

РАЗДЕЛ 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

УДК 629.113.004

Бабицкий Л. Ф. Соболевский И. В.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Стаття розкриває розробку нової математичної моделі взаємозв'язку основних складових частин МТА в процесі його експлуатації. У статті представлені аналітичні залежності, що дозволяють визначити і прогнозувати показники гамма-процентного ресурсу при розробці нормативно-технологічної документації на ТО і ПР.

Ключові слова: машинно-тракторний агрегат, трудомісткість, гамма-процентний ресурс, модель, працездатність.

Статья раскрывает разработку новой математической модели взаимосвязи основных составных частей МТА в процессе его эксплуатации. В статье представлены аналитические зависимости, позволяющие определять и прогнозировать показатели гамма-процентного ресурса при разработке нормативно-технологической документации на ТО и ТР.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, трудоёмкость, гамма-процентный ресурс, модель, работоспособность.

The article exposes development of new mathematical model of intercommunication of basic component parts of MTA in the process of his exploitation. In the article analytical dependences are also presented allowing to determine and forecast the indexes of gamma-percent resource at development of normative-technological document on technical service and permanent repair.

Key words: machine tractor aggregate, labor intensiveness, gamma-percent resource, model, capacity.

Постановка проблеми. Важным элементом предупреждения неисправностей машинно-тракторного агрегата (МТА) является применение различных методов контроля и оценки технического состояния составных частей трактора и машинного агрегата. Это, в свою очередь, предусматривает необходимость применения в условиях эксплуатации косвенной оценки технического состояния по различным внешним признакам, выявленным при работе МТА, а также контроля с применением диагностических средств. Техническое состояние МТА в значительной степени определяет возможность поддержания тяговых характеристик трактора, а также обеспечения качества выполнения технологического процесса машинного агрегата [1].

На современном этапе функционирования агропромышленного комплекса Украины происходит уменьшение количественного состава машинно-тракторного парка (МТП) и снижение уровня его технической готовности, что приводит к увеличению в 1,5–2,5 раза нагрузки на работающие МТА. Количество МТА, выводимых из эксплуатации, превышает количество закупаемой техники. В свою очередь, увеличение нагрузки на эксплуатируемую технику приводит к увеличению сроков выполнения полевых работ и потере урожая [2].

Обеспечить стабилизацию количественного состава МТА на ближайшее время возможно

лишь при поддержке высокого уровня технической готовности машин в условиях рядовой эксплуатации за счёт соответствующей диагностики и оперативного технического обслуживания, что повысит надёжность техники.

Анализ литературы. Изучению основ повышения надёжности сельскохозяйственной техники при техническом обслуживании посвящены работы таких учёных, как В. М. Забродский, Г. Е. Топилин, С. Г. Стопалов, Е. Г. Тома [1], Н. В. Молодык [2], У. А. Абдулгизис [3], И. М. Бендера, С. М. Грушецкий, П. И. Роздорожник, Я. М. Михайлович [4] и др.

Как показывает анализ литературных источников [1; 2], за последние годы промышленность Украины освоила и предложила сельскохозяйственным товаропроизводителям свыше 500 наименований новых машин. Однако как новая, так и старая техника имеет низкую надёжность. При этом наработка на отказ отечественных тракторов составляет всего лишь 16–25 моточасов. Поэтому возрастает роль научного обеспечения в повышении надёжности как комплексного показателя, который лежит в обосновании закономерностей потери работоспособности и прогнозировании уровня безотказности, с целью разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий технического сервиса МТА.

Целью статьи является разработка матема-

тической модели взаимосвязи основных составных частей МТА в процессе его технического сервиса, а также аналитических зависимостей, позволяющих определять и прогнозировать показатели гамма-процентного ресурса при разработке нормативно-технологической документации на ТО и ТР.

Изложение основного материала. Изменение исходных характеристик безотказной работы (БР) МТА в условиях эксплуатации зависит от многих факторов, действующих не изолированно, а комплексно, при этом находясь в сложной зависимости друг от друга. К ним можно

отнести три основные группы: конструктивные (К) (Z_1 – нагрузки, превышающие расчётные; Z_2 – неправильно выбранный материал детали; Z_3 – несоответствие посадки выбранному режиму работы и т. д.), технологические (Т) (нарушение технологической последовательности: W_1 – изготовления детали; W_2 – сборки; W_3 – приработки и испытания как составных частей, так и сельскохозяйственной машины в целом) и эксплуатационные (Э). Схематически они рассматриваются как совокупность сложных векторных пространств, где векторами являются сами факторы (рис. 1).

