



Технология и технические средства для реализации методов воспроизводства плодородия почвы

Яков Петрович Лобачевский,
доктор технических наук, профессор,
академик РАН,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

Николай Васильевич Алдошин,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
e-mail: naldoshin@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Плодородие почвы определяется наличием гумуса, как основной части органического вещества. Расширенное воспроизводство плодородия почвы обеспечивается внесением органических и минеральных удобрений, выращиванием сидеральных культур и разложением остатков растительной массы. (*Цель исследования*) Разработка технологий и средств механизации при расширенном воспроизводстве плодородия. (*Материалы и методы*) Для совместного внесения жидких органических удобрений и возделывания сидератов разработан агрегат, реализующий шланговую технологию транспортирования жидких органических удобрений. По напорным шланговым магистралям удобрения подаются к рабочим органам вглубь почвенного пласта. Комбинированный агрегат состоит из трактора К-744 «Кировец» и адаптера для глубокой обработки почвы с внесением жидких удобрений, а также сеялки мелкосемянных культур. Для выравнивания поверхности поля после прохода агрегата и заделки высеваемых семян сидеральной культуры агрегат оснащается зубовым катком. (*Результаты и обсуждение*) Приведены формулы для определения критической глубины обработки, выполнен силовой расчет агрегата. Конструкция почвообрабатывающего орудия позволяет устанавливать плоскорезные рабочие органы с захватом 0,80 м и щелеватели с захватом 0,45 метра. Проведены испытания комбинированного агрегата. Глубина обработки почвы составляла 36±1 сантиметров, норма высева сидеральной культуры (редька масличная) 25 килограммов на гектар, диапазон рабочих скоростей агрегата от 0,4 до 0,8 метра в секунду. (*Выводы*) Равномерность подпочвенного распределения органических удобрений составила 90-95 процентов. Удельная энергоёмкость технологического процесса комбинированного агрегата на базе трактора К-744 при внутривспашечном внесении удобрений составляет 40-65 киловатт-часов на гектар (без учета мощности на прокачку удобрений). Энергозатраты зависят от глубины обработки и удельного сопротивления почвы. Предлагаемый способ позволяет предотвратить водную и ветровую эрозию почвы, улучшить ее агрономически ценные свойства. Сокращение пестицидной нагрузки на почву и ее микрофлору способствует переходу к модели устойчивых агроэкосистем, повышению и улучшению качества урожая. Предлагаемая технология обеспечивает расширенное воспроизводство плодородия почвы.

Ключевые слова: плодородие почвы, гумус, жидкие удобрения, сидераты, комбинированный агрегат, почвообрабатывающие рабочие органы, трактор, высевочный аппарат, сопротивление почвы.

■ **Для цитирования:** Лобачевский Я.П., Алдошин Н.В. Технология и технические средства для реализации методов воспроизводства плодородия почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №2. С. 40-46. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-40-46. EDN: EFILLH.

Scientific article

Technology and Technical Means for the Implementation of Reproduction Methods for Soil Fertility

Yakov P. Lobachevskiy,
Dr.Sc.(Eng.), professor, academician of the Russian
Academy of Sciences,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

Nikolay V. Aldoshin,
Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,
e-mail: naldoshin@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Soil fertility is determined by the presence of humus as the main part of organic matter. The extended reproduction of soil fertility is ensured by the introduction of organic and mineral fertilizers, the cultivation of sidereal crops and the decomposition of plant residues. (*Research purpose*) The research purpose is developing the technologies and means of mechanization for extended reproduction of fertility. (*Materials and methods*) For the joint application of liquid organic fertilizers and the cultivation of siderates, a unit has been developed that implements a hose technology for transporting liquid organic fertilizers. Fertilizers

