

Анализ качества конструкций почвообрабатывающих машин для средств малой механизации агроинженерии класса тяги 0,2

Analysis of design quality of tillage machines for agricultural engineering small-scale mechanization means of 0.2 tractive class

С. Н. ДЕВЯНИН, д-р техн. наук
И. И. САПОЖНИКОВ, инж.
В. А. ШМОНИН, д-р техн. наук

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия, pakedova.55@mail.ru

S. N. DEVYANIN, DSc in Engineering
I. I. SAPOZHNIKOV, Engineer
V. A. SHMONIN, DSc in Engineering

Russian State Agrarian University — Moscow
K. A. Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, pakedova.55@mail.ru

Такие эксплуатационные параметры средств малой механизации, как ширина захвата и скорость движения агрегата, в равной степени влияют на производительность машины и определяют ее комплексное качество. Повышение производительности машины за счет увеличения ширины захвата обрабатываемой почвы достигается путем использования трех-, пяти-, шести- и восьмикорпусных плугов. Это направление требует постоянного увеличения силы тяги энергетических средств за счет увеличения мощности двигателя и сцепного веса, что в конечном счете изменяет эксплуатационные качества машины. Другое направление повышения производительности — за счет увеличения рабочей скорости — более сложное, так как при увеличении скорости резко возрастает тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин и ухудшаются качественные показатели структуры вспаханной почвы. Переход на более высокие скорости возделывания почвы требует комплексного решения такой научно-технической проблемы, как разработка, создание и внедрение принципиально новых почвообрабатывающих машин для средств малой механизации. Особого внимания заслуживает способ улучшения использования мощности двигателя путем ее передачи рабочим органам машины не через крюк, а через вал отбора мощности. Реакция почвы на активные рабочие органы направлена в сторону движения энергетического средства, в связи с чем его сцепной вес теряет функциональную необходимость. Это позволяет уменьшить металлоемкость конструкции средств малой механизации.

Ключевые слова: средства малой механизации; плуг; плужная поверхность; ширина захвата; глубина вспашки; вероятность; статистика; показатели; параметры; режим; методология; оптимизация; процесс; система; регулирование; скорость; тяговое сопротивление.

Such operational parameters of small-scale mechanization means as grasp width and motion speed of a unit equally affect the machine performance and thereby determine its complex quality. The improvement of machine performance due to the extension of grasp width is reached by the use of three-, five-, six- and eight-furrow ploughs. This direction requires the constant increasing of traction force of power vehicles due to the increasing of engine power and trailing weight, which finally change the operational qualities of machine. Other direction of performance improvement is due to the increasing of operation speed; it is more complicated because when the speed increases, the traction resistance of working organs of tillage machines rises sharply, and the quality indicators of ploughed soil structure worsen. The transition to higher speeds of tillage requires a complex solution of such scientific and technical problem as development, creation and introduction of essentially new tillage machines for small-scale mechanization means. Special attention should be paid to a method for improvement of the engine power use by means of its transferring to working organs of the machine not through a hook but through a power shaft. Soil reaction to the active working organs is directed towards the power vehicle motion, therefore the trailing weight loses its functional necessity. It will allow to reduce the metal consumption of construction of small-scale mechanization means.

Keywords: small-scale mechanization means; plough; plough surface; grasp width; ploughing depth; probability; statistics; indicators; parameters; mode; methodology; optimization; process; system; regulation; speed; tractive resistance.

Введение

Анализ закономерностей развития конструкций почвообрабатывающих машин приводит к выводу, что в основе их разработки и создания лежат научные достижения, связанные главным образом с повышением производительности путем увеличения ширины захвата обрабатываемой почвы и скорости движения агрегата.

$$W = 0,1Bv\tau,$$

где W — часовая производительность агрегата, га/ч; B — ширина за-

хвата агрегата; v — скорость агрегата; τ — коэффициент использования рабочего времени.

Данное выражение показывает, что ширина захвата и скорость движения агрегата — критерии, которые в равной степени влияют на производительность машины (пренебрегаем организационными аспектами, определяемыми величиной τ).

