

ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

DOI 10.12737/
УДК 631.313.72

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВО-ИГОЛЬЧАТЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТЯГОВО-ПРИВОДНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ

Савельев Юрий Александрович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: juri.savelev@mail.ru

Киров Юрий Александрович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: kirov.62@mail.ru

Ишкин Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ishkin_pa@mail.ru

Петров Михаил Александрович, соискатель кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: petrovma_89@mail.ru

Ключевые слова: почва, обработка, орудие, диск, оптимизация.

Цель исследований – повышение энергоэффективности обработки почвы тягово-приводным почвообрабатывающим орудием с дисково-игольчатыми рабочими органами. Приведено описание конструкции нового тягово-приводного почвообрабатывающего орудия, имеющего малое тяговое сопротивление. Снижение тягового сопротивления орудия достигается за счет передачи основной доли мощности, потребляемой орудием на технологический процесс рыхления почвы, через вал механизма отбора мощности трактора на приводные игольчатые диски, которые в свою очередь создают толкающее усилие. Исследовано влияние конструктивных и технологических параметров дисково-игольчатых рабочих органов на качество крошения почвы и часовой расход топлива при выполнении технологического процесса обработки почвы. Лучшая энергоэффективность работы тягово-приводного почвообрабатывающего орудия обеспечивается оптимальными значениями таких факторов, как интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 1 ряда ($\Delta_1=75^\circ$), интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 2 ряда ($\Delta_2=77^\circ$) при глубине обработки почвы $h_p = 8$ см. При данных значения факторов удельное энергопотребление \mathcal{E}_y находится на уровне 92 г/ч·%. Применение предлагаемого тягово-приводного орудия с оптимальными конструктивными и технологическими параметрами дисково-игольчатых рабочих органов позволит обеспечить качественное и энергоэффективное рыхление почвы растяжением с отрывом за счет снижения тягового сопротивления орудия при передаче основной доли мощности, потребляемой орудием, через вал механизма отбора мощности трактора на приводные ротационные рабочие органы. Использование такого орудия позволит в более ранние сроки проводить ранневесеннюю обработку почвы, сохранить большее количество продуктивной влаги и обеспечить повышение урожайности возделываемых культур в засушливых условиях среднего Поволжья.

**OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF POWERED TILLAGE TOOL
WITH SOIL SPIKERS**

Yu. A. Savelyev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Agricultural Machines and Mechanization of Animal Husbandry», FSBIE HE Samara State Agricultural University.
446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.
E-mail: juri.savelev@mail.ru

Yu. A. Kirov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Agricultural Machines and Mechanization of Animal Husbandry», FSBIE HE Samara State Agricultural University.
446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.
E-mail: kirov.62@mail.ru

P. A. Ishkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Electrification and Automation of the Agro-industrial Complex», FSBIE HE Samara State Agricultural University.
446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.
E-mail: ishkin_pa@mail.ru

M. A. Petrov, Postgraduate Student of the Department «Agricultural Machines and Mechanization of Animal Husbandry», FSBIE HE Samara State Agricultural University.
446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.
E-mail: petrovma_89@mail.ru

Keywords: soil, processing, tool, disk, optimization.

The purpose of the research is to increase the energy efficiency of powered tillage tool with soil spikers. A description of the design of a new powered tillage tool with a low draught is given. The reduction of the tool's draught is achieved by transferring main share of the power consumed by it onto the technological process of loosening the soil through the shaft of the power take-off mechanism to the soil spikers, which in turn create a pushing force. Influence of the design and technological parameters of soil spikers on the quality of soil pulverization and fuel consumption per hour during tillage have been studied. The best energy efficiency of powered tillage tool is provided by the optimal values of such factors as the interval of loosening elements disks of the 1st row ($\Delta_1 = 75^\circ$), interval of loosening elements on the disks of the 2nd row ($\Delta_2 = 77^\circ$) at the depth of tillage $h_p = 8$ cm. With these values the specific energy consumption is at the level of 92 g/h-%. The use of the proposed powered tool with optimal design and technological parameters of soil spikers will ensure high-quality and energy-efficient loosening of the soil by stretching with separation due to the draught reduction of the tool when transferring the main share of the power consumed by the tool onto the shaft of the power take-off mechanism to the powered revolving working bodies. The use of such a tool will make it possible to carry out early spring tillage, preserve a greater amount of yielding moisture and ensure farm crop increase in arid conditions of the Middle Volga region.