are fed through pressure hose lines to the working parts deep into the soil layer. The combined unit consists of a tractor K-744 Kirovets and an adapter for deep tillage with liquid fertilizers, as well as a seeder for small-seeded crops. To level the surface of the field after the passage of the unit and the sealing of the sown seeds of the sideral culture, the unit is equipped with a tooth roller. (*Results and discussion*) Formulas for determining the critical processing depth are given, the power calculation of the unit is performed. The design of the tillage tool allows to install flat-cutting working parts with a grip of 0.80 meters and slits with a grip of 0.45 meters. Tests of the combined unit were carried out. The depth of tillage was 36 ± 1 centimeters, the seeding rate of the sideral crop (oilseed radish) was 25 kilograms per hectare, the operating speed range of the unit was from 0.4 to 0.8 meters per second. (*Conclusions*) The uniformity of the subsurface distribution of organic fertilizers was 90-95 percent. The specific energy intensity of the technological process of the combined unit based on the K-744 tractor for intra-soil fertilization is 40-65 kilowatt hours per hectare (excluding the capacity for pumping fertilizers). Energy consumption depends on the depth of cultivation and resistivity of the soil. The proposed method allows preventing water and wind erosion of the soil, improving its agronomically valuable properties. Reducing the pesticide load on the soil and its microflora contributes to the transition to a model of sustainable agroecosystems, improving and improving crop quality. The proposed technology provides extended reproduction of soil fertility. **Keywords:** soil fertility, humus, liquid fertilizers, siderates, combined aggregate, tillage working bodies, tractor, seeding unit, soil resistance.

■ **For citation:** Lobachevsky Ya.P., Aldoshin N.V. Technology and technical means for the implementation of reproduction methods for soil fertility. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 40-46. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-40-46. EDN: EFILLH.

Известно, что плодородие почвы определяется в первую очередь наличием гумуса, который составляет основную часть органического вещества. На воспроизводство гумуса оказывает влияние внесение органических и минеральных удобрений [1]. Посев сидератов также способствует обогащению почвы органическим веществом. Наибольший эффект может быть достигнут при совместном использовании удобрений и выращивании сидератов. Для реализации такого подхода необходимы технологические приемы, способствующие активизации биологических процессов в почве и снижению затрат энергоресурсов при возделывании сельскохозяйственных культур [2].

Повышать эффективность использования удобрений позволяет проведение пожнивной сидерации [3]. В этом случае увеличение плодородия почвы основано на заделывании в почву сидеральных культур после достижения необходимой вегетативной массы [4]. В качестве сидератов целесообразно применять горох, вику, однолетний люпин, эспарцет и другие бобовые культуры, которые существенно обогащают почву азотом за счет развития на их корнях азотфиксирующих бактерий [5].

Учет почвенно-климатических условий, оптимизация севооборотов с расширением ассортимента возделываемых культур, снижение уровня поражения растений болезнями и вредителями, использование культур, возделывание которых не снижает уровень плодородия почв, посев сидератов способствуют обогащению почвы органическим веществом. В связи с этим для механизации возделывания сельскохозяйственных культур и повышения плодородия почвы необходимы технические средства, которые позволят, используя ресурсы растения, получать максимально возможный урожай с

заданными параметрами качества и обеспечит расширенное воспроизводство плодородия почв.

Цель исследования. Разработка технологии и средства механизации для реализации методов расширенного воспроизводства плодородия почв на основе принципов биологизации земледелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Примером расширенного воспроизводства плодородия почвы может служить совместное использование внутривоспочвенного глубокого внесения жидких органических удобрений и возделывания сидеральных культур (Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса. Ч. 1. Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: ВИМ. 2019. EDN: RVHGMW). На фермах, где применяется способ гидросмыва при удалении навоза, накапливаются жидкие органические удобрения. Поскольку их нормы внесения составляют десятки, а в некоторых случаях сотни тонн на гектар, то объемы их транспортирования от мест аэрации и хранения до поля исчисляются тысячами тонн [6]. В связи с этим для транспортировки жидких органических удобрений наиболее экономично использовать шланговые системы [7].

В составе таких систем предусматриваются насосные станции для перекачки жидких удобрений, магистральные шланги длиной до 10-15 км, буксирные шланги, транспортируемые по полю и используемые для подключения к тракторному агрегату, сельскохозяйственные агрегаты для обработки почвы и внутривоспочвенного внесения жидких удобрений с устройством привязки к транспортирующей магистрали.