Регулирование качества конструкции почвообрабатывающих машин для средств малой механизации (СММ) агроинженерии тягового класса 0,2 заключается в налажива-

нии гармоничного взаимодействия их орудий и компонентов, направленном на повышение показателей надежности и долговечности, а также на обеспечение свойств, определяющих технологический уровень СММ и их конкурентоспособность на мировом рынке [1].

Общую закономерность развития агроинженерии СММ на основе энергетических средств можно представить интегральной кривой проф. А. И. Иванова (рис. 1). В настоящее время научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработ-

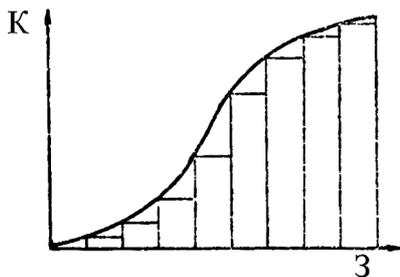


Рис. 1. Кривая, характеризующая общую закономерность развития почвообрабатывающих машин:

З — затраты; К — качество

ки (НИОКР) проходят на выпуклом участке кривой, и объем возмещения новых затрат становится все меньше, вследствие чего экономический эффект остается на прежнем уровне.

В связи с этим назрела необходимость изменить агротехнологические требования к почвообрабатывающим машинам и агротехническим свойствам СММ.

Особую роль в разработке и реализации новых перспективных функций рабочих органов почвообрабатывающих машин и их взаимосвязи с двигателями могут сыграть СММ — как для развития самих СММ, так и для апробации функций на энергетических средствах более высоких классов тяги с использованием более прогрессивных конструкций активных почвообрабатывающих машин.

Цель исследования

Исследуется эффективность использования результатов НИОКР почвообрабатывающих машин для СММ.

Материалы и методы

Новизна используемого метода разработки и создания почвообрабатывающих машин состоит в совмещении функций рабочих органов и движителей. В таких машинах вес обуславливается лишь конструкционной надежностью, необходимой прочностью составляющих деталей и не оказывает влияния на тягово-сцепные свойства. Смысл понятия сцепного веса в этом случае утрачивается.

Особого внимания заслуживает применение на СММ почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами: плугами, фрезами, рыхлителями, ножами и т.п.

Результаты и их обсуждение

Применение активных рабочих органов позволяет использовать технологию, аналогичную заложенной в самоходный реактивный почвообрабатывающий агрегат. Общие условия движения ΣR СММ при этом будут иметь вид:

$$G\lambda\phi \geq \Sigma R = G_c f_c + G_m f_m + K_{\text{п}} B - K_a a b n,$$

где G — суммарный вес СММ; G_c , G_m — вес энергетического средства и почвообрабатывающих машин, приходящийся на колеса; f_c , f_m — коэффициенты сопротивления перекатыванию колес средства и машины; $K_{\text{п}}$, K_a — удельные сопротивления почвы пассивным и активным рабочим органам; B — ширина захвата пассивными рабочими органами; a , b — глубина и ширина обработки почвы одним активным рабочим органом; n — количество активных рабочих органов в машине; λ — коэффициент, учитывающий вес, который приходится на ведущие колеса СММ; ϕ — коэффициент сцепления средства с почвой.

Знак "минус" в данном уравнении будет при условии, что окружная скорость активных рабочих органов в той части, которая взаимодействует с почвой, больше скорости движения агрегата, т.е. активные рабочие органы подталкивают, а не тормозят агрегат. Тяговое усилие N , создаваемое активными рабочими органами, может быть найдено по уравнению:

$$N = K_a a b n.$$

Тогда при условии

$$G_c f_c + G_m f_m + K_{\text{п}} B \leq K_a a b n$$

движение агрегата осуществляется за счет реакции, создаваемой на активных рабочих органах. При этом возникает так называемое подталкивающее усилие, которое через трансмиссию передается к двигателю СММ и тормозит его. Подталкивающее усилие по своей природе не отличается от реактивной силы, приводящей в движение самоходный реактивный почвообрабатывающий агрегат, вследствие чего оно служит дополнительной движущей силой СММ.

Для эффективного использования подталкивающего усилия требуется модернизировать конструкцию СММ, введя в нее обгонные муфты,

что повысит технический уровень машины. Создание таких машин позволит в большей степени реализовать в агроинженерии активные почвообрабатывающие органы.