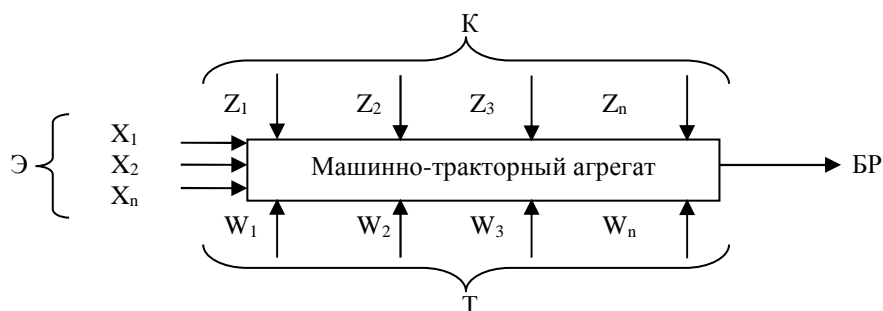


Рис. 1. Блок-схема факторов, влияющих на безотказную работу МТА.

С точки зрения технического сервиса доминирующим фактором блок-схемы является эксплуатационный, который включает в себя X_1 – качество проведения технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) МТА, X_2 – квалификацию тракториста, X_3 – качество очистки топлива и масел, X_4 – почвенно-климатические условия и X_5 – хранение тракторов.

В условиях рядовой эксплуатации МТА его надёжность зависит от поддержания режимов технической эксплуатации, своевременного и качественного технического диагностирования и ТО.

При проведении своевременного ТО у МТА также формируются показатели надёжности. Надёжность МТА зависит от надёжности его агрегатов узлов и деталей.

Так как трактора выполняют функцию тяговых или тягово-приводных энергетических средств, а непосредственно технологические операции выполняются рабочими машинами (сеялками, культиваторами и др.), то качество полевых операций определяется в основном уровнем технологической работоспособности машин и агрегатов в целом.

Технологическая работоспособность машин – это их свойство сохранять в заданных пределах и во времени значения показателей, определяющих качество осуществления технологического процесса, прежде всего это полнота и точность выполнения агротехнологических требований (глубина обработки, посева, норма высева и

распределение семян в почве, высота среза растений и др.) [5].

Исходя из изложенного, целесообразно подразделить операции технического сервиса, направленные на восстановление параметров технического состояния до нормативной величины, на операции обслуживания и ремонта, а процесс обеспечения нормативной величины параметров технологического состояния машин и агрегатов считать технологическим обслуживанием. Этот процесс должен включать контроль технологического состояния машин, их технологическую настройку, регулировки при подготовке к использованию, дополнительные регулировочные операции при изменении условий эксплуатации [5].

Особо актуален вопрос обеспечения технологической работоспособности при использовании комбинированных агрегатов, выполняющих одновременно несколько технологических операций за один проход. В этом случае несоответствие агротребованиям регулировок у сельскохозяйственных машин приводит к снижению качественных показателей их рабочих органов. Например, у комбинированного посевного комплекса при прямом высева не отрегулированные по глубине хода культиваторные лапы приводят к неравномерности заделки семян. Очевидно, что для таких сложных агрегатов технологическое обслуживание перед работой должно осуществляться на специальных пунктах, оборудованных устройствами и инструментом для

настройки машин.

Так, во время пахоты, в связи с тяжёлыми условиями работы трактора, возникают отказы у двигателя, гидронавесной системы, коробки перемены передач. На транспортных работах отказы возникают у рулевого управления, тормозов, электрооборудования и ходовой системы. У сельскохозяйственных машин (плуги, культиваторы, сеялки, опрыскиватели) в основном отказы возникают в активных рабочих органах и приводах к ним. Например, у машины для выкопки саженцев винограда наименее надёжным элементом является гидродвигатель с механизмом привода, который создаёт колебательное движение рыхлителей.