При использовании технологии внутрипочвенно-го внесения жидких органических удобрений часть полезных питательных элементов испаряется и вымывается в подпахотные слои почвы [8, 9]. Применение сидератов позволяет сократить потери питательных веществ и получить дополнительную биомассу для повышения плодородия почвы (Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Ахалая Б.Х. Агротехническое и экологическое обоснование эффективности (целесообразности) использования биоактивных технологических способов обработки почвы в системе машинных технологий для обработки залежей и запущенных угодий. М.: ВНИИ механизации сельского хозяйства. 2013. С. 127-130).

В настоящей работе решаются технологические задачи:

- глубокое внутрипочвенное рыхление с внесением жидких органических удобрений;
- закрытие поверхности почвы сидеральными растениями для формирования в приземном слое условий, благоприятных для микроорганизмов;
- активизация процесса использования питательных веществ, вносимых с органическими удобрениями;
- обеспечение сидеральных растений питательными элементами для формирования большей растительной массы [10].

Предложенная технология реализуется с помощью комбинированного агрегата, состоящего из адаптера, производящего глубокую обработку почвы с одновременным внесением жидких органических удобрений по шланговым системам, и сеялки мелкосемянных культур. Для выравнивания поверхности поля после прохода агрегата и заделки высеваемых семян сидерата агрегат оснащается зубовым катком. Компонировочная схема комбинированного агрегата представлена на *рисунке 1*.

При работе агрегата плоскорежущие рабочие органы производят глубокое рыхление слежавшегося почвенного горизонта. Профиль обработанного слоя почвы представляет собой форму трапеции (*рис. 2*). Плоскорежущие рабочие органы оснащены открывками для увеличения площади поперечного сечения разрыхляемого пласта. Глубина обработки a регулируется в пределах 20-40 см (Алдошин Н.В. Современные тенденции инженерного обеспечения биологизации растениеводства; сб. матер. XVIII Междунар. конф. «Аграрная наука – сельскому хозяйству». Барнаул. 2023. С. 99-103. EDN: JELTRA).

Деформация почвы в виде трапеции в поперечной плоскости происходит до достижения критического порога глубины обработки h_k [11]. При большей глубине обработки картина деформации почвенного пласта меняется. Происходит смятие почвы по направлению движения агрегата без увеличения зоны рыхления в поперечной плоскости. Это

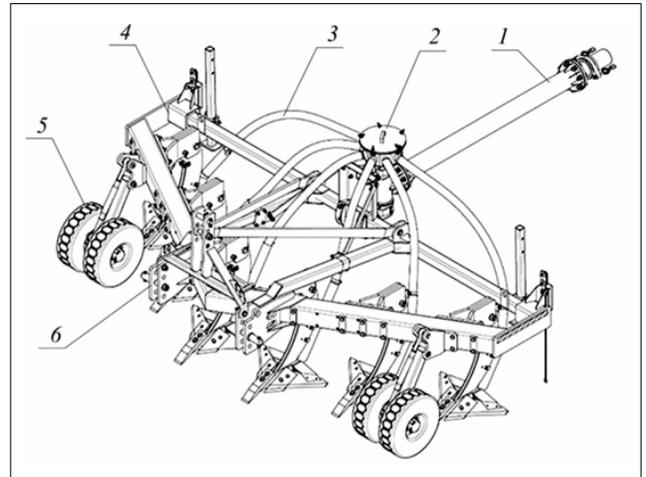


Рис. 1. Компонировочная схема агрегата для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений по шланговым системам: 1 – шланговая магистраль; 2 – распределительный узел жидких органических удобрений; 3 – распределительные шланги; 4 – несущая система с почвообрабатывающими органами; 5 – опорные колеса; 6 – навесное устройство

Fig. 1. Layout diagram of the unit for application of liquid organic fertilizers by hose systems: 1 – hose line; 2 – distribution unit of liquid organic fertilizers; 3 – distribution hoses; 4 – bearing system with tillage bodies; 5 – support wheels; 6 – attachment device

