородность обрабатываемой почвы. Так, при внедрении иглы на определённую глубину в реальных условиях вероятен контакт иглы с твёрдыми включениями в почве (с гравием или камнями), что также не учитывает идеальная расчётная модель. Контакт иглы с крупными твёрдыми включениями в почве приводит к возникновению ударных нагрузок, а контакт с мелким гравием, кроме того, усиливает вибрации в процессе эксплуатации.

Таким образом, можно сказать, что для более точного моделирования процесса эксплуатации игольчатой бороны необходимо так дополнить существующую модель, чтобы также учесть:

- микрорельеф поверхности движения;
- наличие твёрдых включений, находящихся в массиве обрабатываемой почвы, размер и количество которых определяются принятой характеристикой каменности почвы.

Моделирование поверхности почвы

Для решения поставленной задачи была создана модель почвы, использующая следующие предположения:

Значение размера неровностей микрорельефа случайно в заданном диапазоне, распределение значений принимается по нормальному закону.

Количество твёрдых включений в почве задаётся исходя из параметров каменности, распределение твёрдых включений в почве принимается по равномерному закону.

Значение размера твёрдых включений случайно в заданном диапазоне, распределение значений размера принимается соответствующим нормальному закону.

Данные предположения были выбраны на основании литературных данных по исследованиям профиля поверхности [5, 6] и её каменности.

Для оценки реалистичности создаваемой модели будем использовать сравнение с реальной профилограммой поверхности поля. На рисунке 2 представлена такая профилограмма по данным [7].

Как видно из рисунка 2, глубокие борозды, созданные бороной, разделяют участки первоначального микрорельефа.

На основании описанных выше требований к математической модели была создана компьютерная программа в среде программирования Matlab 2014, результатом работы которой является визуализация профиля поверхности сельскохозяйственного поля вдоль случайного сечения, а также вычисление статистических параметров, описывающих поверхность движения игольчатой бороны, таких как математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение для значения

