ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF DYNAMIC SOIL- CULTIVATING WORKING BODIES

Г.А. СЕМЕНОВА, аспирант, **Н.И. ДЖАББОРОВ**, доктор техн. наук, проф.,
Федеральное бюджетное научное учреждение «Институт агроинженерных и
экологических проблем сельскохозяйственного производства», Санкт-
Петербург, Россия

G.A. SEMENOVA, graduate student, **N.I. DZHABBOROV**, doctor of tech. sci.,
Professor, Institute of Agroengineering and environmental problems of agricultural
production, St. Petersburg, Russia

Аннотация. В статье приведены краткий анализ исследований по повышению эффективности технологии обработки почвы, показатели эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов, схема к определению степени влияния динамического почвообрабатывающего рабочего органа с изменяемой геометрией на тяговое сопротивление и меру его рассеяния. Изложено краткое описание полезной модели - рабочего органа для рыхления почвы.

Установлены рациональные значения конструктивных параметров, такие как максимальная высота вспушенного слоя почвы, минимальная высота стойки динамического рабочего органа от опорной поверхности до нижней плоскости рамы, угол крошения и межследия рабочих органов, а также другие параметры.

Обоснованные рациональные параметры позволяют создать динамические рабочие органы, обеспечивающие снижение влияния вероятностного характера нагрузки на энергетические параметры почвообрабатывающих агрегатов и тем самым улучшить их эксплуатационные качества при выполнении технологических процессов.

Ключевые слова: обработка почвы, динамические рабочие органы, конструктивные параметры, почвообрабатывающий агрегат.

Abstract. The article presents a brief analysis of studies to improve the efficiency of tillage technology, performance characteristics of tillage units, the scheme to determine the degree of influence of dynamic tillage working body with variable geometry on the traction resistance and the measure of its dispersion. A brief description of the utility model - the working body for loosening the soil.

Rational values of design parameters, such as the maximum height of the soil layer, the minimum height of the rack of the dynamic working body from the support surface to the lower plane of the frame, the angle of crumbling and inter-trace of the working bodies, as well as other parameters are established.

Reasonable rational parameters allow us to create dynamic working bodies that reduce the impact of the probabilistic nature of the load on the energy parameters of tillage units and thereby improve their performance in the performance of technological processes.

Keywords: soil treatment, dynamic working bodies, design parameters, tillage unit.

Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов существенно влияют на энергоэффективность технологии обработки почвы.

Эксплуатационные качества МТА характеризуются их производительностью, топливной экономичностью и проходимостью (Рис. 1).

Рисунок 1- Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов

Эксплуатационные качества МТА зависят от конструкторско-технологических параметров рабочих органов, машин и динамических процессов, происходящих в процессе выполнения технологических процессов. Динамические процессы, происходящие в процессе работы почвообрабатывающих агрегатов на повышенных скоростных и нагрузочных режимах, имеют сложный характер и зависят от физико-механических характеристик почвы и других факторов.

Для повышения эффективности технологии обработки почвы и улучшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов необходимо создать новые динамичные почвообрабатывающие рабочие органы с улучшенными динамическими показателями, обеспечивающими высокое качество работы. Динамичные почвообрабатывающие рабочие органы могут легко адаптироваться к удельному сопротивлению почвы благодаря автоматическому изменению углов атаки и крошения, ширины захвата, а также площади фронтальной проекции при заданной глубине обработки почвы [1].

Расчеты показывают, что использование динамичных почвообрабатывающих рабочих органов позволяет уменьшить значение дисперсии тягового сопротивления на 10-20 %, повысить степень рыхления почвы на 10-15 % и снизить энергоемкость процесса обработки почвы в целом на 10-20 % по сравнению со стандартными рабочими органами.

Целью исследований является обоснование конструктивных параметров новых динамичных (адаптивных, автоматически настраивающихся к почвенным условиям) рабочих органов для поверхностной обработки почвы, обеспечивающих повышение тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов.

При проведении исследований применялись методы математического моделирования, основанные на изучении физических закономерностей, протекающих в процессе обработки почвы; анализ и обобщение экспериментальных данных.

