ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

*Галина Андреевна Семенова, аспирант; g-semenova@rambler.ru;
Нозим Исмоилович Джабборов, доктор технических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник
Институт агроинженерных и экологических проблем
сельскохозяйственного производства – филиал
Федерального научного агроинженерного центра ВИМ,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Реферат. Вероятностный характер нагрузки служит основной причиной ухудшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов. Вероятностные условия функционирования машинно-тракторных агрегатов должны быть учтены при разработке и проектировании почвообрабатывающих машин, при прогнозировании показателей оценки их эффективности с высокой степенью достоверности. (Цель исследования) Обосновать конструктивные параметры новых динамичных (адаптивных, автоматически настраивающихся к почвенным условиям) рабочих органов для поверхностной обработки почвы, обеспечивающих повышение тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов. (Материалы и методы) Применили методы математического моделирования, основанные на изучении физических закономерностей, протекающих в процессе обработки почвы; анализ и обобщение экспериментальных данных. Установили, что новизна исследований заключается в обосновании рациональных конструктивных параметров динамичных почвообрабатывающих рабочих органов на основе комбинации известных и применении новых математических моделей. (Результаты и обсуждение) Привели краткий анализ исследований по повышению эффективности технологии обработки почвы, показатели эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов, схема к определению степени влияния динамичного почвообрабатывающего рабочего органа с изменяемой геометрией на тяговое сопротивление и меру его рассеяния. Изложили краткое описание полезной модели – рабочего органа для рыхления почвы. Определили рациональные значения конструктивных параметров, такие как максимальная высота вспушенного слоя почвы, минимальная высота стойки динамичного рабочего органа от опорной поверхности до нижней плоскости рамы, угол крошения и межследия рабочих органов, а также другие параметры. (Выводы) Обоснованные рациональные параметры позволяют создать динамичные 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, динамичные рабочие органы, конструктивные параметры, почвообрабатывающий агрегат.

Для цитирования: Семенова Г.А., Джабборов Н.И., Обоснование конструктивных параметров динамических почвообрабатывающих рабочих органов // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 60-66.

JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETER OF DYNAMIC SOIL-CULTIVATING WORKING BODIES

*Galina A. Semenova, postgraduate student, g-semenova@rambler.ru;
Nozim I. Dzhabborov, Dr.Sc(Eng.), professor, leading researcher
Institute of agroengineering and environmental problems of agricultural
production – branch of the Federal scientific agroengineering center VIM, St.
Petersburg, the Russian Federation*

Abstract. Substantiation of the rational design and technological parameters with due account for the working conditions of tools and machines and the possibility of lowering their traction resistance will improve the performance of the tillage units and, in general, reduce the energy intensity of the technological process of tillage. (Purpose of research) To Prove design data new dynamic (adaptive, automatically adjusted to soil conditions) the working bodies for surface treatment of the soil providing increase in traction and dynamic indicators of soil-cultivating units. (Materials and methods) The methods of mathematical modeling based on studying of the physical regularities proceeding in processing of the soil Applied; analysis and generalization of experimental data. Established that the novelty of researches consists in justification of rational design data of dynamic soil-cultivating working bodies on the basis of a combination known and application of new mathematical models. (Results and discussion). The article presents brief analysis of studies aimed to improve the tillage efficiency, performance indicators of relevant tractor/implement systems, and the scheme to determine the degree of influence of dynamic soil-cultivating working body with variable geometry on traction resistance and the measure of its dispersion. The utility model – a soil-loosening tool is described. Rational values of design parameters such as the maximum height of the loosened soil layer, the minimum height of the tine of the dynamic working tool from the supporting surface to the lower plane of the frame, the angle of crumbling and other parameters have been established. Reasonable rational parameters allow creating dynamic working tools, which ensure a decrease in the influence of the probabilistic nature of the load on the energy parameters of soil cultivating units and, thereby, improve their performance in technological processes (Conclusions). To improve the efficiency of soil tillage and operational parameters of relevant tractor/implement systems, new dynamic soli tilling tools need to be designed, which would provide the automatic changing of approach and crumbling angles, the working width and the front projection within acceptable limits. The major design parameters of dynamic work tools have been justified, which would improve the performance of soil tilling units.

Keywords: tillage, dynamic tool, design parameter, tillage tractor/implement system.

