

## Литература

1. Об обращении с отходами [Электронный ресурс] : Закон Рэсп. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H10700271>. – Дата доступа: 12.10.2022.
2. Сведения о количестве образованных, использованных и захороненных твердых коммунальных отходах [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/kommunalnye-othody-ru/>. – Дата доступа: 12.10.2022.
3. Об объемах сбора вторичных материальных ресурсов и отходов товаров и упаковки, размерах расходования денежных средств, полученных от производителей и поставщиков в 2020 году: отчет/ Государственное учреждение «Оператор вторичных материальных ресурсов». – Минск, 2020. – 16 с.
4. Фотогалерея [Электронный ресурс] // Коммунальное производственное унитарное предприятие Брестский мусороперерабатывающий завод. – Режим доступа: <https://bmpz.by/o-predpriyatii/fotogalereya/>. – Дата доступа: 12.10.2022.
5. Бурмак, И.В. Снижение энергоемкости процессов механизации сбора и доставки твердых коммунальных отходов к месту их использования / И.В. Бурмак // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: Труды XXV Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 14 мая 2021 г. – М.: РУТ, 2021. – С.20-24.
6. Шилкина, С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России / С.В. Шилкина // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2020. – Т. 7, № 1.
7. Концепция создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 окт. 2019 г., № 715 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2019/october/41518/>. – Дата доступа: 12.10.2022.

УДК 631.342

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАЛКОВАТЕЛЯ ВЕТОК ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

А.Н. Юрин<sup>1)</sup>, А.В. Вавилов<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск, Беларусь, [anton-jurin@rambler.ru](mailto:anton-jurin@rambler.ru)

<sup>2)</sup> Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, [ftkcdm@bntu.by](mailto:ftkcdm@bntu.by)

Отрасль садоводства Беларуси не в полной мере удовлетворяет потребность населения в свежих плодах и ягодах. В республику ежегодно импортируется 250–500 тыс. т продукции плодовых и ягодных культур на сумму более 130 млн долларов США. В то же время плодородческая отрасль страны имеет потенциальные возможности для ее выращивания и увеличения объемов производства фруктов при высоком уровне окупаемости затрат и рентабельности отрасли. Основной фактор, сдерживающий развитие садоводства в республике, – это низкий уровень механизации трудоемких процессов возделывания плодово-ягодных культур, одним из которых является утилизация обрезанных веток. Выполненный анализ технологий и технических средств для данной операции показал, что наиболее рациональной является применение технологии утилизации продуктов обрезки путем валкования и измельчения их непосредственно в междурядье сада, мульчирования

древесными опилками поверхности почвы. Такие устройства в республике не производятся. Для обоснования параметров валкователя веток плодовых деревьев проведены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию его рабочей ширины захвата, определен диаметр положения щеток щеточного узла, равный 1,4 м. Анализом области технологического функционирования валкователя веток определено рациональное количество щеток на рабочем органе в количестве 4–6 шт., скорость его вращения – 0,38–0,73 м/с и динамический коэффициент –1,8–2,2. Графический анализ процесса перемещения веток щеточным узлом позволил установить рациональную длину упругих пальцев щетки – 0,78 м и их жесткость – 40,8 кН·мм<sup>2</sup>.

Полученные параметры и режимы работы валкователя веток были использованы при разработке комплекса уборки веток плодовых деревьев КУВ-1,8, который обеспечивает валкование и измельчение срезанных и уложенных в валок веток садовых деревьев и кустарников с разбрасыванием щепы на поверхности за один проход по ряду.

**Ключевые слова:** интенсивный сад, ветки деревьев, валкователь веток, щетка, рабочий орган, скорость вращения, динамический коэффициент, жесткость пальцев, траектория движения, усилие перемещения, ротор щетки, длина пальцев.

**Введение.** В 2004–2015 гг. в Беларуси в хозяйствах различных форм собственности в рамках государственных программ «Плодоводство» осуществлена посадка садов интенсивного типа на площади более 20 тыс. га<sup>1</sup>. В период 2016–2020 гг. садоводство республики развивалось и осуществлена закладка промышленных садов на площади 2,5 тыс. га<sup>2</sup>.