В растениеводстве к наиболее энергоемким операциям относят обработку почвы, на которую приходится до 40% энергетических затрат. Повышение энергоэффективности обработки почвы является одной из важных задач в повышении рентабельности и экологичности сельскохозяйственного производства [1-6]. От обработки верхнего слоя почвы зависит накопление и сохранение влаги не только в верхних, но и в более глубоких почвенных горизонтах. Установлено, что потери влаги на непродуктивное испарение могут достигать 40-70% выпадающих осадков [7-10]. В почвенно-климатических условиях засушливых регионов России технология обработки почвы должна обеспечивать минимальные потери почвенной влаги, накопленные за осенне-зимний период. В связи с этим актуальными и значимыми являются исследования, направленные на оптимизацию технологических параметров машинотракторных агрегатов, позволяющих повысить эффективность использования энергетических ресурсов в растениеводстве и сохранить плодородие почв.

Цель исследований – повышение энергоэффективности обработки почвы тягово-приводным почвообрабатывающим орудием с дисково-игольчатыми рабочими органами.

Задача исследований – выявить оптимальные конструктивные и технологические параметры дисково-игольчатых рабочих органов; изучить влияние применения экспериментального тягово-приводного орудия на влагозапас пахотного горизонта почвы.

Материалы и методы исследований. Установлена возможность повышения энергоэффективности почвообрабатывающего агрегата за счет снижения буксования колес трактора и потерь на перекачивание агрегата, что достигается передачей части мощности через вал отбора мощности (ВОМ) на приводные дисково-игольчатые рабочие органы, которые компенсируют тяговое

сопротивление орудия создаваемым толкающим усилием, снижая сопротивление на перекачивание агрегирующего трактора и не требуя его большого тягово-цепного веса [2, 5, 6].

Для реализации этой возможности разработано тягово-приводное почвообрабатывающее орудие (рис. 1), имеющее малое тяговое сопротивление [11, 12]. Тягово-приводное почвообрабатывающее орудие содержит раму 1, сцепное устройство 2, приводные ротационные рабочие органы – игольчатые диски 3 и 4, расположенные в два ряда. На раме 1 установлен конический редуктор 5, входной вал 6 которого соединен с синхронным валом отбора мощности трактора карданным валом 7, на выходном валу 8 редуктора 5 установлены сменные звездочки 9 и 10, соединенные цепью 11 и 12 со сменными звездочками 13 на переднем и 14 на заднем валах ротационных рабочих органов. Ряды рабочих органов 3 и 4 расположены перпендикулярно направлению движения орудия, образуя шахматный порядок, и выполнены в виде батарей игольчатых дисков с иглами эвольвентной кривизны.