Анализ исследований [2-4, 6-10, 12] показывает, что учеными разработаны различные методы улучшения тягово-динамических показателей МТА на основе совершенствования конструкции, обоснования рациональных

параметров и режимов их работы. Например, в работе [6] отмечена важность управления качеством обработки деформируемого слоя почвы с применением метода конечных элементов, приведены наиболее вероятные значения геометрических параметров зоны разрушения и степени рыхления почвенных фрагментов суглинистой почвы.

Вопрос поддержания заданной глубины обработки почвы обеспечением стабильности хода рабочих органов путем совершенствования их конструктивно-технологических параметров посвящена работа [7]. Для исключения нестабильности хода рабочих органов авторы работы [7] рекомендуют использовать на культиваторе КПС-4 двухъярусные стрельчатые лапы, состоящие из двух лемехов (верхней и нижней), закрепленные на одной стойке. Предложенная им стрельчатая лапа обеспечивает высокое качество крошения почвы и высокую стабильность глубины хода рабочих органов.

Для повышения эффективности обработки почвы различной твердости разработан пропашной культиватор с возможностью автоматической настройки стойки с разными рабочими органами для поддержания глубины обработки [8]. Предложенный [8] способ обеспечивает снижение тягового сопротивления на 30-35 % по сравнению с жестким вариантом крепления стоек. Совместными исследованиями ФНАЦ ВИМ и Брянского ГАУ [8] установлено, что изменение формы лемеха обеспечивает снижение энергоемкости обработки почвы. Установлено, что наивысший показатель степени заделки растительных остатков соответствует углу отбортовки лезвия лемеха 4^0 , а наилучшее качество рыхления суглинистых почвы обеспечивается работой лемеха с углом отбортовки его лезвия 2^0 [8].

При обработке почвы различными рабочими органами на верхней рабочей поверхности клина и на нижней затылочной фаске лезвия образуется почвенный нарос [3, 10], что повышает затраты энергии на обработку почвы. Установлено, что рациональная заточка и повышение износостойкости лезвия, уменьшает энергозатраты на обработку почвы до 10 МДж на 1 га. Применение обтекаемых форм рабочих поверхностей может предотвратить появление зоны с почвенным наростом, что снижает тяговое сопротивление рабочего органа [10].

Известные методы, хотя и обеспечивают повышение эффективности обработки почвы, недостаточны для существенного улучшения тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов. На основе исследований работы рабочих органов и машин для обработки почвы нами предложен новый способ улучшения динамических показателей, на основе разработки и применения динамичных рабочих органов, то есть с изменяемой геометрией. При встрече динамичного почвообрабатывающего рабочего органа с твердым слоем почвы происходит автоматическое (мгновенное) уменьшение площади его фронтальной проекции в определенных ограниченных пределах, что позволяет ему с меньшим сопротивлением $\bar{P}_2$ (Рис. 2) проходить твердый слой по сравнению с сопротивлением $\bar{P}_1$ стандартных рабочих органов с постоянной площадью фронтальной проекции. Использование динамичных рабочих органов обеспечивает уменьшение среднего значения тягового

сопротивления от почвы $\bar{P}_1$ до $\bar{P}_2$, на величину $\Delta\bar{P} = \bar{P}_1 - \bar{P}_2$, среднего квадратического отклонения тягового сопротивления от σ_{P1} до σ_{P2} . При этом размах колебаний тягового сопротивления уменьшается от $\pm 3\sigma_{P1}$ до $\pm 3\sigma_{P2}$.

Рисунок 2 - Схема к определению степени влияния динамического почвообрабатывающего рабочего органа на среднее значение и коэффициента вариации тягового сопротивления

Автоматическое кратковременное уменьшение площади фронтальной проекции в определенных пределах позволяет снизить коэффициент вариации ν_P тягового сопротивления рабочего органа и в целом почвообрабатывающей машины, а также среднеквадратического отклонения σ_P .