Существенное повышение эффективности технологического процесса обработки почвы при современном техническом состоянии СММ возможно также при реализации некоторых физических явлений. К их числу относятся механические колебания (вибрация), в присутствии которых процесс деформирования почвы проходит значительно быстрее и с меньшими затратами энергии.

Перспективный, рациональный и целесообразный способ реализации вибрации в плугах и культиваторах СММ — замена жесткого крепления рабочих органов к раме орудия на шарнирно-упругое. Оно позволяет рабочему органу совершать механические колебания под действием меняющегося сопротивления почвы, что приводит к вибрации поддресоренных рабочих органов, которая зависит от жесткости пружин и физико-механических свойств почвы.

Упругим элементом такой конструкции служит вертикально расположенная цилиндрическая пружина, которая воспринимает нагрузку от рабочего органа при движении (рис. 2). Такая конструкция почвообрабатывающих органов снижает тяговое сопротивление при соблюдении всех агротехнических требований.

Динамику системы "упруго закрепленный корпус — почва" можно представить следующим образом: при установившемся процессе

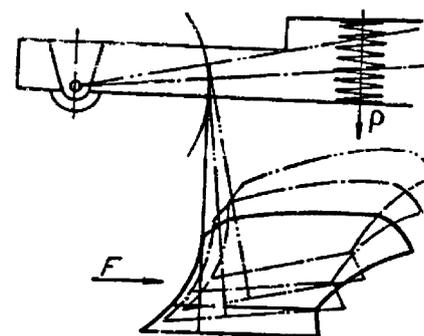


Рис. 2. Схема работы плужного корпуса с шарнирно-упругим креплением к раме:

F — сопротивление почвы; P — нагрузка на пружину

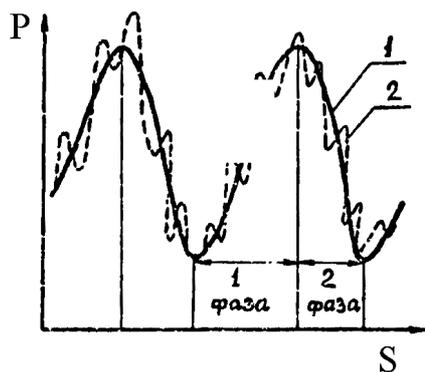


Рис. 3. Диаграмма тягового сопротивления рабочего органа почвообрабатывающей машины:

1 — импульсное колебание; 2 — вибрационные колебания

деформации почвенного пласта она состоит из двух фаз (рис. 3). В первой фазе корпус отклоняется назад, а во второй возвращается в первоначальное положение относительно рамы. Обе фазы составляют один цикл в колебательном движении упруго закрепленного корпуса. Частота колебаний зависит от скорости движения, глубины обработки и физико-механических свойств почвы.

Использование плугов с шарнирно-упругим креплением рабочих органов в СММ может дать положительный результат, так как с увеличением скорости движения машины эффективность вибрации возрастает в связи с увеличением частоты скалывания почвы и частоты колебаний рабочих органов при соблюдении требуемого качества вспашки и повышении производительности СММ. Повышение количественных и качественных показателей вспашки почвы, одной из самых трудоемких операций, — основная задача СММ агроинженерии.

В ходе работы над проектом формируют общую компоновку и структуру разрабатываемого объекта, определяют параметры и ограничения на их возможную вариацию в виде предельного функционального допуска T_{LF} . На их основании оценивают конкурентоспособность проектируемого изделия [2].

При вспашке связных почв винтовые лемешно-отвальные поверхности дают значительно лучшие показатели в сравнении с цилиндрическими рабочими органами как по экономии энергии, так и по соблюдению агротребований. Особен-

но возрастает интерес к винтовым плужным корпусам в связи с общей тенденцией увеличения скорости вспашки, так как этому способствуют геометрическая форма и характерные углы отвальной поверхности.

Прогрессивное направление — вспашка с применением рабочих органов с регулируемыми параметрами поверхности. Такая конструкция плужной поверхности позволяет установить взаимосвязь между такими факторами, как свойства почвы, скорость движения корпуса, качество обработки пласта, заделка растительных остатков и реализация тягового сопротивления. Учесть все эти факторы можно при разработке узла с автоматически меняющимися параметрами.

