

Создание профилированной поверхности почвы с заданными физико-механическими параметрами при возделывании овощей и картофеля

А.Б. Калинин, д.т.н., профессор, В.А. Смелик, д.т.н., профессор, И.З. Теплинский, к.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ГАУ

В условиях повышенной влажности почвы возделывание овощных культур и картофеля производится, как правило, на профилированных поверхностях, выполненных в виде гребней или гряд. Важной задачей при формировании таких поверхностей механизированным способом является создание в гребнях или грядах необходимых физико-механических параметров почвенного состояния. Управляемыми параметрами почвенного состояния при функционировании культиваторов, формирующих профилированные поверхности, можно считать плотность и структуру почвы.

Материал и методы исследования. Известно, что при воздействии на почву рабочих органов сельскохозяйственных машин в ней возникают нормальные и касательные напряжения [1–3]. Реологическое уравнение, описывающее изменение плотности почвы в зависимости от напряжений, возникающих под действием почвообрабатывающего орудия, имеет вид [4]:

$$\rho = \rho_0 + b \cdot \ln(\sigma_m + c \cdot \tau_{max}), \quad (1)$$

где ρ – текущее значение плотности почвы;

ρ_0 – исходное значение плотности почвы;

σ_m – среднее значение нормальных напряжений;

τ_{max} – максимальное значение касательных напряжений;

b и c – эмпирические коэффициенты, соответствующие конкретным почвенно-климатическим условиям.

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования культиваторов, оснащённых активными катками, работающими с буксованием, показали, что применение таких катков при формировании профилированных поверхностей позволяет упрочнить верхний слой гребней или гряд на глубину до 2–4 см [5–7]. Упрочнённый таким образом поверхностный слой формирует арочный каркас гребня (гряды), который защищает его от разрушения в течение всего периода вегетации растений, сохраняя при этом внутри профилированной поверхности требуемые параметры почвенного состояния. Таким образом, появляется возможность с помощью активного катка осуществлять управление плотностью в различных слоях почвенного горизонта.

Для управления плотностью почвы в различных слоях профилированной поверхности необходимо выбрать рациональные режимы работы активных катков применительно к конкретным почвенным условиям. Несмотря на значительное количество компаний, производящих культиваторы с активными катками, до настоящего времени нет обоснованных рекомендаций для выбора таких режимов.

На основании ранее проверенных исследований [3] мы предлагаем в качестве информационного показателя режима работы активного катка использовать крутящий момент M_k на его валу. При этом

считаем, что максимальное значение крутящего момента M_k будет соответствовать режиму качения катка, при котором в верхнем слое почвы возникают максимальные нормальные и касательные напряжения, дающие наибольший прирост плотности ρ в соответствии с выражением (1).

Полевые экспериментальные исследования проводили на типичных для Северо-Западного региона России дерново-подзолистых суглинистых почвах. Абсолютная влажность почвы составляла 30%. Объектом исследования являлся пропашной фрезерный культиватор [7, 8], в составе которого функционировал активный каток.

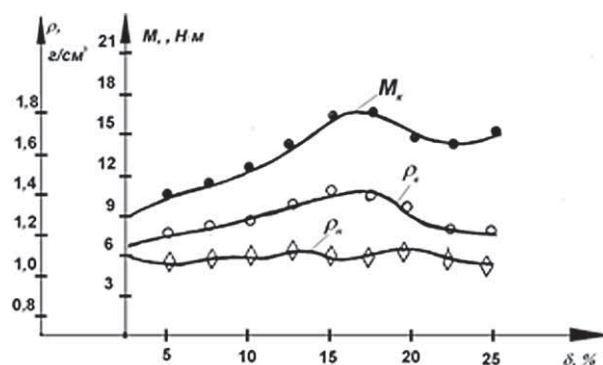
На первом этапе полевых экспериментальных исследований определяли рациональный режим работы активного катка для заданных условий функционирования. Программа экспериментальных исследований этого этапа включала получение в полевых условиях синхронных записей случайных процессов, имеющих место при работе активного катка: крутящего момента на валу $M_k(t)$ и плотности почвы в верхнем (2–4 см) $\rho_e(t)$ и нижнем (до 10 см) $\rho_n(t)$ слоях при плавном изменении настройки степени буксования H_δ от 0 до 25% и различных настроечных значениях вертикальной нагрузки на каток H_Q . Непрерывную регистрацию плотности почвы проводили по обобщённому показателю – продольной твёрдости почвы, имеющей высокую степень корреляции с её плотностью.