Нами разработан рабочий орган для рыхления почвы [5], который содержит стойку с долотом, жестко закрепленным на башмаке, с которым жестко связан демпфирующий элемент. На демпфирующем элементе жестко закреплены крылья стрелчатой лапы, которые разнесены друг относительно друга: одно крыло закреплено за башмаком, а другое - в конце демпфирующего элемента, выполненного в виде полосы из пружинной стали. Такая конструкция позволяет повысить надежность рабочего органа и снизить колебания тягового сопротивления при повышении качества обработки почвы при работе на почве различной плотности. Нами обоснованы основные конструктивные параметры динамического рабочего органа. Минимальную высоту стойки динамического рабочего органа от опорной поверхности до нижней плоскости рамы можно определить по формуле [2]:

$$H_c^{\min} = h_1 + h_2 + a, \quad (1)$$

где h_1 – пространство между поверхностью вспушенной почвы и нижней плоскостью рамы; h_2 – максимальная высота вспушенного слоя почвы, мм; a – заданная максимальная глубина обработки, мм.

Максимальную высоту вспушенного слоя почвы можно подсчитать по формуле [2]:

$$h_2 = a / 4. \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) высоту стойки динамического рабочего органа для обработки почвы от опорной поверхности до нижней плоскости рамы можно найти по уравнению [2]:

$$H_c = \frac{4h_1 + 5a}{4}. \quad (3)$$

Пространство между поверхностью вспушенной почвы и нижней части плоскостью рамы h_1 можно установить с таким расчетом, чтобы исключить забивание сорняками и сгруживание почвы. С учетом этого h_1 должен быть $h_1 \geq 300 \text{ мм}$. С учетом максимальной глубины обработки почвы для рабочего органа $a = 15 \text{ см} = 150 \text{ мм}$, максимальная высота вспушенного слоя почвы равна $h_2 = a/4 = 15/4 = 3,75 \text{ см} = 37,5 \text{ мм}$.

Минимальная высота стойки рабочего органа для обработки почвы от опорной поверхности до нижней плоскости рамы с учетом формулы (3) будет:

$$H_c = \frac{4h_1 + 5a}{4} = \frac{4 \cdot 300 + 5 \cdot 150}{4} = 487,5 \text{ мм}.$$

Максимальная высота стойки рабочих органов, с учетом конструкции основной рамы, составляет 800 мм. Для получения малых перекрытий целесообразно применение небольших значений угла 2γ , обеспечивающих работу рабочего органа без обволакивания, для этого значение 2γ должно варьировать в пределах $2\gamma = 60 - 65^\circ$ [2]. Здесь γ угол резания. Угол крошения α согласно многочисленным исследованиям [2-4] должен варьировать в пределах $\alpha = 20 - 30^\circ$.

Так, при двухрядном расположении межследия рабочих органов должен составлять $l_m = 240 \text{ мм}$. С учетом качества работы динамических рабочих органов, исключаящие огрехов максимальную и минимальную ширину захвата рабочего органа можно определить по формуле:

$$b_{\text{max}}^{\text{po}} = l_m + 2 \cdot b_{\text{пер}}^{\text{max}}; \quad b_{\text{min}}^{\text{po}} = l_m + 2 \cdot b_{\text{пер}}^{\text{min}} \quad (4)$$

где l_m – ширина межследия рабочих органов, мм; $b_{\text{пер}}^{\text{max}}$ – максимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм; $b_{\text{пер}}^{\text{min}}$ – минимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм. Максимальная и минимальная ширина захвата рабочего органа соответственно составляет 330 мм и 260 мм. Длина и ширина долота: $l_{\text{дол}} = 150 \text{ мм}$; $b_{\text{дол}} = 60 \text{ мм}$. Максимальная длина рабочего органа $L_{\text{po}}^o = 720 \text{ мм}$.

Для дальнейшего повышения эффективности технологических процессов обработки почвы, улучшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов целесообразно разработать новые динамические почвообрабатывающие рабочие органы, обеспечивающие автоматическое изменение углов атаки и крошения, ширины захвата и площади фронтальной проекции в допустимых пределах. Обоснованы основные конструктивные параметры динамических рабочих органов, обеспечивающих повышение эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов.