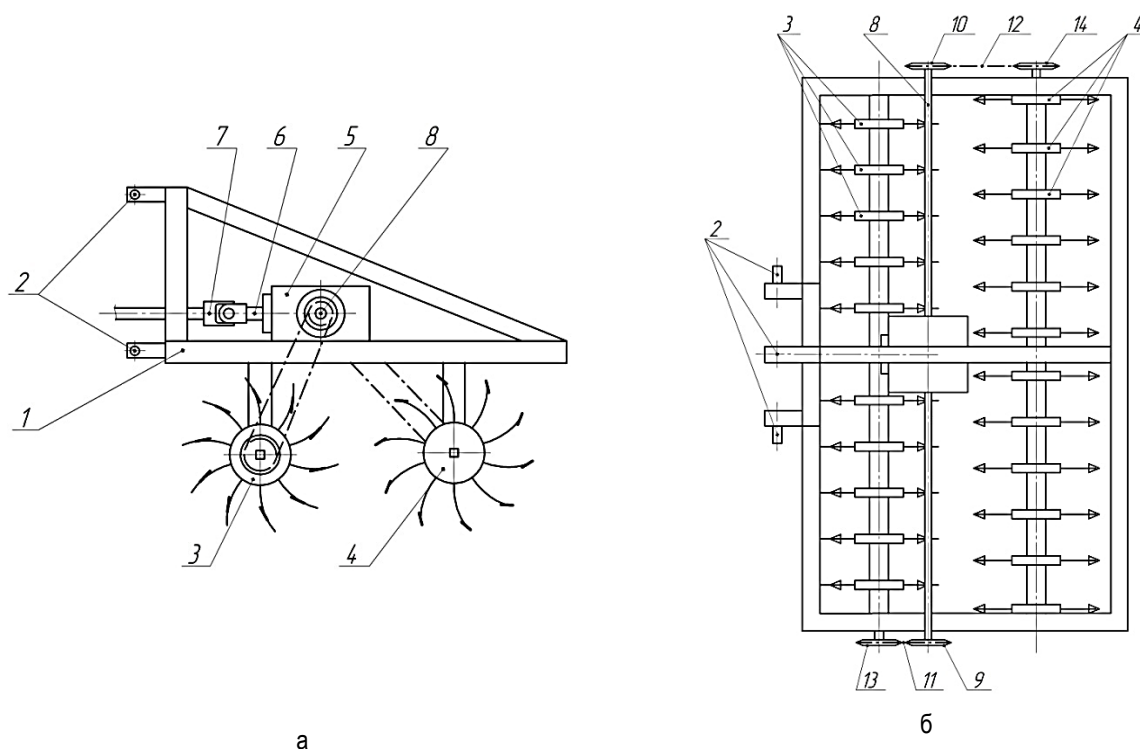


Рис. 1. Тягово-приводное почвообрабатывающее орудие:

- а – вид слева; б – вид сверху; 1 – рама; 2 – навесное устройство; 3, 4 – игольчатые диски;
5 – конический редуктор; 6 – входной вал; 7 – карданный вал; 8 – выходной вал; 9, 10 – сменные звездочки;
11, 12 – цепь; 13, 14 – сменные звездочки

В касательных плоскостях на выпуклой стороне игл 15 (рис. 2) рабочих органов переднего ряда закреплены рыхлительно-несущие элементы 16 в форме равнобедренного треугольника, на иглах 17 рабочих органов 4 заднего ряда закреплены рыхлительные элементы 18, также в форме равнобедренного треугольника вершиной к носку игл 17.

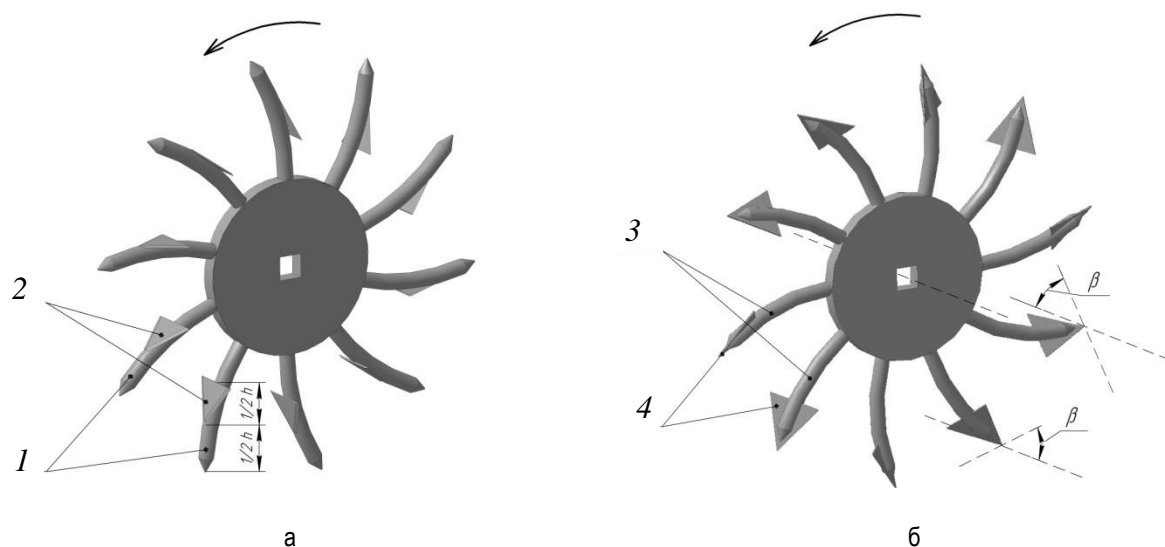


Рис. 2. Ротационные рабочие органы:
 а – переднего ряда; б – заднего ряда; 1, 3 – иглы; 2, 4 – рыхлительно-несущие элементы