Программа второго этапа экспериментальных исследований включала оценку динамики изменения плотности почвы в различных слоях профилированной поверхности в момент обработки, а также через 7, 14 и 21 день в слое до 10 см при работе культиватора с активным катком и без него.

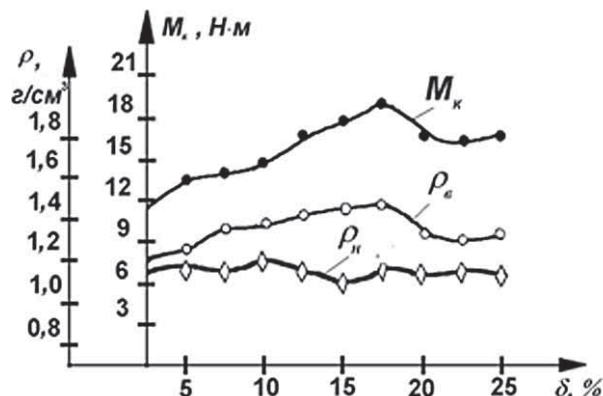
Результаты исследования. На основании полученных данных были построены кривые изменения оценок средних значений процессов $M_k(t)$, $\rho_e(t)$, $\rho_n(t)$ в зависимости от степени буксования H_δ при различных настроечных значениях вертикальной нагрузки каток H_Q , представленные на рисунке 1.

Анализируя эти данные, можно делать вывод о том, что в заданных почвенных условиях максимальная величина крутящего момента $M_{k\max}$ на валу активного катка при различных настроечных параметрах вертикальной нагрузки соответствует степени буксования $H_\delta \approx 15\%$. Полученное значение степени буксования обеспечивает рациональный режим работы катка в заданных условиях функционирования.

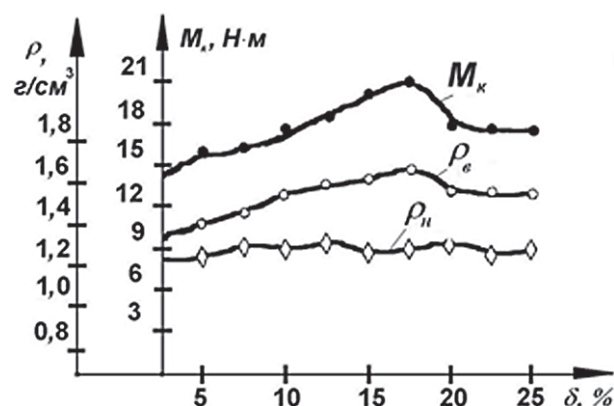
Анализ данных, представленных на рисунке 2, позволяет сделать вывод о том, что при настроечном значении степени буксования катка $H_\delta \approx 15\%$ плотность почвы в верхнем слое принимает своё максимальное значение, а на глубине до 10 см сохраняет требуемое значение, сформированное культиватором. На рисунке 3 представлена ди-



а.



б.



в.

Рис. 1 – Изменение оценок средних значений крутящего момента M_k и плотности почвы ρ_n и ρ_e в зависимости от степени буксования δ : а – при $H_Q=300$ Н; б – при $H_Q=400$ Н; в – при $H_Q=500$ Н

намика изменения плотности почвы на глубине до 10 см в течение рассматриваемого периода. Кривая 1 показывает изменение плотности почвы в гребнях, образованных с помощью фрезерного культиватора без их прикатывания, а кривая 2 – после прикатывания активным катком, работающим в режиме буксования при $H_\delta=15\%$. Сравнительный анализ динамики изменения плотности почвы показал, что без прикатывания внутри гребней наблюдается усадка почвы под воздействием атмосферных явлений. Плотность

почвы на глубине до 10 см в неприкатанных гребнях увеличивается свыше допустимого значения, равного $1,2 \text{ г/см}^3$, уже после 2 недель после проведения обработки. Упрочнение поверхности гребней позволило сохранить требуемые значения плотности почвы в течение всего рассматриваемого периода.