Своевременное отслеживание и устранение

отказов наименее надёжных элементов МТА при ТО формирует основные показатели качества безотказного выполнения технологического процесса в соответствии с агротребованиями. При этом для сельскохозяйственных товаропроизводителей главным показателем качества технического сервиса является гамма-процентный ресурс γ . Он имеет большое значение в связи с тем, что это регламентируемая вероятность, а долговечность в процессе эксплуатации МТА – величина статическая и определяется экспериментально.

С этой целью разработана обобщённая математическая модель взаимосвязи основных составных частей МТА в процессе его технического сервиса (рис. 2).

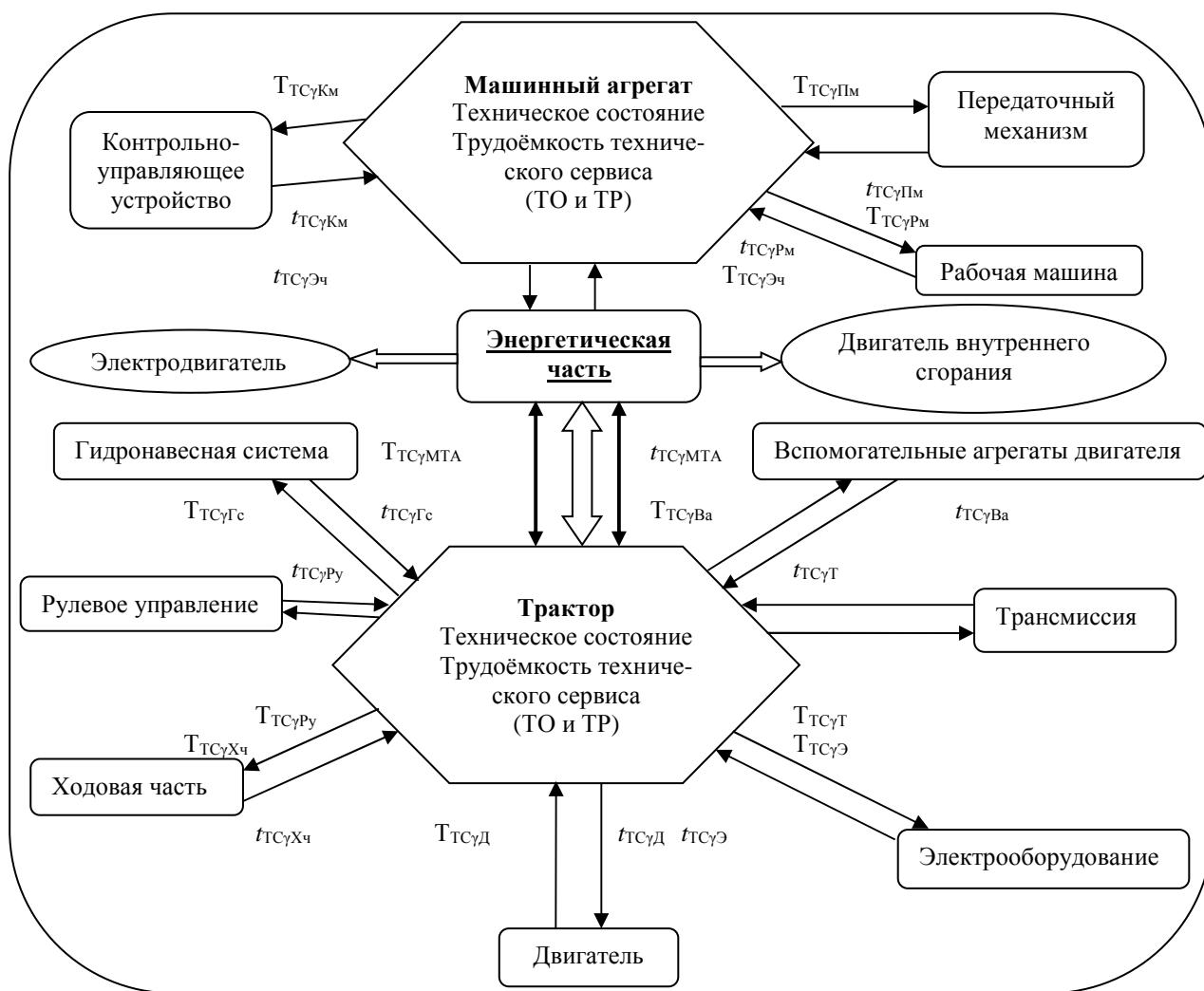


Рис. 2. Имитационная математическая модель взаимосвязи основных составных частей МТА в процессе его технического сервиса.