Повышение качества поверхностной обработки почвы и снижение затрат энергии достигается благодаря выполнению рабочих органов в виде игольчатых дисков, иглы которых изогнуты по эвольвенте окружности, и закреплению в касательных плоскостях на выпуклой стороне игл рабочих органов первого ряда рыхлительных элементов в форме равнобедренного треугольника [13-15]. Основание рыхлительных элементов параллельно оси игольчатого диска, высота треугольника, проведенная к его основанию, равна половине глубины обработки, а вершина направлена к концу игл, причем расстояние от вершин рыхлительных элементов до концов игл равно половине глубины обработки. Это позволяет рыхлительным элементам выполнять полосовую обработку почвы фронтальным рыхлением на половину глубины рыхления со значительным снижением затрат энергии на поперечное перемещение пласта при заданном ограничении глубины обработки.

Рыхлительные элементы второго ряда рабочих органов также выполнены в форме равнобедренного треугольника, вершина которых расположена на конце иглы. Основания рыхлительных элементов повернуты относительно оси вращения диска так, что они образуют с осью игольчатых дисков острый угол, а также поочередный поворот рыхлительных элементов относительно оси игольчатого диска в противоположные стороны позволяет рыхлить почву с деформацией растяжения в смежных полосах почвы необработанных первым рядом рабочих органов поочередным воздействием рыхлительных элементов, направленным в противоположные стороны от плоскости симметрии игольчатых дисков. Это позволяет повысить качество поверхностной обработки почвы и снижает затраты энергии. Однако, показатели качества поверхностной обработки почвы и затраты энергии на ее выполнение зависят от интервала расстановки рыхлительных элементов на диске и глубины рыхления.

Методика оптимизации конструктивных и технологических параметров дисково-игольчатых рабочих органов включает в себя проведение серии опытов согласно теории многофакторного планирования экспериментов [16].

В качестве оцениваемых показателей работы машинотракторного агрегата с тягово-приводным орудием выбраны качество крошения почвы и часовой расход топлива на выполнение технологического процесса обработки почвы. Критерием оптимизации выбрано удельное энергопотребление (\mathcal{E}_y), г/ч·% – относительная характеристика технологического процесса обработки почвы, показывающая часовой расход топлива на каждый процент качества крошения.

По результатам предварительных исследований были определены факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на оценочные показатели:

- интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 1 ряда (Δ_1), град;
- интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 2 ряда (Δ_2), град;
- глубина рыхления почвы (h_p), см.

С целью определения влияния интервала расстановки рыхлительных элементов на дисках первого и второго рядов на качество поверхностной обработки почвы и затраты энергии ее выполнения, были изготовлены комплекты сменных дисков (рис. 3 и 4). С каждым комплектом дисков определялось качество поверхностной обработки почвы и затраты энергии.



Рис. 3. Дисково-игольчатые рабочие органы первого ряда с плоскими рыхлительными элементами, установленными с интервалом в 90° (а), 60° (б), 30° (в)

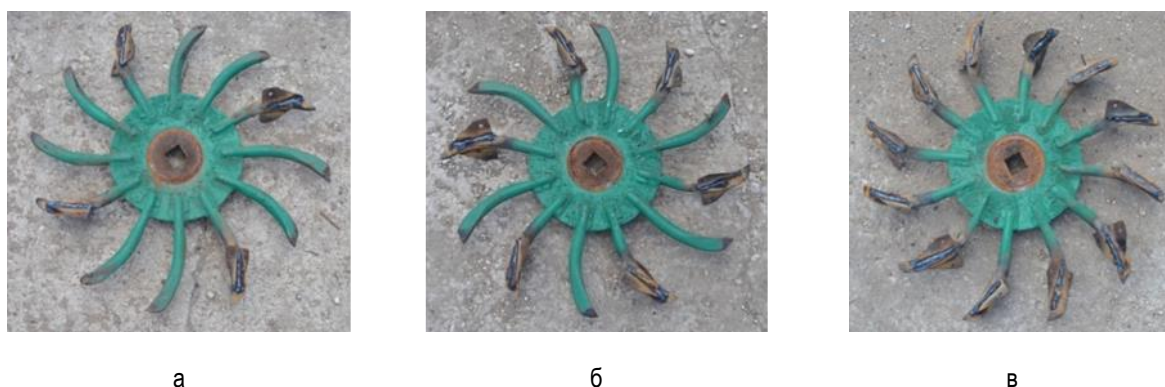


Рис. 4. Дисково-игольчатые рабочие органы второго ряда с плоскими рыхлительными элементами, установленными с интервалом в 90° (а), 60° (б), 30° (в)

Исследование влияния интервала расстановки рыхлительных элементов на диске и глубины рыхления на качество поверхностной обработки почвы и на затраты энергии проводились на экспериментальном тягово-приводном орудии в полевых условиях. Серии опытов реализовывались согласно симметричному некомпозиционному квази-D-оптимальному плану Песочинского [16].