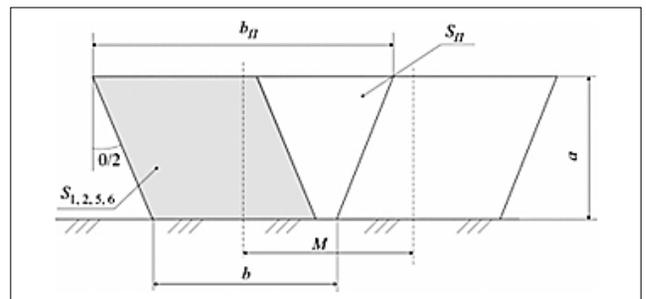


Рис. 2. Площади рыхления почвенного пласта плоскорежущим рабочим органом с открывками: a – глубина обработки; b и b_{Π} – ширина обрабатываемого пласта на глубине обработки и на поверхности почвы; M – ширина междуследий установки рабочих органов; S и S_{Π} – площади рыхления каждым из рабочих органов

Fig. 2. The areas of loosening of the soil layer by a plane-cutting working part with openers: a – treatment depth; b – width of the treated layer at the treatment depth; b_{Π} – width of the treated layer on the soil surface; M – width of the interstices of the working parts; S , S_{Π} – loosening areas

приводит в целом к уменьшению подверженного рыхлению объема почвы при ее переуплотнении в непосредственной близости от стоек рабочих органов. Резко возрастает тяговое сопротивление агрегата, так как на глубине больше критической происходит блокированное резание без отделения почвенной стружки с боковых сторон рабочего органа.

Для определения критической глубины обработки предлагается формула (Токушев Ж.Е. Теория и расчет орудий для глубокого рыхления плотных почв. М.: ИНФРА-М. 2003. 300 с.):

$$h_k = \frac{b_0 \left[0,1 \frac{p}{\sigma_{от}} (1 + 3 \operatorname{tg} \psi) \right] - 2,5}{4,2 + \operatorname{ctg} \alpha}, \text{ см}, \quad (1)$$

где b_0 – ширина долота, см; p – сопротивление почвы смятию (твердость почвы), МПа; $\sigma_{от}$ – временное сопротивление почвы отрыву, МПа; α – угол резания, град; ψ – угол скалывания почвы, равный наклону равнодействующей силы сопротивления почвы к горизонту, град (рис. 3).

Минимальному тяговому сопротивлению R_x рабочего органа соответствуют углы резания $\alpha \approx 20-25^\circ$ при $P/\sigma_{от} = 100-150$ и $b_0 = 0,05$ м.

Угол скалывания почвы определяется по формуле

$$\psi = 90^\circ - (\alpha + \varphi + \varphi_{\Pi}) / 2, \quad (2)$$

где α – угол крошения, град; φ – угол трения почвы по лапе, град; φ_{Π} – угол внутреннего трения почвы, град.

В продольном направлении силы сопротивления, действующие на рабочий орган, приводятся к равнодействующей R_{xz} . Вертикальная составляющая R_z характеризует способность рабочего органа к заглублению, а горизонтальная R_x – соответствует тяговому сопротивлению.

Суммарное тяговое сопротивление агрегата определим по формуле В.П. Горячкина:

$$R_x = \sum_{i=1}^6 k_{\Pi} S_i + \varepsilon S_i v^2, \quad (3)$$

где k_{Π} – удельное сопротивление почвы, кПа; S_i – площадь поперечного сечения взрыхленной части пласта i -й лапой, м²; ε – коэффициент (кН·с²/м⁴), учитывающий рабочую скорость v , м/с.