Несмотря на проведенную работу, самообеспеченность плодово-ягодной продукцией в стране составляет только 60–70 % от потребности<sup>3</sup>. Республика вынуждена закупать свежую плодово-ягодную продукцию из-за рубежа для удовлетворения внутреннего спроса. Ежегодно импортируется 250-500 тыс. т продукции плодовых и ягодных культур, произрастающих в стране (яблоки, груши, вишня, черешня и другие), на сумму более 130 млн долларов США [1-5].

Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года предусматривает увеличение производства отечественной плодово-ягодной продукции и доли отечественных свежих фруктов на потребительском рынке<sup>4</sup>.

Плодоводческая отрасль страны имеет потенциальные возможности для увеличения объемов производства фруктов при высоком уровне окупаемости затрат и рентабельности

---

<sup>1</sup>Государственная комплексная целевая программа развития картофеля, овощеводства, овощеводства и плодоводства в 2011 - 2015 годах / Утверждение Беларуси № 1926 Совета Министров. от 31 декабря 2010 г.

<sup>2</sup> Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы / Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 196 от 11.03. 2016 г.

<sup>3</sup>Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник [Сельское хозяйство Республики Беларусь] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск 2019. 235 с. ; Валовый сбор и урожайность фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск 2019. 14 с.

<sup>4</sup>Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. [Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года] / Подтверждена постановлением Совета Министров РБ № 962 от 15.12.2017 г.

отрасли. Однако низкий уровень механизации технологических процессов в садоводстве сдерживает рост их площадей возделывания и валового сбора, негативно сказывается на агротехнических сроках выполнения технологических операций по уходу за садами и уборке урожая, качестве производимой продукции, ее стоимости.

Важным агротехническим приемом по уходу за многолетними плодовыми насаждениями является обрезка деревьев, затраты на которую составляют 22–24 % всех трудозатрат на производство плодов. В зависимости от конструкции насаждений и их возраста объем срезаемых ветвей составляет 3–28 т/га [6-9]. Такие отходы требуют выполнения технологических операций по их утилизации. В настоящее время эти операции выполняются в основном вручную. Сучья собираются рабочими с погрузкой в транспортное средство, перемещающееся непосредственно по междурядью, вывозу их за пределы сада с последующим сжиганием. Удаление обрезанных веток из междурядий может осуществляться также посредством волокуш типа В-2,5М и СВ-1. Эти способы очень трудоемки и малопродуктивны. Кроме того, при погрузке и разгрузке возможно травмирование работников, а при свалаживании ветвей волокушами – повреждение насаждений, что приводит к ежегодным потерям урожая, достигающим 56–140 кг/га <sup>5</sup>.

Недостатком такой технологии является и нерациональное использование плодовой древесины. Более того, ее сжигание приводит к загрязнению окружающей среды: с каждой тонны сожженных веток в воздух выделяется 2–3 кг оксида углерода, 0,2 кг диоксида серы и других вредных веществ. Это оказывает токсичное действие на природную экосистему и здоровье человека. Кроме загрязнения окружающей среды происходит выжигание почвы. Как показывает практика, из сельскохозяйственного оборота изымается до 2 % плодородных земель [10-13].

Мировой и отечественный опыт показывают, что наиболее перспективной технологией утилизации плодовых веток является их измельчение в междурядии сада специальным агрегатом<sup>6</sup>. Однако существующие технические средства предусматривают двухкратный проход агрегата, так как ширина измельчителей меньше ширины междурядия. Это до 2 раз снижает производительность труда и повышает затраты на проведение технологической операции.

---

<sup>5</sup>Рекомендации по утилизации и использованию отработанной биомассы садов и ягодников в Республике Беларусь: науч. - практ. изд. [Рекомендации по утилизации и использованию отработанной биомассы садов и ягодных культур в Республике Беларусь] / РУП «Институт плодоводства; сост. : В.А. Самусь [и др.]. Самохваловичи, 2011. 24 с.