Определение качества крошения почвы выполнялось по СТО АИСТ 4.2-2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей». Данной методикой предусматривался отбор образцов почвы на обработанных участках на всю глубину рыхления с площади $0,25 \times 0,25$ м. Оценка качества крошения определяли исходя из процентного содержания по весу почвенных агрегатов размером от 1 до 50 мм.

Часовой расход топлива определялся в соответствии с методикой энергетической оценки по ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» и ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний» с применением информационно-измерительной системы ИП-264 ФГБУ «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция».

Результаты исследований. В результате проведения серии опытов по симметричному некомпозиционному квази-D-оптимальному плану Песочинского получены следующие значения удельного энергопотребления \mathcal{E}_y , г/ч·% (табл. 1).

Таблица 1

Результаты проведения симметричного квази-D-оптимального плана Песочинского

№ опыта	Δ_1 , град	Δ_2 , град	h_p , см	Качество крошения, %	Расход топлива, кг/ч	\mathcal{E}_y , г/ч·%
1	60	90	8	93,5	8,7	93,0
2	60	30	8	86,4	8,4	97,2
3	60	90	4	88,5	7,6	85,9
4	60	30	4	81,0	7,3	90,1
5	90	60	8	93,5	8,7	93,0
6	30	60	8	86,7	8,4	96,9
7	90	60	4	88,5	7,6	85,9
8	30	60	4	81,3	7,3	89,8
9	90	90	6	93,6	8,3	88,7
10	30	90	6	86,4	8,0	92,6
11	90	30	6	86,1	8,0	92,9
12	30	30	6	79,5	7,7	96,8
13	60	60	6	89,5	7,9	88,3

После проведения регрессионного анализа результатов опытов получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 88,29 - 1,95x_1 - 2,1x_2 + 3,55x_3 + 2,15x_1^2 + 2,3x_2^2 + 0,95x_3^2, \quad (1)$$

где x_1, x_2, x_3 – кодовые значения факторов, вычисляемые по формулам:

$$x_1 = \frac{\Delta_1 - 60}{30}; x_2 = \frac{\Delta_2 - 60}{30}; x_3 = \frac{h_p - 6}{2}. \quad (2)$$

В результате получено следующее уравнение регрессии в натуральном раскодированном виде:

$$\mathcal{E}_y = 112,1 - 0,352\Delta_1 - 0,377\Delta_2 - 1,075h_p + 0,00239\Delta_1^2 + 0,00255\Delta_2^2 + 0,2375h_p^2. \quad (3)$$

При глубине рыхления $h_p = 8$ см, уравнение регрессии примет следующий вид:

$$\mathcal{E}_y = 118,7 - 0,352\Delta_1 - 0,377\Delta_2 + 0,00239\Delta_1^2 + 0,00255\Delta_2^2. \quad (4)$$

По уравнению регрессии (4) построен график изменения удельного энергопотребления (\mathcal{E}_y) в зависимости от интервала расстановки рыхлительных элементов на дисках 1 ряда (Δ_1), интервала расстановки рыхлительных элементов на дисках 2 ряда (Δ_2), при глубине рыхления почвы $h_p = 8$ см (рис. 5).

Для определения оптимальных величин интервала расстановки рыхлительных элементов на дисках 1 ряда (Δ_1) и интервала расстановки рыхлительных элементов на дисках 2 ряда (Δ_2) при глубине рыхления почвы $h_p = 8$ см продифференцируем уравнение (4), определяя производные первого порядка по каждой переменной и приравняем их к нулю:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{E}_y}{\partial \Delta_1} &= -0,352 + 0,00478 \cdot \Delta_1 = 0; \\ \frac{\partial \mathcal{E}_y}{\partial \Delta_2} &= -0,377 + 0,0051 \cdot \Delta_2 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В результате решения системы уравнений (5) найдены оптимальные значения факторов: интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 1 ряда $\Delta_1 = 75^\circ$; интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 2 ряда $\Delta_2 = 77^\circ$ при глубине обработки почвы $h_p = 8$ см. При данных значения факторов удельное энергопотребление \mathcal{E}_y находится на уровне 92 г/ч·%.