Для трактора математическая модель учитывает следующие показатели:

- основные элементы таких гамма-процентных ресурсов, как двигатель, вспомогательные агрегаты двигателя, трансмиссия, электрообо-

- рудование, рулевое управление, ходовая часть, гидронавесная система ($t_{ТСγД}$, $t_{ТСγВа}$, $t_{ТСγТ}$, $t_{ТСγЭ}$, $t_{ТСγРу}$, $t_{ТСγХч}$, $t_{ТСγГс}$);
- трудоёмкость технического сервиса, соответственно ($T_{ТСγД}$, $T_{ТСγВа}$, $T_{ТСγТ}$, $T_{ТСγЭ}$, $T_{ТСγРу}$,

$T_{TC\gamma X\check{c}}, T_{TC\gamma T\check{c}}$.

Для машинного агрегата математическая модель учитывает такие показатели:

- основные элементы таких гамма-процентных ресурсов, как энергетическая часть, передаточный механизм, контрольно-управляющее устройство и рабочая машина ($t_{TC\gamma\check{E}\check{c}}, t_{TC\gamma\Pi\check{M}}, t_{TC\gamma K\check{M}}, t_{TC\gamma P\check{M}}$);
- трудоёмкость технического сервиса, соответственно ($T_{TC\gamma\check{E}\check{c}}, T_{TC\gamma\Pi\check{M}}, T_{TC\gamma K\check{M}}, T_{TC\gamma P\check{M}}$).

При условии, если гамма-процентный ресурс t_γ имеет распределение по плотности вероятности $f(t)$, вероятность безотказной работы имеет следующий вид:

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}. \quad (1)$$

Так как трактор и машинный агрегат, в свою

$$\gamma_0 = 100 \times \prod_{i=1}^7 P(t_{\check{O}\check{N}\gamma A}; t_{\check{O}\check{N}\gamma A\check{a}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{O}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{Y}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma D\check{o}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{O}\check{z}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{A}\check{n}}). \quad (2)$$

В машинном агрегате из-за его многообразия типов за основу принята универсальная обобщенная схема, учитывающая четыре его компонента: энергетическую часть, передаточный ме-

очередь, состоят из отдельных элементов системы, которые находятся в сложном взаимодействии, отказ любого элемента отразится как на его надёжности, так и на технологической работоспособности всей системы в целом. В теории надёжности существуют два основных вида соединения элементов системы. Как показывает анализ, основные элементы системы трактора, с точки зрения его технологической работоспособности, имеют последовательное соединение, так как при этом соединении отказ какого-либо элемента влечёт за собой отказ всей системы. Поэтому, преобразовав выражение (1) с учётом последовательного соединения, гарантированный гамма-процентный ресурс t_γ трактора, при условии, что он не достигнет граничного состояния при его правильно организованном техническом сервисе $t_{TC\gamma}$, имеет следующий вид:

ханизм, рабочую машину и контрольно-управляющее устройство. Вся система машинного агрегата имеет последовательное соединение, кроме контрольно-управляющего устройства (рис. 3).

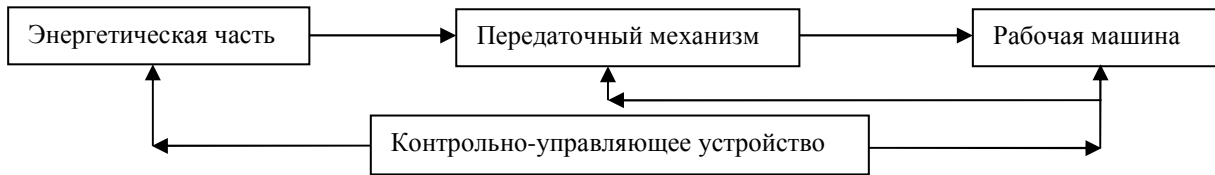


Рис. 3. Схема соединений элементов в системе машинного агрегата.