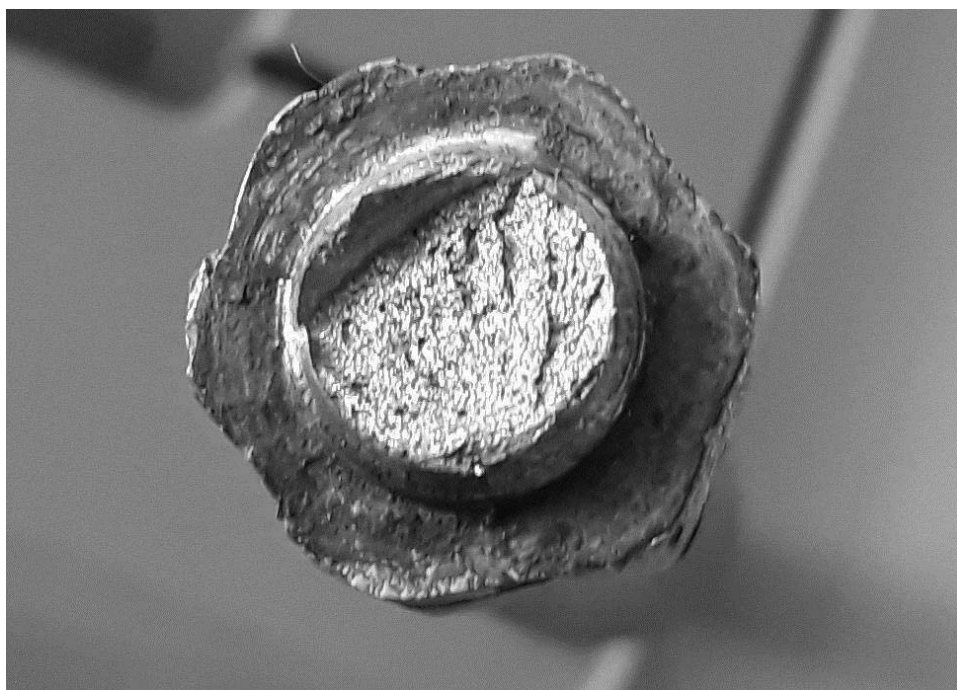


Рисунок 1 – Поверхность излома иглы игольчатой бороны

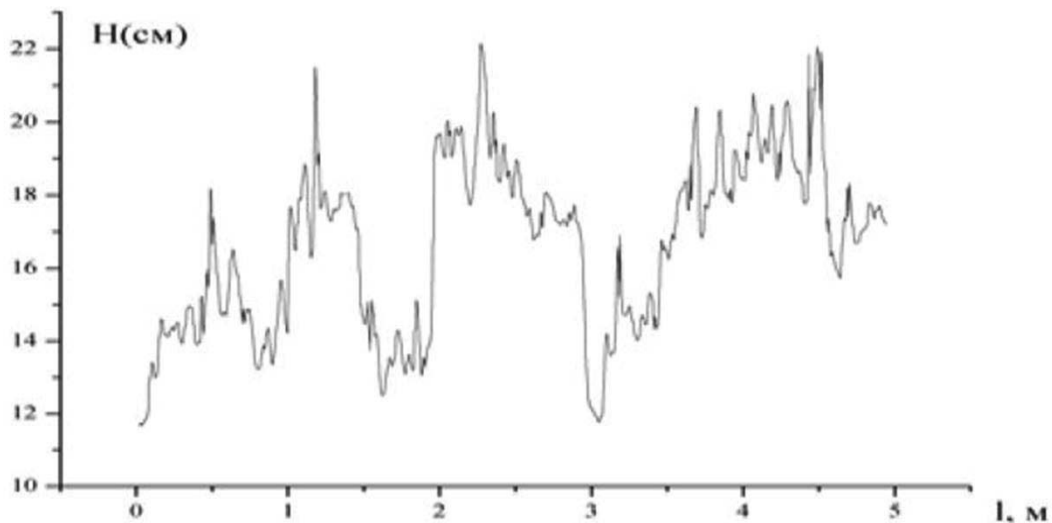


Рисунок 2 – Профилограмма поверхности боронованного поля по вспаханному (использованы данные [7])

высоты профиля сечения случайной поверхности. На рисунке 3 приведена визуализация случайного сечения, построенного согласно обсуждаемой модели.

При сравнении профиля первоначального рельефа с профилем построенной визуализации заметна удовлетворительная корреляция.

Входными данными для программы построения микрорельефа являются длина сечения и максимальные отклонения от средней линии

профиля. Оба этих параметра могут быть измерены на реальной поверхности. Для моделирования твёрдых включений входными данными являются максимальный и минимальный размер включения, а также количество включений. Эти данные могут быть взяты из такой описательной характеристики поля, как каменность.

В результате работы программы вычисляются средняя глубина погружения иглы в почву, а также частота контакта иглы с камнем.

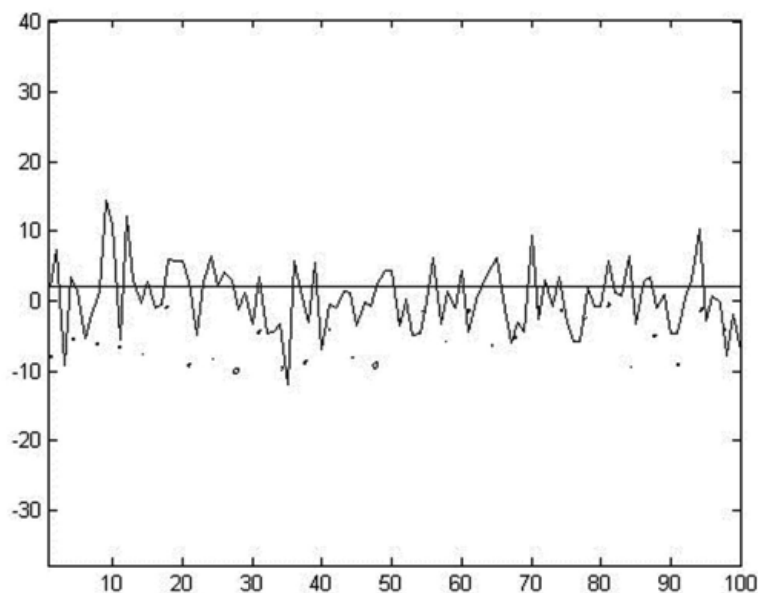


Рисунок 3 – Визуализация профиля сечения случайной поверхности (масштаб по осям в условных единицах длины)

В случае необходимости, для более полных расчётов, возможно также рассчитать минимальную и максимальную глубину погружения иглы в почву.

Выводы

Результатом работы программы является визуализация сечения участка почвы, соответствующее направлению движения обрабатывающего инструмента. При помощи этого построения вычисляется среднее значение глубины погружения иглы в почву, что позволяет уточнить существующую теоретическую модель.