Исследование влияния применения экспериментального тягово-приводного орудия ТПО-3 при ранневесенней обработке почвы показало возможность эффективного сохранения влаги за счет возможности более раннего закрытия влаги по сравнению с применением тяговых орудий на примере аналога БИГ-3 (рис. 6).



Рис. 5. Факторная зависимость удельного энергопотребления

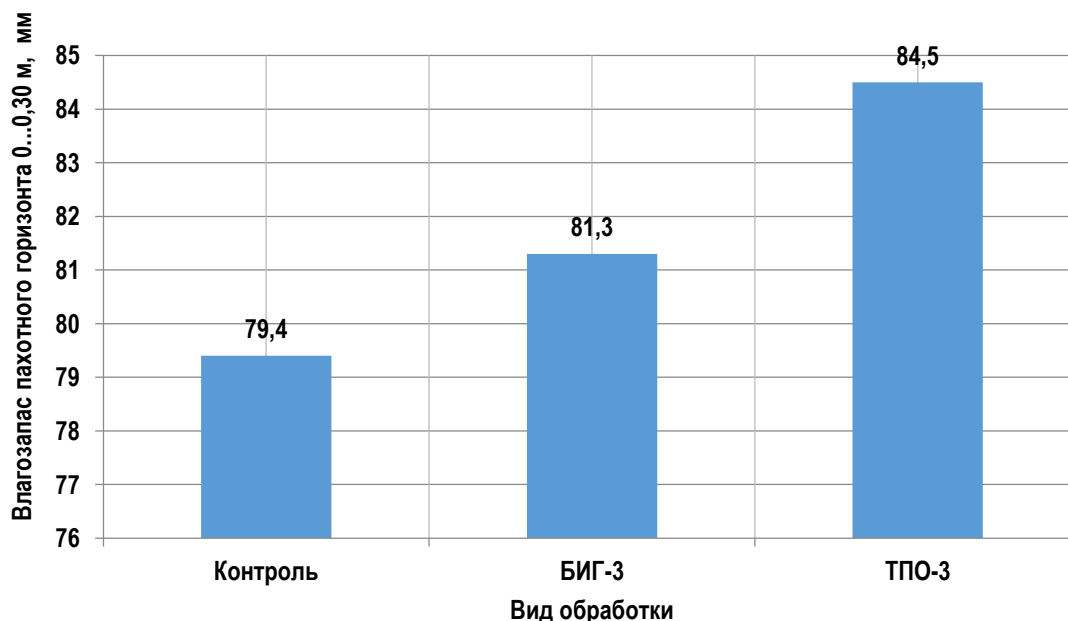


Рис. 6. Диаграмма влагозапаса пахотного горизонта перед посевом при различных агрофонах: контроль – без ранневесенней обработки; обработка тяговым орудием БИГ-3; обработка экспериментальным тягово-приводным орудием ТПО-3

Заклучение. В результате проведения серии опытов по симметричному некомпозиционному квази-D-оптимальному плану Песочинского выявлены оптимальные конструктивные и технологические параметры дисково-игольчатых рабочих органов, обеспечивающих повышение энергоэффективности обработки почвы тягово-приводным почвообрабатывающим орудием. Лучшая энергоэффективность работы тягово-приводного почвообрабатывающего орудия обеспечивается оптимальными значениями таких факторов, как интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 1 ряда $\Delta_1 = 75^\circ$, интервал расстановки рыхлительных элементов на дисках 2 ряда $\Delta_2 = 77^\circ$ при глубине обработки почвы $h_p = 8$ см. При данных значения факторов удельное энергопотребление \mathcal{E}_y

находится на уровне 92 г/ч.%. Применение предлагаемого тягово-приводного орудия с оптимальными конструктивными и технологическими параметрами дисково-игольчатых рабочих органов позволит обеспечить качественное и энергоэффективное рыхление почвы растяжением с отрывом, за счет снижения тягового сопротивления орудия при передаче основной доли мощности, потребляемой орудием, через вал механизма отбора мощности трактора на приводные ротационные рабочие органы. Использование такого орудия позволит в более ранние сроки проводить ранневесеннюю обработку почвы, сохранить большее количество продуктивной влаги и обеспечить повышение урожайности возделываемых культур в засушливых условиях среднего Поволжья.