Имея в виду, что отказ контрольно-управляющего устройства не приведёт к отказу всей системы машинного агрегата, в определении выражения его гамма-процентного ресурса t_γ , при условии, что машинный агрегат не достиг-

$$\gamma_{iA} = 100 \times \prod_{i=1}^3 P(t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{Y}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{H}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma D\check{i}}) \times \left[1 - \prod_{i=2}^1 (1 - P(t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{E}\check{i}})) \right]. \quad (3)$$

Однако в отдельных случаях при не сложной системе в машинном агрегате в качестве энергетической части используется трактор. Такое сочетание привода к машинно-тракторному агрегату, наиболее часто используемое в сельскохозяйственном производстве.

$$\gamma_{i\check{O}\check{A}} = 100 \times \prod_{i=1}^7 P(t_{\check{O}\check{N}\gamma A}; t_{\check{O}\check{N}\gamma A\check{a}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{O}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{Y}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma D\check{o}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{O}\check{z}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{A}\check{n}}) \times \prod_{i=2}^3 P(t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{Y}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{H}}; t_{\check{O}\check{N}\gamma D\check{i}}) \times \left[1 - \prod_{i=3}^1 (1 - P(t_{\check{O}\check{N}\gamma \check{E}\check{i}})) \right]. \quad (4)$$

МТА, который проходит технический сервис в соответствии с требованиями нормативно-технической и технологической документации, должен обеспечивать гамма-процентный ресурс, предусмотренный соответствующей норматив-

нет граничного состояния при его правильно организованном техническом сервисе $t_{TC\gamma}$, учитываем элемент параллельного соединения.

В результате выражение примет следующий вид:

В результате обобщенный показатель гамма-процентного ресурса t_γ МТА, с предпосылкой, что он не достигнет граничного состояния при правильно организованном техническом сервисе $t_{TC\gamma}$, примет вид:

ной документацией.

Этот показатель обеспечивается надлежащим выполнением всех технологических операций и приёмов, которые выполняются в соответствии с маршрутными картами технического об-

служивания и операционными картами текущего ремонта. В зависимости от трудоёмкости и затрат запасных частей и материалов определяется себестоимость технического сервиса, а также модернизация сельскохозяйственной техники, которая должна соответствовать показателям не только надёжности трактора, но, в целом, и технологической работоспособности машинно-тракторного агрегата.

Выводы. Предложенная математическая модель взаимосвязи основных составных частей машинно-тракторного агрегата в процессе его технического сервиса, а также полученные зависимости параметров гамма-процентного ресурса t_γ как для трактора и машинного агрегата, так и для машинно-тракторного агрегата в целом позволяют определять и прогнозировать эти показатели при разработке нормативно-технологической документации на техническом обслуживании и текущем ремонте, а также устанавливать договорные взаимоотношения между производителями техники, сельскохозяйственными товаропроизводителями и исполнителями услуг

в сфере технического сервиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение безотказной работы тракторов / [В. М. Забродский, Г. Е. Топилин, С. Г. Стопалов, Е. Г. Тома]. – К. : Урожай, 1985. – 272 с.
2. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин у сільському господарстві / М. В. Молодик. – Кіровоград : КОД, 2009. – 180 с.
3. Технологія технічного обслуговування сільськогосподарської техніки : навчальний посібник / [Л. Ф. Бабицький, І. В. Соболевський, У. А. Абдулгасіс, В. Ю. Москалевич, В. О. Куклін]. – Сімферополь : ДІАЙПІ, 2011. – 447 с.
4. Технологія технічного обслуговування машин : навч. посіб. для студентів інжен. спец. зі спеціалізації «Технічний сервіс» на осв.-кваліф. рівні «Спеціаліст», «Магістр» / [І. М. Бендера, С. М. Грушецький, П. І. Роздорожнюк, Я. М. Михайлович]. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2010. – 320 с.
5. Плаксин А. М. Технический сервис в сельском хозяйстве : учеб. пособие / [А. М. Плаксин, Н. В. Костюченков, А. И. Козак] ; под ред. А. М. Плаксина. – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2011. – 200 с.