For citation: Semyonova G.A., Dzhabborov N.I., Justification of constructive parameter of dynamic soil-cultivating working bodies. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 60-66.

Введение. Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов существенно влияют на энергоэффективность технологии обработки почвы. Эксплуатационные качества МТА характеризуются их производительностью, топливной экономичностью и проходимостью (рис. 1).

Рис. 1. Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов

Эксплуатационные качества МТА зависят от конструкторско-технологических параметров рабочих органов, машин и динамических процессов, происходящих во время выполнения технологических процессов. Динамические процессы, совершающиеся в ходе 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.

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

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

Результаты и обсуждение. Исследования показывают, что учеными разработаны различные методы улучшения тягово-динамических показателей МТА на основе совершенствования конструкции, обоснования рациональных параметров и режимов их работы [2-4, 6-10]. Например, 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 [6].

Совершенствование конструктивно-технологических параметров рабочих органов способствует поддержанию заданной глубины обработки почвы и обеспечивает стабильность хода. Для исключения неустойчивости хода рабочих органов рекомендуют использовать на культиваторе КПС-4 двухъярусные стрельчатые лапы, состоящие из двух лемехов (верхней и нижней), закрепленные на одной стойке [7]. Предложенная 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 способ обеспечивает снижение тягового сопротивления на 30-35% по сравнению с жестким вариантом крепления стоек. Совместные исследования ВИМ и Брянского ГАУ установили, что изменение формы лемеха обеспечивает снижение энергоемкости обработки почвы. Наивысший показатель степени заделки растительных остатков соответствует углу отбортовки лезвия лемеха 4 градуса, а наилучшее качество рыхления суглинистых почвы обеспечивается работой лемеха с углом отбортовки его лезвия 2 градуса.

При обработке почвы различными рабочими органами на верхней рабочей поверхности клина и на нижней затылочной фаске лезвия образуется почвенный нарос, что повышает затраты энергии на обработку почвы. Установлено, что рациональная заточка и повышение износостойкости лезвия уменьшают энергозатраты на обработку почвы до 10 МДж на 1 га. Применение обтекаемых форм рабочих поверхностей может предотвратить появление зоны с почвенным наросом, что снижает тяговое сопротивление рабочего органа. Известные методы, хотя и обеспечивают повышение эффективности обработки почвы, недостаточны для существенного улучшения тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов. Мы предложили 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 $\bar{P}_2$ проходить твердый слой по сравнению с сопротивлением $\bar{P}_1$ стандартных рабочих органов с постоянной площадью фронтальной проекции (рис. 2). 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 $\pm 3\sigma_{P2}$. Автоматическое кратковременное уменьшение площади фронтальной проекции в определенных пределах позволяет снизить коэффициент вариации тягового сопротивления рабочего органа и в целом почвообрабатывающей машины, а также среднее квадратическое отклонения. Мы разработали рабочий орган для рыхления почвы, который содержит стойку с долотом, жестко закрепленным на башмаке, с которым жестко связан демпфирующий элемент [5].

На демпфирующем элементе жестко закреплены крылья стрельчатой лапы, которые разнесены друг относительно друга: одно крыло закреплено за

башмаком, а другое – в конце демпфирующего элемента, выполненного в виде полосы из пружинной стали.

Рис. 2. Определение степени влияния динамического почвообрабатывающего рабочего органа на среднее значение и коэффициента вариации тягового сопротивления

Такая конструкция позволяет повысить надежность рабочего органа и снизить колебания тягового сопротивления при повышении качества обработки почвы при работе на почве различной плотности. 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 подсчитывают 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 устанавливают с таким расчетом, чтобы исключить забивание сорняками и сгуживание почвы. При этом $h_1 \geq 300 \text{ мм}$.

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 варь-

ровать в пределах $2\gamma=60-65^\circ$ [2]. Здесь γ – угол резания. Угол крошения α , согласно многочисленным исследованиям, должен варьировать в пределах $\alpha=20-30^\circ$.