Библиографический список

1. Халилов, М. Б. Исследование энергозатрат на возделывание сельскохозяйственной культуры / М. Б. Халилов, Ш. М. Халилов, А. Б. Исмаилов, Б. А. Джапаров // Проблемы развития АПК региона. – 2014. – Том 18, № 2-18(18). – С. 72-76.
2. Чаткин, М. Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих рабочих органов с винтовыми элементами : монография / М. Н. Чаткин. – Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2008. – 315 с.
3. Nalavade, P. P. Performance of free rolling and powered tillage discs / P. P. Nalavade, V. M. Salokhe, T. Niyamara, P. Soni // Soil and tillage research. – 2010. – Vol. 109. – P. 87-93.
4. Nalavade, P. P. Development of a disc harrow for onfarm crop residue management / P. P. Nalavade, V. M. Salokhe, T. Niyamara, P. Soni // International Agricultural Engineering journal. – 2013. – Vol. 22(1). – P. 49-60.
5. Мусин, Р. М. Повышение эффективности культиваторных агрегатов с движителями-рыхлителями : монография / Р. М. Мусин, Р. Р. Мингалимов. – Самара : Самарская ГСХА, 2012. – 156 с.
6. Мингалимов, Р. Р. Исследования процесса образования и использования дополнительной движущей силы машинно-тракторного агрегата в результате применения движителей-рыхлителей / Р. Р. Мингалимов, Р. М. Мусин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1 (29). – С. 126-132.
7. Boizard, H. et al. Using a morphological approach to evaluate the effect of traffic and weather conditions on the structure of a loamy soil in reduced tillage // Soil and Tillage Research. – 2013. – Т. 127. – С. 34-44.
8. Савельев, Ю. А. Снижение потерь почвенной влаги на испарение / Ю. А. Савельев, О. Н. Кухарев, Н. П. Ларюшин [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 42-47.
9. Савельев, Ю. А. Теоретическое исследование водного баланса почвы и процесса испарения почвенной влаги / Ю. А. Савельев, Ю. М. Добрынин, П. А. Ишкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 1. – С. 23-28.
10. Савельев, Ю. А. Осенью – полосовое рыхление / Ю. А. Савельев, П. А. Ишкин // Сельский механизатор. – 2007. – №10. – С. 20.
11. Пат. 2538810 Российская Федерация, МПК А 01 В 33/02. Орудие для поверхностной обработки почвы / П. А. Ишкин, Ю. А. Савельев, А. М. Петров, М. А. Петров ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2013146320/13 ; заявл. 16.10.2013 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. – 7 с.
12. Савельев, Ю. А. Орудие для ранневесенней обработки почвы / Ю. А. Савельев, А. М. Петров, П. А. Ишкин, М. А. Петров // Сельский механизатор. – 2014. – № 10. – С. 6.
13. Петров, М. А. Повышение эффективности тягово-приводного почвообрабатывающего агрегата / М. А. Петров, Ю. А. Савельев, П. А. Ишкин // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2018. – №3 (43). – С. 19-24.
14. Савельев, Ю. А. Обоснование формы игл ротационных рабочих органов тягово-приводного почвообрабатывающего орудия / Ю. А. Савельев, А. М. Петров, П. А. Ишкин, М. А. Петров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4. – С. 20-28.
15. Ахметшин, Т. Ф. Влияние геометрических параметров почвообрабатывающих деталей на степень деформации почвы / Т. Ф. Ахметшин // Известия Оренбургского ГАУ. – 2014. – № 1. – С. 50-53.
16. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

References

1. Khalilov, M. B., Khalilov, Sh. M., Ismailov, A. B., & Dzhaparov, B. A. (2014). Issledovanie energozatrat na vozdelivanie seliskohoziaistvennoi kulturi [Research of energy consumption for the cultivation of crops]. *Problemi razvitiia APK regiona – Development problems of regional agro-industrial complex*, 18, 2-18(18), 72-76 [in Russian].
2. Chatkin, M. N. (2008). Kinematika i dinamika rotacionnih pochvoobrabativaiushchih rabochih organov s vintovimi elementami [Kinematics and dynamics of rotary tillage working parts with screw elements]. Saransk: Publishing house of the Mordovian University [in Russian].