УДК 631.314

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОГО РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

У статті дано теоретичне обґрунтування оптимальних параметрів ротаційного робочого органу для поверхневого обробітку ґрунту.

Ключові слова: обробіток ґрунту, голчастий диск, зона розпушування, кількість голок, якість розпушування.

В статье дано теоретическое обоснование оптимальных параметров ротационного рабочего органа для поверхностной обработки почвы.

Ключевые слова: обработка почвы, игольчатый диск, зона рыхления, количество игл, качество рыхления.

In this paper we give a theoretical justification of optimal parameters of the rotary operating element for the surface treatment of the soil.

Key words: Soil needle drive loosening zone, the number of needles, the quality of loosening.

Постановка проблемы. В связи с возрастающей проблемой обеспечения энергоносителями в Украине экономия энергоресурсов является важнейшей задачей. Одним из путей сокращения энергозатрат и повышения качества поверхностной обработки почвы является совершенствование конструкций существующих рыхлительных рабочих органов.

Анализ литературы. Известны конструкции ротационных рабочих органов борон, состоящие из вращающегося на оси диска с иглками и закрепленными на их концах режущими элементами [1; 2]. Недостатками данных технических решений являются низкая эффективность

рыхления поверхностного слоя и невысокая надежность при использовании на засоренных камнями и растительными остатками почвах.

Повысить эффективность рыхления почвы, увеличить площадь зоны рыхления и повысить надежность рабочих органов можно за счет размещения на концах иглол долотообразных режущих элементов с односторонними выступами, выполненными по логарифмической кривой.

Цель статьи – разработка конструкции и теоретическое обоснование оптимальных параметров ротационного рыхлителя для поверхностной обработки почвы.

Изложение основного материала. Ротаци-

онный рыхлитель содержит диск 1, иголки 2 с рабочей частью переменной кривизны и рыхлители 3 (рис. 1). Иголки выполнены из прямоугольных упругих пластин и жестко крепятся к

диску при помощи болтового соединения. На концах иголок размещены долотообразные рабочие органы с односторонними выступами 3, выполненными по логарифмической кривой.

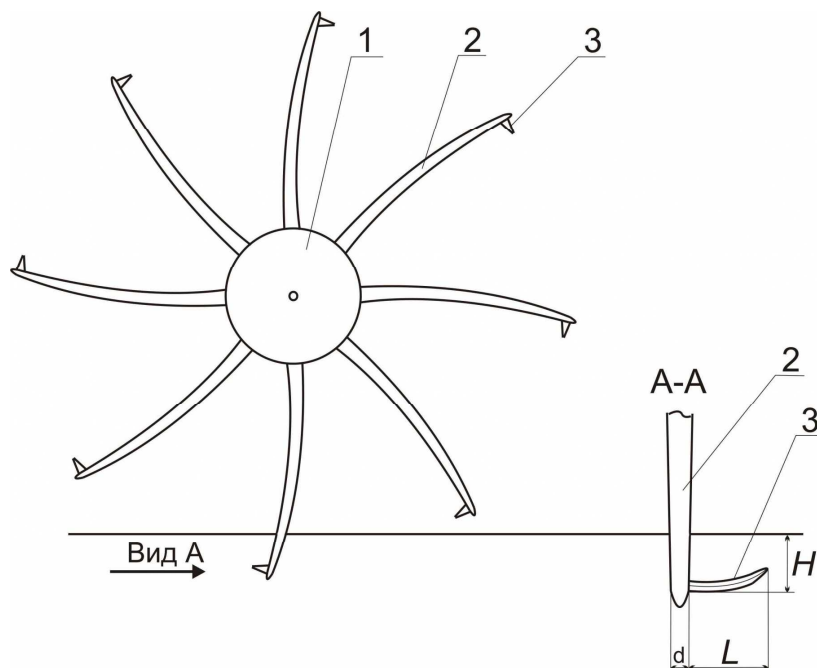


Рис. 1. Ротационный рыхлитель.