Сегодня при незначительных поставках с.-х. техники и запасных частей, используя автоматизированные бесконтактные методы измерения, вполне реально достигнуть полного охвата входным контролем этих изделий и увеличить число измеряемых параметров [3].

Для СММ целесообразно реализовать следующие регулируемые плужные конструкции:

— с регулируемым углом установки поверхности к дну борозды в вертикальной плоскости (рис. 4);

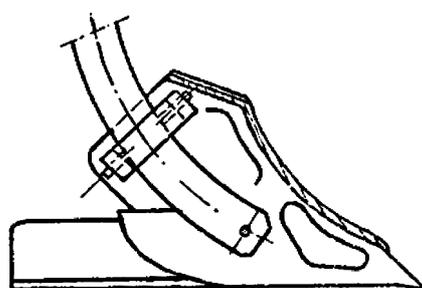


Рис. 4. Схема регулируемого корпуса плуга

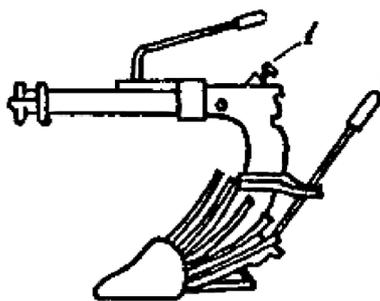


Рис. 5. Схема регулируемого корпуса плуга с винтовым механизмом:

1 — винт

— с винтовым механизмом для регулирования угла (рис. 5);

— с изменением угла установки крыла отвала плужного корпуса за счет упругой деформации с помощью винтовой тяги;

— с автоматическим регулированием угла установки отвала к стенке борозды для получения минимального тягового сопротивления при изменении физико-механических свойств почвы;

— с регулированием угла установки отвальной поверхности к дну и стенке борозды.

Прогрессивное направление НИОКР этих конструкций — автоматическое регулирование большинства взаимосвязанных параметров, которое позволяет рассматривать эти параметры, реализуемые в одной системе.

В Систему машин входит только минимально необходимое количество почвообрабатывающих машин, достаточное для осуществления комплексной механизации всех технологических процессов агроинженерии [4].

Единая система в первую очередь окажет влияние на эффективное развитие плужных поверхностей на основе теории вероятности, учитывающей случайность и многочисленные частоты изменения физико-механических свойств почвы. К таким свойствам относятся тип, влажность, плотность, степень задержания, а также неизбежные случайные изменения скорости движения СММ.

Важно отметить, что система почвообрабатывающего процесса в агроинженерии сводится к отысканию оптимальных условий протекания процесса в целом или оптимального выбора конструктивных параметров. В настоящее время при проведении НИОКР исследуется влияние факторов отдельным варьированием одного из них при одновременном фиксировании всех других. Недостаток этого метода заключается в невозможности оценить влияние каждого фактора, их взаимодействие и найти оптимальное сочетание действующих факторов.

Конструкторские, детальные и сборочные размерные цепи образуют очень сложные множественные иерархические подчиненно-связанные размерные цепи. Вследствие этого замыкающее звено сборочной

размерной цепи может отражать уровень повышения качества разрабатываемого и создаваемого объекта [5].

Распределение глубины вспашки на обрабатываемой для посева площади — случайный процесс в вероятностно-статистическом понимании, так как он определяется факторами, имеющими случайный характер: макро- и микрорельефом поля, изменчивостью физико-механических свойств почвы, колебаниями и вибрациями рамы СММ и самого плуга по вертикали, в продольном и поперечном направлениях, изменчивостью скорости движения и, как следствие, тягового сопротивления.

Ввиду чрезвычайной сложности процесса, не поддающегося адекватному описанию средствами классической механики и математики, весьма перспективно применение методов математической теории планирования НИОКР, которая описывает сложные системы, абстрагируя от элементарных процессов, происходящих в системе. Этот кибернетический подход позволит изучить и оптимизировать сложные системы, которые в недалеком прошлом рассматривались только на интуитивном уровне.

Методология реализации НИОКР содержит следующие этапы: предварительное изучение объекта, выбор параметров оптимизации, классификация действующих факторов, проведение опытов и построение модели по их результатам, оценка адекватности модели и ее геометрическая интерпретация, использование модели в ходе разработки рекомендаций по оптимизации исследуемого процесса и обоснование его агротехнологических режимов и конструкционных параметров СММ.