3. Nalavade, P. P., Salokhe, V. M., Niyamapa, T., & Soni, P. (2010). Performance of free rolling and powered tillage discs. *Soil and tillage research*, 109, 87-93.
4. Nalavade, P. P., Salokhe, V. M., Niyamapa, T., & Soni, P. (2013). Development of a disc harrow for onfarm crop residue management. *International Agricultural Engineering journal*, 22(1), 49-60.
5. Musin, R. M., & Mingalimov, R. R. (2012). Povishenie effektivnosti kultivatornih agregatov s dvizhitelemi-rihliteliami [Improving the efficiency of ripper cultivator units]. Samara: Samara State Agricultural Academy [in Russian].
6. Mingalimov, R. R., & Musin, R. M. (2015). Issledovaniia processa obrazovaniia i ispolizovaniia dopolnitelnoi dvizhushchei sili mashinno-traktornogo agregata v rezul'tate primeneniia dvizhitelei-rihlitelei [Study the formation and use of additional motor force of machine-tractor aggregates with ripper cultivator units]. *Vestnik Uliianovskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii – Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*, 1 (29), 126-132 [in Russian].
7. Boizard, H. et al. (2013). Using a morphological approach to evaluate the effect of traffic and weather conditions on the structure of a loamy soil in reduced tillage. *Soil and Tillage Research*, 127, 34-44.
8. Savelyev, Yu. A., Kukharev, O. N., Laryushin, N. P., Ishkin, P. A., & Dobrynin, Yu. M. (2018). Snizhenie poter pochvennoi vlagi na isparenii [Reduction of evaporation loss]. *Sel'skokhoziaistvennie mashini i tekhnologii – Agricultural machinery and technologies*, 12, 1, 42-47 [in Russian].
9. Savelyev, Yu. A., Dobrynin, Yu. M., & Ishkin, P. A. (2017). Teoreticheskoe issledovanie vodnogo balansa pochvy i processa isparenii pochvennoi vlagi [Theoretical study of soil water balance and evaporation loss]. *Sel'skokhoziaistvennie mashini i tekhnologii – Agricultural machinery and technologies*, 1, 23-28 [in Russian].
10. Savelyev, Yu. A., & Ishkin, P. A. (2007). Oseniiu – polosovoe rihlenie [Autumn – strip-till loosening]. *Sel'skii mekhanizator – Selskiy Mechanizator*, 10, 20 [in Russian].
11. Ishkin, P. A., Savelyev, Yu. A., Petrov, A. M., & Petrov, M. A. (2015). Orudie dlia poverhnostnoi obrabotki pochvi [Tool for surface tillage]. *Patent 2538810 Russian Federation*, IPC A 01 B 33/02. №2013146320/13 [in Russian].
12. Savelyev, Yu. A., Petrov, A. M., Ishkin, P. A., & Petrov, M. A. (2014). Orudie dlia rannevesennei obrabotki pochvi [The tool for early spring tillage]. *Sel'skii mekhanizator – Selskiy Mechanizator*, 10, 6 [in Russian].
13. Petrov, M. A., Savelyev, Ju. A., & Ishkin, P. A. (2018). Povishenie effektivnosti tiagovo-privodnogo pochvoobrabativalushchego agregata [Improving the efficiency of the powered tillage units]. *Vestnik Uliianovskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii – Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*, 3 (43), 19-24 [in Russian].
14. Savel'ev, Yu. A., Petrov, A. M., Ishkin, P. A., & Petrov, M. A. (2019). Obosnovanie formi igl rotacionnih rabochih organov tiagovo-privodnogo pochvoobrabativalushchego orudiia [Justification the form of soil spikers of powered tillage tools]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 4, 20-28 [in Russian].
15. Akhmetshin, T. F. (2014). Vliianie geometricheskikh parametrov pochvoobrabativalushchih detalei na stepen deformacii pochvi [The influence of geometric parameters of tillage parts on the degree of soil deformation]. *Izvestiia Orenburgskogo GAU – Izvestia Orenburg SAU*, 1, 50-53 [in Russian].
16. Dospikhov, B. A. (1985). Metodika polevogo opita (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniia) [The methodology of field experience (with the basis of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat [in Russian].