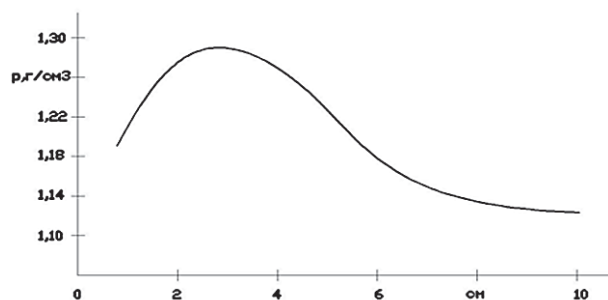


Рис. 2 – Распределение плотности почвы по глубине после прохода активного катка в момент предпосадочной обработки при $H_8=15\%$

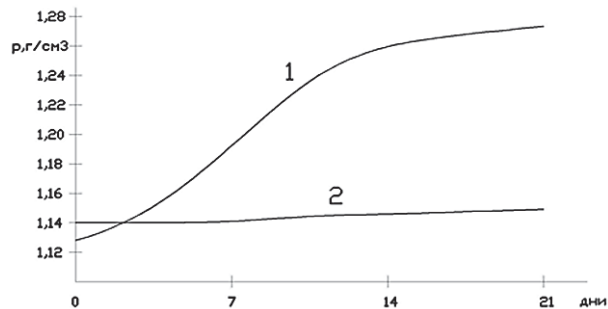


Рис. 3 – Динамика изменения плотности почвы в гребне на глубине 10 см: 1 – без прикатывания; 2 – после прикатывания активным катком

Выводы. Таким образом, применение технологического приёма прикатывания поверхности гребней активными катками, работающими в рациональном режиме для заданных условий функционирования, позволило сохранить требуемые параметры почвенного состояния внутри гребня в течение длительного периода и исключить усадку почвы под воздействием атмосферных явлений.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении создания систем автоматизированного управления режимами работы активного катка, позволяющих корректировать его настройку с учётом изменяющихся в условиях реального времени параметров почвенного состояния.

Литература

1. Лурье А. Б. Сельскохозяйственные машины (машины для обработки почвы, посева, посадки, внесения удобрений и химической защиты растений) / А. Б. Лурье, В. Г. Еникеев, И. З. Теплинский, В. А. Смелик. СПб.: изд-во СПбГАУ, 1998. 368 с.
2. Смелик В. А. Критерии оценки и методы обеспечения технологической надёжности сельскохозяйственных агрегатов с учетом вероятностной природы условий их работы: дисс. ... докт. техн. наук. СПб., 1999. 561 с.
3. Кулен Ю. А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика. М: Агропромиздат, 1986. 349 с.
4. Кушнарев А. С., Кочев В. И. Механико-технологические основы обработки почвы. Киев, 1989. 144 с.
5. Калинин А. Б. Теоретические основы выбора рациональных режимов активного катка в составе комбинированного культиватора для подготовки посадок картофеля к уборке / А. Б. Калинин, И. З. Теплинский, В. Д. Врублевский, О. В. Смелик // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2012. № 28. С. 346–351.
6. Калинин А. Б., Теплинский И. З. Выбор оптимальных режимов работы активного катка // Сельский механизатор. 2015. № 5. С. 8–9.
7. Патент РФ № 2169446 А01В61/00 Пропашной фрезерный культиватор / В. А. Смелик, И. З. Теплинский, А. Б. Калинин, С. Б. Якушев. Оpubл.: 27.06.2001, Бюл. № 18.
8. Патент РФ № 2477943 А01D23/02 Комбинированный ботвоуборочный агрегат / В. А. Смелик, И. З. Теплинский, О. В. Смелик, М. Н. Поликарпов. Оpubл.: 27.03.2013, Бюл. № 9.