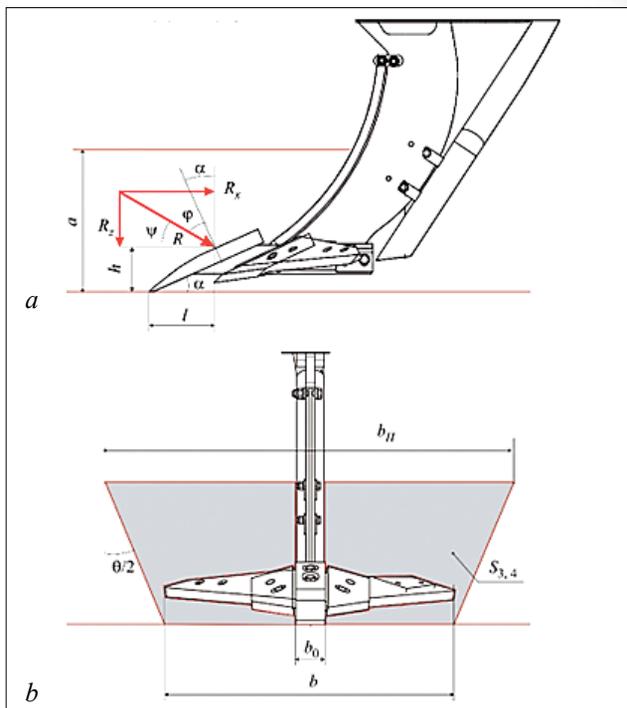


Рис. 3. Силы, действующие на рабочий орган и зоны рыхления почвы: а – вид сбоку; б – вид спереди
Fig. 3. Forces acting on the working part and soil loosening zones: a – side view; b – front view

По схеме силового нагружения (рис. 4) составим систему уравнений равновесия почвообрабатывающего агрегата в продольно-вертикальной плоскости xOz :

$$\begin{cases} \sum_i P_{xz i} = 0; \\ \sum_i M_{xz i} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $\sum_i P_{xz i}$ – сумма всех сил; $\sum_i M_{xz i}$ – сумма моментов всех сил относительно любой точки механической системы «трактор плюс почвообрабатывающий агрегат».

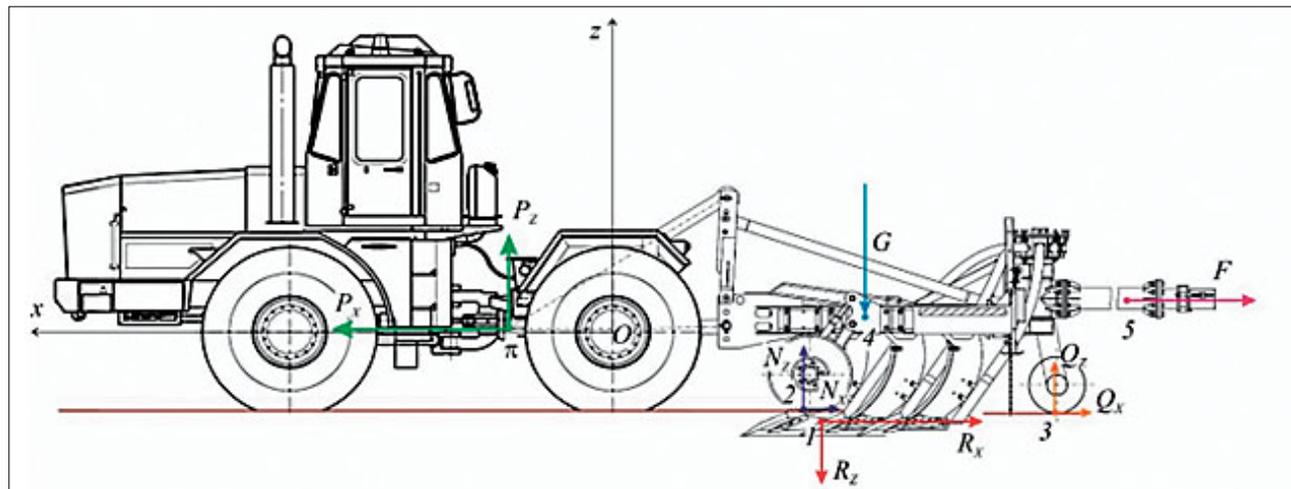


Рис. 4. Силовое нагружение почвообрабатывающего агрегата / Fig. 4. Power loading of the tillage unit

Решение системы уравнений позволяет определить силы P_x, P_z, N_x, Q_x . Для агрегата система уравнений выглядит следующим образом (уравнения (3) и (4) – суммы моментов сил относительно опорных колес орудия и зубового катка):

$$\begin{cases} P_x - R_x - \mu_2 N_x - \mu_3 Q_x - F = 0; \\ P_z - R_z + N_z + Q_z - G = 0; \\ P_x(z_\pi + z_2) - P_z \cdot (x_\pi + x_2) - Q_x(x_3 - x_2) - G(x_4 - x_2) + \\ + R_x(z_1 - z_2) - R_z(x_1 - x_2) - F(z_2 + z_5) = 0; \\ P_x(z_\pi + z_3) - P_z \cdot (x_\pi + x_3) - N_z(x_3 - x_2) - G(x_3 - x_4) - \\ - R_x(z_1 - z_3) + R_z(x_3 - x_1) - F(z_2 + z_5) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