<sup>6</sup> Ланцев Ю.В. Совершенствование технологии утилизации отходов обрезки в слабослых садах с обоснованием параметров измельчителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Мичуринск, 2004. 23 с. ; Заммоев А.Ю. Параметры и режимы работы измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев // автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Нальчик, 2006. 24 с.; Медовник А.Н. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов ухода за плодовыми насаждениями интенсивного типа: дис. ... докт. техн. наук: 05.50.01. Нальчик, 2001. 317 с. ; Косилка-валкователь для установки на трактор RX300 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/fama/product-175225-49766.html> Дата доступа: 22.08.2020 ; Валкователь для виноградной лозы MAGIC Series [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/corbins-agricultural-technology/product-183374-64828.html> Дата доступа: 22.08.2020 ; Heavy duty flail pruning choppers - Series KG en KK [Electronic resource]: Mode of access: <https://vanwamel.nl/en/products/orchards-vineyards/pruning-choppers/134-kg-kk-heavy-duty-models> Date of access: 17.07.2020 ; Flail mowers and shredders – DRAGONE [Electronic resource]: Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/products/mower-flail-shredder-dragone-2/> Date of access: 17.07.2020.

Рациональным решением данной задачи является выполнение одним агрегатом (машинным комплексом) валкования обрезанных веток и их измельчение за один проход [14-17]. При этом если измельчители веток изучены достаточно хорошо<sup>7</sup> и параметры их обоснованы, то рациональные параметры валкователя веток до настоящего времени не обоснованы.

*Цель исследования* – повышение эффективности садоводства Республики Беларусь посредством внедрения технологии механизированной утилизации отходов обрезки деревьев в междурядьях сада за один проход. *Задачи исследования* – обоснование конструктивных и кинематических параметров рабочих органов валкователя веток, разработка его конструкции и проведение испытаний.

## Основная часть

**Обоснование диаметра рабочего органа валкователя.** Анализ конструкций подобных машин показал, что рациональным является исполнение валкователя обрезанных плодовых веток в междурядья сада в виде двух вертикальных щеток-роторов (оси вращения расположены вертикально), вращающихся на встречу друг другу<sup>8</sup>. Поэтому диаметр рабочего органа валкователя зависит от ширины междурядий сада.

По степени плотности посадки плодовых деревьев различают сады экстенсивные (до 400 деревьев на 1 га), полуинтенсивные (до 1000 деревьев на 1 га) и интенсивные (более 1000 деревьев на 1 га). Современные сады Беларуси относятся к интенсивным I и II типов.

Первый тип интенсивных садов характеризуется плотностью посадки деревьев в 1100-2200 шт/га со схемами посадки (4,0–4,5)×(1,0–2,0), второй тип – более 2200 деревьев на га со схемами посадки (3,0–4,5)×(0,5–1,0) [18-19].

Ширина междурядий современных садов в республике составляет 3,0–4,5 м.

Тогда, диаметр рабочего органа валкователя должен быть (рис. 1):

$$D_b = \frac{b_m - b_u}{2},$$

где  $b_m$  – ширина междурядий сада, м;  $b_u$  – ширина захвата измельчителя, м.

Ширина измельчителя зависит от мощности энергетического средства, которым он приводит в рабочее состояние. Экспериментальным путем установлено, что для садовых тракторов «Беларус-921» и наиболее распространенного в республике трактора МТЗ-80, чаще других используемого в садоводстве, рабочая ширина измельчителя составляет  $b_u=1,7-1,9$  м. Таким образом, для садов интенсивного типа диаметр рабочего органа валкователя должен составлять  $D_b=0,55-1,4$  м.

При проектировании рабочего органа необходимо выбрать наибольшее значение его диаметра, что обеспечит выполнение технологического процесса сгребания веток при ширине междурядий 4,5 м. Поэтому принимаем  $D_b = 1,4$  м.