Работает предлагаемый ротационный рабочий орган следующим образом. При движении агрегата по полю ротационный орган перекачивается по поверхности почвы, при этом односторонние рыхлительные рабочие органы заглубляются в почву и производят ее рыхление по всей ширине захвата и частичное оборачивание за счет изогнутой формы. Надежность работы на каменистых почвах обеспечивают иголки 2, выполненные из прямоугольных упругих пластин, что позволяет им отклоняться при попадании камней.

Во время движения рыхлителя в почве на глубине h образуются боковые зоны рыхления S_1 и S_2 , изображенные на рис. 2, размеры которых равны [3]:

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{d}{2} + h \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \\ S_2 &= \frac{d}{2} + L + h \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где d – ширина зуба, м;
 L – длина режущего элемента, м;
 φ – угол внутреннего трения почвы.

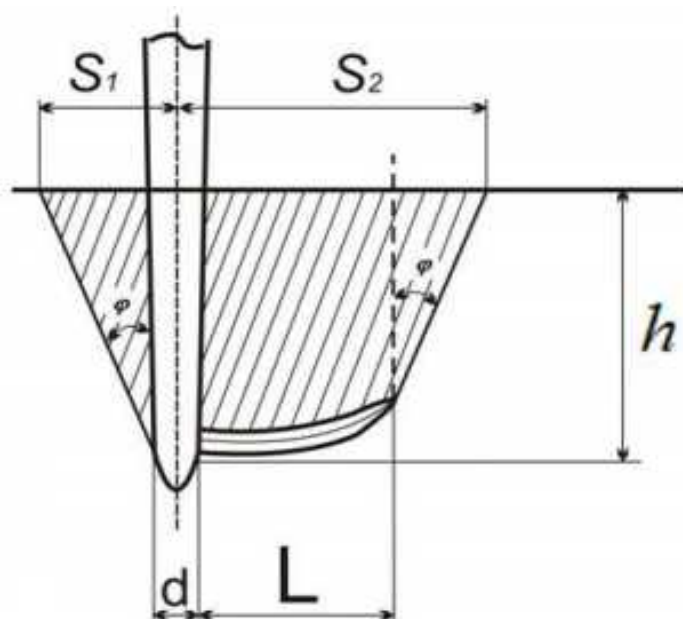


Рис. 2. Зоны рыхления почвы.

Для того чтобы обеспечить перекрытие расстояния между игольчатыми дисками, боковые зоны рыхления S должны быть равны сумме зон рыхления:

$$S = S_1 + S_2 = d + L + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (2)$$

В процессе работы игольчатого диска происходит периодическое внедрение игл с подрезающими лезвиями в почву. Крайняя точка иглы A , изображенная на рис. 3, движется по удлиненной циклоиде. Ширина петли циклоиды L_{π} будет равна длине участка рыхления одного зуба.