где P_x, P_z – составляющие силы тяги трактора, кН; N_x и N_z – реакции почвы, действующие на опорные колеса машины, кН; Q_x и Q_z – составляющие реакции на опорной поверхности катка, кН; R_x, R_z – реакции почвы, приложенные к условному «среднему» рабочему органу, кН; $G = mg$ – сила тяжести машины, кН; F – сила сопротивления буксированию шланга с жидкими органическими удобрениями, кН; x_π, z_π – координаты мгновенного центра вращения трехточечного навесного устройства трактора в продольно-вертикальной плоскости xOz , м; x_1, z_1 – координаты точки носка «среднего» рабочего органа, м; x_2, z_2 – координаты опорных колес приложения реакций, м; x_3, z_3 – координаты зубового катка приложения реакций, м; x_4 – координата точки центра тяжести машины, м; z_5 – координата точки приложения силы сопротивления перемещению шланга, м. Начало координат точка O совпадает с проекцией оси задних колес трактора.

Сила сопротивления буксированию шланга по полю

$$F = f_T m_T g, \quad (6)$$

где f_T – коэффициент трения шланга о почву; $m_T = \rho V$ – масса шланга с удобрениями, кг; ρ – плотность удобрений в шланге, м^3 ; d и L – диаметр и длина шланга, м.

Конструкция почвообрабатывающего орудия позволяет устанавливать два типа рабочих органов: плоскорезы шириной захвата 0,80 м и щелеватели шириной захвата 0,45 м в количестве 5 или 6 единиц каждого.

На несущей системе почвообрабатывающего агрегата устанавливается сеялка мелкозерновых культур с центральным катушечным высевальным аппаратом, приводимым в действие от системы электрооборудования трактора. Семена воздушным потоком, создаваемым вентилятором, транспортируются по семяпроводам и распределяются по поверхности поля, затем при помощи зубового катка заделываются в почву. Общий вид комбинированного агрегата представлен на рисунке 5.

Технологический процесс работы агрегата происходит следующим образом. Жидкие органические

удобрения по шланговой магистрали под давлением от насосной станции поступают к агрегату через узел привязки. Далее через дроссель удобрения попадают в распределительное устройство, оснащенное измельчителем, далее по трубопроводам удобрения к рабочим органам и распределяются в нижней части почвенного пласта. Одновременно в поверхностный слой почвы высевается сидеральная культура с заделкой семян зубовым катком.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Для определения критической глубины обработки почвы получена зависимость ее от угла крошения (рис. 6).

Для разработанного агрегата заглублять рабочие органы больше, чем на $h_k = 36$ см нецелесообразно.

Согласно стандартам Ассоциации испытателей сельскохозяйственной техники и технологий (СТО АИСТ 4.2-2010) проведены испытания комбинированного агрегата при внесении жидких органических удобрений. Глубина обработки почвы при внесении составляла 36 ± 1 см, норма высева сидеральной культуры (редька масличная) 25 кг/га, диапазон рабочих скоростей агрегата от 0,4 до 0,8 м/с.

Комбинированный агрегат соединялся с трактором К-744 «Кировец». Исследовались щелеватели с шириной захвата 0,45 м и плоскорезы рабочих органов с шириной захвата 0,80 м.

По мере увеличения скорости движения в 2 раза производительность агрегата за 1 ч чистого времени W прямо пропорционально растет, а объемный q и массовый q_m расходы жидких органических удобрений через шланговую гидросистему незначительно (на 6-8%) снижаются (рис. 7).