При идентификации данных требований и показателей сертифицированности путем проведения испытаний продукция начинает обладать свойствами сертифицированности, что в конечном счете дает возможность внедрять ее в производство [6].

Заключение

Таким образом, для дальнейшего повышения эффективности использования СММ агроинженерии необходимо:

— шире использовать активные рабочие органы;

— внедрить конструкции почвообрабатывающих машин с шарнирно-упругим креплением рабочих органов;

— провести дополнительные исследования конструкционных параметров винтового рабочего корпуса и их регулирования в зависимости от эксплуатации в различных условиях земледелия;

— реализовать автоматическое регулирование параметров при проведении НИОКР винтового корпуса;

— внедрить изучение и оптимизацию сложных явлений на основе кибернетического подхода при разработке методологии исследования процессов в системе агроинженерии СММ.

Сезонный характер — отличительная черта возделывания с.-х. культур с использованием почвообрабатывающих орудий как пассивного, так и активного функционирования на тяге и валу отбора мощности СММ. В связи с этим для повышения эффективности реализации СММ возникает необходимость разработки и создания с.-х. машин с наиболее продолжительным периодом агроинженерного процесса в течение года с учетом природных условий в регионах выращивания с.-х. культур.

Проблема увеличения периода годовой загрузки СММ может быть решена внедрением в систему агротехники универсальных почвообрабатывающих машин со сменными орудиями для выполнения нескольких агротехнологических операций в разные календарные сроки.

Почвообрабатывающие машины могут классифицироваться по направлениям реализации:

— применяемые для выполнения различных по характеру операций в разные календарные сроки;

— совмещающие в одном агротехнологическом процессе несколько операций;

— применяемые для различных классов тяги в целях рационального использования тяговых свойств и мощности СММ.

Серийно выпускаемые почвообрабатывающие машины по конструкционным и эксплуатационным показателям и параметрам должны обеспечивать в различных земельных зонах России высокое качество и производительность прово-

димых работ с соблюдением агротехнологических требований. В связи с этим необходимо разработать Систему машин СММ для агроинженерии с учетом всех положений, принятых ранее для Системы машин агроинженерии АПК более высокого класса тяги.

Литература и источники

1. Девянин С. Н., Сапожников И. И. Регулирование качества конструкции средства малой механизации тягового класса 0,2 // Тракторы и сельхозмашины. 2014, № 4. С. 36—38.
2. Сапожников И. И. Теоретические условия выбора допусков, влияющих на качество изделий // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006, № 8. С. 48—50.
3. Дорохов А. С. Производственно-технологические параметры входного контроля качества машиностроительной продукции // Тракторы и сельхозмашины. 2011, № 6. С. 36—37.
4. Девянин С. Н., Сапожников И. И. Технический уровень качества типажа двигателей для средств малой механизации // Тракторы и сельхозмашины. 2013, № 9. С. 38—41.
5. Сапожников И. И. Основные принципы и подходы к повышению качества продукции машиностроения // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007, № 4. С. 49—52.
6. Сапожников И. И. Модернизация технологии сертификационного сопровождения качества // Тракторы и сельхозмашины. 2011, № 8. С. 37—38.

References

1. Devyanin S. N., Sapozhnikov I. I. Design quality control of small-scale mechanization mean of 0.2 tractive class. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2014, no. 4, pp. 36—38 (in Russ.).
2. Sapozhnikov I. I. Theoretical conditions for selection of allowances affecting the products quality. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*, 2006, no. 8, pp. 48—50 (in Russ.).
3. Dorokhov A. S. Production and technological parameters of the incoming quality control of engineering products. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2011, no. 6, pp. 36—37 (in Russ.).
4. Devyanin S. N., Sapozhnikov I. I. Technical quality level of engine types for mobile means of small-scale mechanization. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2013, no. 9, pp. 38—41 (in Russ.).
5. Sapozhnikov I. I. Basic principles and approaches to the improvement of engineering products quality. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*, 2007, no. 4, pp. 49—52 (in Russ.).
6. Sapozhnikov I. I. Upgrading the methods of quality certification support. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2011, no. 8, pp. 37—38 (in Russ.).