Список литературы

1. Джабборов Н.И., Федькин Д.С. Террадинамика почвообрабатывающих машин // Научный журнал «Молодой ученый», № 11 (91), 2015. – С. 311-315.
2. Труфанов В. В. Глубокое чизелевание почвы / ВАСХНИЛ, - М.: Агропромиздат, 1989. – 140 с.
3. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
4. Василенко П.М., Бабий П.Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). – Киев, Изд-во АН УССР, 1961. – 239 с.
5. Джабборов Н.И., Евсеева С.П., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы. Патент на полезную модель РФ № 169104. Заявка № 2016141036. Приоритет полезной модели 18 октября 2016. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 03 марта 2017 г.
6. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа / Сельскохозяйственные машины и технологии, № 5, 2016. С. 17-23.
7. Руденко Н.Е., Кайванов С.Д., Завялик Ф.Н. Инновационная стрельчатая почвообрабатывающая лапа / Сельскохозяйственные машины и технологии, № 6, 2016. С. 16-20.
8. Кудзаев А.Б., Уртаев Т.А. Адаптивный энергосберегающий культиватор для обработки каменистых почв / Сельскохозяйственные машины и технологии, № 2, 2015. С. 28-32.
9. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа / Сельскохозяйственные машины и технологии, № 5, 2015. С. 10-13.
10. Жук А.Ф. Влияние почвенного нараста на работу клина / Сельскохозяйственные машины и технологии, № 3, 2013. С. 24-29.
11. Шаров В.В., Лобачевский, Я.П. Прогноз использования почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2009. № 1-2. С. 41-43.

References

1. Dzhabborov N.I., Fed'kin D.S. Terradinamika pochvoobrabatyvayushchih mashin // Nauchnyj zhurnal «Molodoj uchenyj [Thermodynamics of tillage machines // Scientific journal "Young Scientist"], No. 11 (91), 2015. – pp. 311-315.
2. Trufanov V. V. Glubokoe chizelevanie pochvy [Deep soil chewing] / VASKHNIL, - M.: Agropromizdat, 1989. – 140 p.
3. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchih mashin [Theory and calculation of tillage machines]. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 328 p.
4. Vasilenko P.M., Babij P.T. Kul'tivatory (konstrukciya, teoriya i raschet) [Cultivators (construction, theory and calculation)]. – Kiev, Izd-vo AN USSR, 1961. – 239 p.
5. Dzhabborov N.I., Evseeva S.P., Semenova G.A. Rabochij organ dlya ryhleniya pochvy. Patent na poleznuyu model' RF [Working body for loosening the soil. Patent for useful model of the Russian Federation] No. 169104. Zayavka No. 2016141036. Prioritet poleznoj modeli 18 oktyabrya 2016. Zaregistrirovano v Gosudarstvennom reestre poleznyh modelej Rossijskoj Federacii 03 marta 2017.
6. Lobachevskij YA.P., Starovojtov S.I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty raboty ryhritel'nogo rabocheho organa [Theoretical and technological aspects of the work of loosening working body] / Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 5, 2016. pp. 17-23.

7. Rudenko N.E., Kajvanov S.D., Zavyalik F.N. Innovacionnaya strel'chataya pochvoobrabatyvayushchaya lapa [Innovative lancet tillage] /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 6, 2016. pp. 16-20.
8. Kudzaev A.B., Urtaev T.A. Adaptivnyj ehnergosberegayushchij kul'tivator dlya obrabotki kamenistyh pochv [Adaptive energy-saving cultivator for stony soils] /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 2, 2015. pp. 28-32.
9. Lobachevskij YA.P., Starovojtov S.I., CHemisov N.N. EHnergeticheskaya i tekhnologicheskaya ocenka pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa [Energy and technological assessment of the soil-cultivating working body] /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 5, 2015. pp. 10-13.
10. ZHuk A.F. Vliyanie pochvennogo narosta na rabotu klina /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii [Effect of soil buildup on wedge work / Agricultural machinery and technology], No. 3, 2013. pp. 24-29.
11. SHarov V.V., Lobachevskij, YA.P. Prognoz ispol'zovaniya pochvoobrabatyvayushchih mashin s aktivnymi rabochimi organami [Forecast of the use of tillage machines with active working bodies] // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2009. № 1-2. S. 41-43.