При работе комбинированного агрегата максимальной шириной захвата 4,55 м с шестью плоскорезными рабочими органами при увеличении скорости движения с 0,44 до 0,76 м/с норма внесе-



Рис. 5. Комбинированный агрегат для глубокого внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений и посева сидеральных культур

Fig. 5. Combined unit for deep application of liquid organic fertilizers and sowing of sideral crops

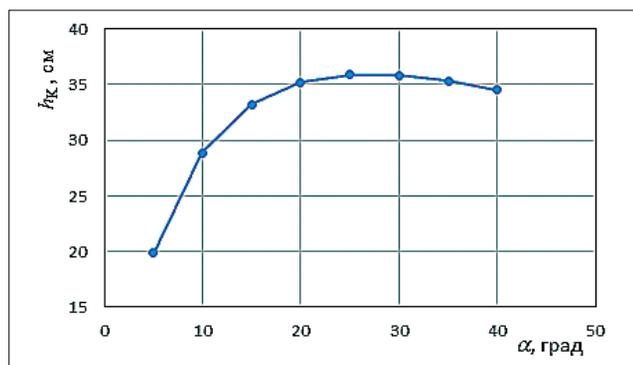


Рис. 6. Зависимость критической глубины обработки почвы h_k от угла α крошения рабочего органа

Fig. 6. Critical depth of tillage h_k on the crumbling angle α of the working part

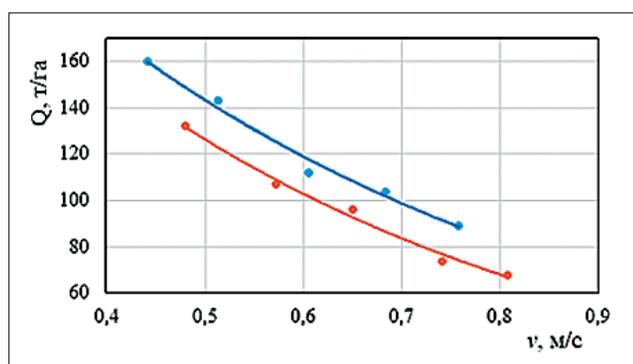


Рис. 7. Зависимость нормы внесения удобрений Q от скорости агрегата v при использовании щелевателей (верхняя кривая) и плоскорезов (нижняя кривая)

Fig. 7. Fertilizer application rate Q on the speed of the unit v when using slits (upper curve) and plane cutters (lower curve)

ния жидких удобрений снижалась с 160 до 89 т/га. При ширине захвата 3,98 м и пяти щелевателях с увеличением скорости движения трактора с 0,48 до 0,81 м/с норма внесения удобрений снижалась с 132 до 68 т/га. Равномерность подпочвенного распределения жидких органических удобрений в обоих вариантах рабочих органов составила 90-95%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косолапов В.М., Цыгуткин А.С., Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Агротехнические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия // *Кормопроизводство*. 2022. №3. С. 41-47. DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.007.
2. Тютюнов С.И., Соловиченко В.Д., Цыгуткин А.С., Логинов И.В. Влияние способов обработки почвы, минеральных и органических удобрений в различных севооборотах на содержание гумуса в чернозёме типичном // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. №5. С. 7-12. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10501.
3. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
4. Смелик В.А., Цыганова Н.А., Теплинский И.З. Внесение минеральных удобрений в точном земледелии // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2012. №3. С. 38-40. EDN: OXUPWF.
5. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Козлов Н.Д. Механизированная технология утилизации соломы // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2023. Т. 17. №2. С. 71-80. DOI:10.22450/19996837_2023_2_71.
6. Кузнецова О.А., Кривуца З.Ф., Щитов С.В. и др. Расширение функциональных возможностей колёсной энер-

Удельная энергоёмкость технологического процесса комбинированного агрегата на базе трактора К-744 при внутрипочвенном внесении жидких удобрений (без учета мощности насосной станции на прокачку через шланговую систему) определена в диапазоне 40-65 кВт·ч/га в зависимости от глубины обработки и удельного сопротивления почвы.

Особенностью предлагаемой комплексной технологии обеспечения расширенного воспроизводства плодородия почвы является использование сидеральных культур. Именно этот прием позволяет получить дополнительные преимущества по повышению плодородия почв и борьбе с сорным компонентом агроценоза, особенно при внесении жидких органических удобрений. В результате возделывания сидеральных культур снижается уровень водной и ветровой эрозии почвы, сокращаются потери питательных веществ.