Таким образом, с использованием полученных уточнений модели можно определить все необходимые условия для решения задачи кон-

тактного взаимодействия почвы с обрабатывающим инструментом, что позволит производить теоретический расчёт прочностных свойств инструмента на стадии его проектирования.

Наряду с применением указанного построения для расчёта игольчатой бороны возможна адаптация модели поверхности почвы для решения какой-либо другой контактной задачи, возникающей в процессе эксплуатации иных сельскохозяйственных инструментов. Таких, например, как контакт зуба вспушвателя ленты лентотресты с почвой. Данная математическая модель также вполне удовлетворительно подходит для описания взаимодействия с почвой практически любого инструмента, если для этого взаимодействия имеет значение микропрофиль поверхности.

Литература

1. Попов, В.Б. Компьютерное моделирование трансмиссии машинно-тракторных агрегатов / В.Б. Попов, Т.А. Трохова // Агротехника и энергообеспечение. Т. 1. – 2016. – № 4 (13). – С. 69–75.
2. Лурье, А.Б. Расчёт и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье, А.Л. Громбчевский. – Л.: Машиностроение, 1977. – 628 с.
3. Ковалев, М.М. Определение зависимости движущей силы игольчатой бороны от сопротивления почвы проколу и числа одновременно заглубляющихся игл / М.М. Ковалев, В.А. Кондрашов // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 22–25.
4. Биргер, И.А. Резьбовые соединения / И.А. Биргер, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1973. – 256 с.
5. Шило, И.Н. Исследование вероятностных характеристик микропрофиля поверхности полей, подготовленных под посев / И.Н. Шило, Ю.В. Чигарев, Н.Н. Романюк, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2008. – № 1. – С. 2–4.
6. Шило, И.Н. Исследование геометрических характеристик микропрофилей поверхностей полей / И.Н. Шило, Ю.В. Чигарев, Н.Н. Романюк, В.А. Агейчик, К.В. Сашко // Изденістер, нәтижелер. Исследования, результаты. – 2012. – № 3. – С. 154–160.
7. Яцевич, С.Е. Статистические характеристики почвенного покрова и их влияние на отражённый сигнал при радиолокационном зондировании Земли / С.Е. Яцевич, Л.А. Егорова, Е.И. Яцевич // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2008. – № 1 (16). – С. 59–61.

References

1. Popov, V.B. Komp'yuternoe modelirovanie transmissii mashinno-traktornykh agregatov / V.B. Popov, T.A. Trokhova // Agrotehnika i jenergoobespechenie. T. 1. – 2016. – № 4 (13). – S. 69–75.
2. Lur'e, A.B. Raschjot i konstruirovanie sel'skhozjajstvennyh mashin / A.B. Lur'e, A.L. Grombchevskij. – L.: Mashinostroenie, 1977. – 628 s.
3. Kovalev, M.M. Opredelenie zavisimosti dvizhushhej sily igol'chatoj borony ot soprotivlenija pochvy prokolu i chisla odnovremenno zaglubljajushhihsja igl / M.M. Kovalev, V.A. Kondrashov // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2017. – № 6. – S. 22–25.
4. Birger, I.A. Rez'bovyje soedinenija / I.A. Birger, G.B. Iosilevich. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 256 s.
5. Shilo, I.N. Issledovanie verojatnostnyh harakteristik mikroprofilja poverhnosti polej, podgotovlennyh pod posev / I.N. Shilo, Yu.V. Chigarev, N.N. Romanyuk, I.G. Rutkovskij // Agropanorama. – 2008. – № 1. – S. 2–4.
6. Shilo, I.N. Issledovanie geometricheskikh harakteristik mikroprofilej poverhnostej polej / I.N. Shilo, Yu.V. Chigarev, N.N. Romanyuk, V.A. Agejchik, K.V. Sashko // Izdenister, nәtizheler. Issledovanija, rezul'taty. – 2012. – № 3. – S. 154–160.
7. Yatsevich, S.E. Statisticheskie harakteristiki pochvennogo pokrova i ih vlijanie na otrazhenyj signal pri radiolokacionnom zondirovanii Zemli / S.E. Yatsevich, L.A. Egorova, E.I. Yatsevich // Zbirnik naukovih prac' Harkivs'kogo nacional'nogo universitetu Povitrjanih Sil. – 2008. – № 1 (16). – S. 59–61.