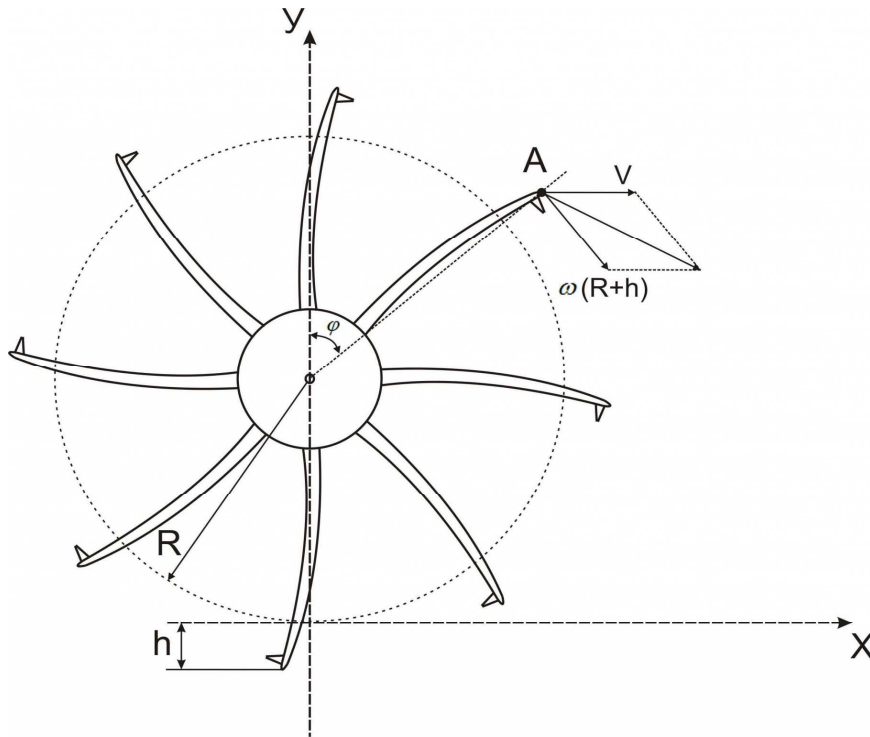


Рис. 3. Расчетная схема к обоснованию количества игл.

Условием качественного рыхления почвы будет обеспечение зон перекрытия, создаваемых соседними зубьями.

Запишем уравнения движения точки зуба A в зависимости от угла поворота диска φ [4]:

$$x(\varphi) = \varphi \cdot R + (R+h) \cdot \sin \varphi, \quad (3)$$

$$y(\varphi) = R + (R+h) \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

где R – радиус качения рабочего органа, м;
 h – глубина обработки, м.

В момент вхождения иглы в почву уравнение (4) примет вид: $y(\varphi_1) = R + (R+h) \cdot \cos \varphi_1 = 0$,

$$\text{откуда } \cos \varphi_1 = \frac{-R}{R+h}.$$

Подставляя полученное значение в уравнение (3), и учитывая, что $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$, получим значение координаты $x(\varphi_1)$, соответствующей внедрению иглы в почву:

$$x(\varphi_1) = R \cdot \arccos \left(\frac{-R}{R+h} \right) + (R+h) \cdot \sqrt{1 - \frac{R^2}{(R+h)^2}} = R \cdot \arccos \left(\frac{-R}{R+h} \right) + \sqrt{2Rh + h^2}. \quad (5)$$

В момент нахождения точки A в крайнем нижнем положении координата $x(\varphi_2) = \pi R$. Полуширина петли L_{π} удлиненной циклоиды будет равна разности этих координат:

$$\frac{L_{\pi}}{2} = x(\varphi_1) - x(\varphi_2). \quad (6)$$

Величина зоны рыхления почвы одной иглой будет равна ширине петли циклоиды:

$$L_{\pi} = 2 \cdot [x(\varphi_1) - x(\varphi_2)] = 2 \cdot \left[R \cdot \arccos \left(\frac{-R}{R+h} \right) + \sqrt{2Rh + h^2} - \pi \cdot R \right].$$

Из условия перекрытия зон рыхления за 1 оборот игольчатого диска $2 \cdot \pi \cdot R = N \cdot L_{\pi}$ определим необходимое количество игл N :

$$N = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{L_{\tau}} = \frac{\pi}{\arccos\left(\frac{-R}{R+h}\right) + \sqrt{2\frac{h}{R} + \left(\frac{h}{R}\right)^2} - \pi}. \quad (7)$$

Выводы. Теоретически обоснованы оптимальные параметры предложенного рабочего органа: расстояние между игольчатыми дисками S и количество игл N .

Использование ротационных игольчатых дисков с предложенными параметрами позволит улучшить качество поверхностной обработки почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. СССР А 01 В 23/02. Рабочий орган бороны / Л. Ф. Бабицкий, А. Л. Бабицкий. – № 1743392 ; заяв. 19.02.1990 ; опубл. 30.06.1992. – 4 с.
2. Пат. України А 01 В 21/04. Рабочий орган бороны / Бабицкий Л. Ф., Тарасенко В. І. ; заявитель и патентообладатель Крымский агротехнологический университет. – № 21470 ; заявл. 03.10.2006 ; опубл. 15.03.2007. Бюл. № 3.
3. Синеоков Г. Н. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.
4. Бабицкий Л. Ф. Обоснование рациональных параметров катка с повышенной степенью подвижности рабочих органов / Л. Ф. Бабицкий, В. А. Куклин // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 36. Технические науки. – Симферополь, 2012. – С. 86–88.