Выводы

Для обеспечения расширенного воспроизводства плодородия почвы необходимо внедрять комплексные технологии, в которых используются одновременно несколько факторов. При этом целесообразно применять комбинированные сельскохозяйственные агрегаты, выполняющие за один проход операции обработки почвы, внесения удобрений и посева сидеральных культур.

Обработку почвы и внесение жидких органических удобрений целесообразно производить на глубину до 36 см. Нормы внесения удобрений сокращаются при увеличении рабочей скорости агрегата.

Равномерность подпочвенного распределения жидких органических удобрений при использовании обоих вариантов рабочих органов – щелевателей и плоскорезов составила 90-95%.

Удельная энергоёмкость технологического процесса комбинированного агрегата на базе трактора К-744 «Кировец» при внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений определена в диапазоне 40-65 кВт·ч/га в зависимости от глубины обработки и удельного сопротивления почвы.

- гетики // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2021. N1 (57). С.87-98. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-1-87-98.
7. Панов А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений и оценка их доз // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25. N2. С. 28-33. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-28-33.
8. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. N4. С. 63-68. DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
9. Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 4-9. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9.
10. Милюткин В.А., Шахов В.А., Асманкин Е.М. и др. Исследования инновационных технологий, техники и жидких минеральных удобрений на основе карбамидно-аммиачной смеси при возделывании сельхозкультур // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022. N4(96). С. 104-111. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-104-111.
11. Жук А.Ф. Влияние почвенного нараста на работу клина // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N3. С. 24-29. EDN: QINCRD.

REFERENCES

1. Kosolapov V.M., Tsygutkin A.S., Aldoshin N.V., Lylin N.A. Mechanized agronomy as means for arable farming biologization. *Fodder Production*. 2022. N3. 41-47 (In Russian). DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.007.
2. Tyutyunov S.I., Solovichenko V.D., Tsigutkin A.S., Logvinov I.V. The influence of soil cultivation methods, mineral and organic fertilizers in various crop rotations on the humus content in typical chernozem. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. N5. 7-12 (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10501.
3. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
4. Smelik V.A., Tsyganova N.A., Teplinsky I.Z. Application of mineral fertilizers in precision agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2012. N3. 38-40 (In Russian). EDN: OXUPWF.
5. Aldoshin N.V., Vasilev A.S., Kozlov N.D. Mechanical straw utilization technology. *Far Eastern Agricultural Journal*. 2023. Vol. 17. N2. 71-80 (In Russian). DOI:10.22450/19996837_2023_2_71.
6. Kuznetsova O.A., Krivutca Z.F., Shchitov S.V. et al. Expansion of wheeled power functional capabilities. *Far Eastern Agricultural Journal*. 2021. N1 (57). 87-98 (In Russian). DOI: 10.24412/1999-6837-2021-1-87-98.
7. Panov A.I., Aldoshin N.V., Manokhina A.A., Semin V.V. Assessment of the application rates of liquid manure subsoil injection. *Agricultural Engineering*. 2023. Vol. 25. N2. 28-33 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-28-33.
8. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. et al. About synthesis of robotic agriculture mobile machine. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2019. N4. 63-68 (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
9. Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Methods of applying fertilizers in precision agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N4. 4-9 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9.
10. Milyutkin V.A., Shakhov V.A., Asmankin E.M. et al. Research of innovative technologies, engineering and liquid mineral fertilizers based on carbamide-ammonia mixture for crop cultivation. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022. N4(96). 104-111 (In Russian). DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-104-111.
11. Zhuk A.F. Influence of soil build-up on wedge work. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2013. N3. 24-29 (In Russian). EDN: QINCRD.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Лобачевский Я.П. – руководство исследованием, концептуализация, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
Алдошин Н.В. – администрирование проекта, методология, проведение исследования; создание черновика рукописи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Lobachevsky Ya.P. – research management, conceptualization, creation of the final revision of the manuscript and its editing;
Aldoshin N.V. – project administration, methodology, research; creation of a draft manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

02.04.2024
24.05.2024