Так, при двухрядном расположении межследия рабочих органов $l_m=240$ мм. С учетом качества работы динамичных рабочих органов, исключаящего огрехи, максимальную и минимальную ширину захвата рабочего органа можно определить по формуле:

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

где l_m – ширина межследия рабочих органов, мм; $b_{\text{пер}}^{\max}$ – максимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм; $b_{\text{пер}}^{\min}$ – минимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм. Максимальная и минимальная ширина захвата рабочего органа соответственно составляет 330 и 260 мм. Длина и ширина долота: $l_{\text{дол}}=150$ мм; $b_{\text{дол}}=60$ мм. Максимальная длина рабочего органа $L_{\text{po}}^0=720$ мм.

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

Библиографический список

1. Джабборов Н.И., Федькин Д.С. Террадинамика почвообрабатывающих машин // Молодой ученый. 2015. N11 (91). С. 311-315.
2. Труфанов В.В. Глубокое чизелевание почвы. М.: Агропромиздат. 1989. 140 с.
3. Синееков 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. Пат. на полезную модель №169104 Российская Федерация/Джабборов Н.И., Евсеева С.П., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы. Заявка № 2016141036. Приоритет полезной модели 18 октября 2016. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 3 марта 2017 г.
6. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N5. С. 17-23.
7. Руденко Н.Е., Кайванов С.Д., Завялик Ф.Н. Инновационная стрельчатая почвообрабатывающая лапа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N6. С. 16-20.
8. Кудзаев А.Б., Уртаев Т.А. Адаптивный энергосберегающий культиватор для обработки каменистых почв // Сельскохозяйственные машины и технологии. N2. 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. 2015. N5. С. 10-13.
10. Жук А.Ф. Влияние почвенного нарыва на работу клина // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. N3. С. 24-29.

11. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // Вестник ВИЭСХ. 2018 №4(33). С. 150-156.
12. .Елизаров В.П., Артюшин А.А. Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники //Вестник ВИЭСХ. 2018. 2(31) С. 12-18.

References

1. Dzhabborov N.I., Fed'kin D.S. Terradinamika pochvoobrabatyvayushchih mashin [Terradynamics of soil tillage machines]. Molodoj uchenyj. 2015. N11 (91). 311-315
2. Trufanov V.V. Glubokoe chizelevanie pochvy [Deep subsoil cultivation]. Moscow: Agropromizdat. 1989. 140.
3. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchih mashin [Theory and calculation of soil tillage machines]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1977. 328.
4. Vasilenko P.M., Babij P.T. Kul'tivatory (konstrukciya, teoriya i raschet) [Cultivators (design, theory and calculation)]. Kiev: Izdatelstvo Akademii Nauk USSR. 1961. 239.
5. Patent for utility model of RF no. 169104 / Dzhabborov N.I., Evseeva S.P., Semenova G.A. Rabochij organ dlya ryhleniya pochvy [Tool for soil loosening]. Application No. 2016141036. Priority of useful model on October 18, 2016. It is registered in the State register of useful models of the Russian Federation on March 3, 2017.
6. Lobachevskij Ya.P., Starovojtov S.I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty raboty ryhlitel'nogo rabocheho organa [Theoretical and technological aspects of soil loosening tool]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2016. N5. 17-23.
7. Rudenko N.E., Kajvanov S.D., Zavyalik F.N. Innovacionnaya strel'chataya pochvoobrabatyvayushchaya lapa [Innovative A-hoe for soil tillage]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2016. N6. 16-20.
8. Kudzaev A.B., Urtaev T.A. Adaptivnyj ehnergosberegayushchij kul'tivator dlya obrabotki kamenistyh pochv [Adaptive energy saving cultivator for stony soil tillage]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2015. N2. 28-32.
9. Lobachevskij Ya.P., Starovojtov S.I., Chemisov N.N. Energeticheskaya i tekhnologicheskaya ocenka pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa [Energy and technological estimation of soil tillage tool]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2015. N5. 10-13.
10. Zhuk A.F. Vliyanie pochvennogo narosta na rabotu klina [The impact of soil build-up on the work of the wedge]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2013. N3. 24-29.
11. Beilis V.M., Cench Yu.S., Korotkina V. M., Starovoytov, S.I., Kanev N.G. Trends in the development of progressive machine technologies and machinery in agriculture // Bulletin of viesh. 2018. N4(33). P. 150-156.
12. Elizarov V.P., Artyushin A.A. Cench Yu.S. Perspective directions of development of domestic agricultural equipment. Vestnik VIESH. 2018. 2 (31) pp. 12-18.