---

<sup>7</sup>Model RX300 - RX150 - Vine Running Windrowers. [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.agriculture-xprt.com/products/model-rx300-rx150-vine-running-windrowers-530701> Date of access: 17.07.2020 ; Barredoras ramas poda/ Elite fruit [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.tallerescorbins.com/es/productos/barredoras-ramas-poda/elite-fruit> Date of access: 17.07.2020 ; Vine rake Ponzio [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.agriexpo.ru/prod/ponzo/product-170718-25109.html> Date of access: 17.07.2020.

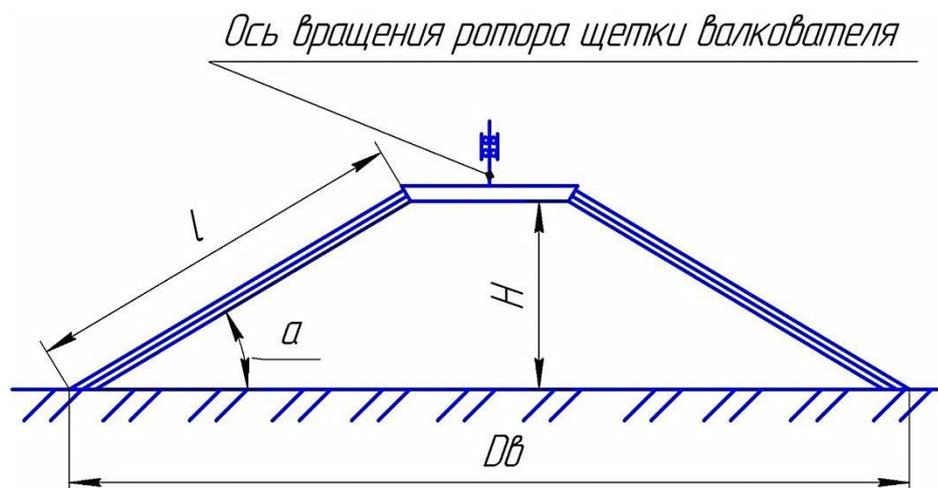


Рис. 1. Схема рабочего органа валкователя плодовых веток:  
 $D_b$  – диаметр рабочего органа;  $l$  – длина пальцев щетки;  $\alpha$  – угол установки пальцев щетки к горизонту;  $H$  – высота ротора над поверхностью почвы

**Определение скорости вращения рабочего органа валкователя и количества в нем щеток.** Щетки рабочего органа валкователя должны равномерно располагаться по периметру круга (ротора), описываемого им при вращении, и осуществлять одновременно вращательное движение вокруг оси ротора и поступательное – вместе с машиной.

Траектория движения свободного конца щетки при этом образует трохоиду и описывается уравнениями (рис. 2)

$$\begin{aligned} X &= V_M t + R \cos \omega t, \\ Y &= L_p - R \sin \omega t, \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$X = \frac{\omega t}{\lambda} t + R \cos \omega t.$$

Выражение (1) представляет собой уравнение траектории, описываемой точкой А щетки валкователя. В зависимости от поступательной скорости машины  $V_M$  и относительной скорости вращения щетки  $U = \omega t$  вид траектории может изменяться. Очевидно, что щетка валкователя только в тех случаях будет иметь возможность сгрести ветки, если динамический коэффициент  $\lambda > 1$ , или  $U > V_M$ .

То есть, чтобы перемещать ветки в центр междурядья, щетка должна двигаться навстречу им. Следовательно, горизонтальная составляющая  $V_H$  скорости ее должна иметь направление в сторону, обратную движению машины:

$$V_x = \frac{dx}{dt} > 0.$$

Взяв производную от уравнения (1), получим

$$V_x = V_M - R\omega \sin \omega t < 0.$$

Отсюда, учитывая, что  $U = R\omega$ ,

$$V_M < U \sin \omega t = U \sin \varphi.$$

Угол  $\varphi$  имеет рабочие пределы 0 и  $\pi$ . Следовательно, наибольшее значение  $\sin \varphi = +1$  при  $\varphi = \pi/2$ . Поэтому, чтобы щётка сгребала ветки, повернувшись на угол  $\pi/2$  от начального положения, необходимо выполнение следующего условия:

$$V_M < U \text{ или } \lambda > 1.$$

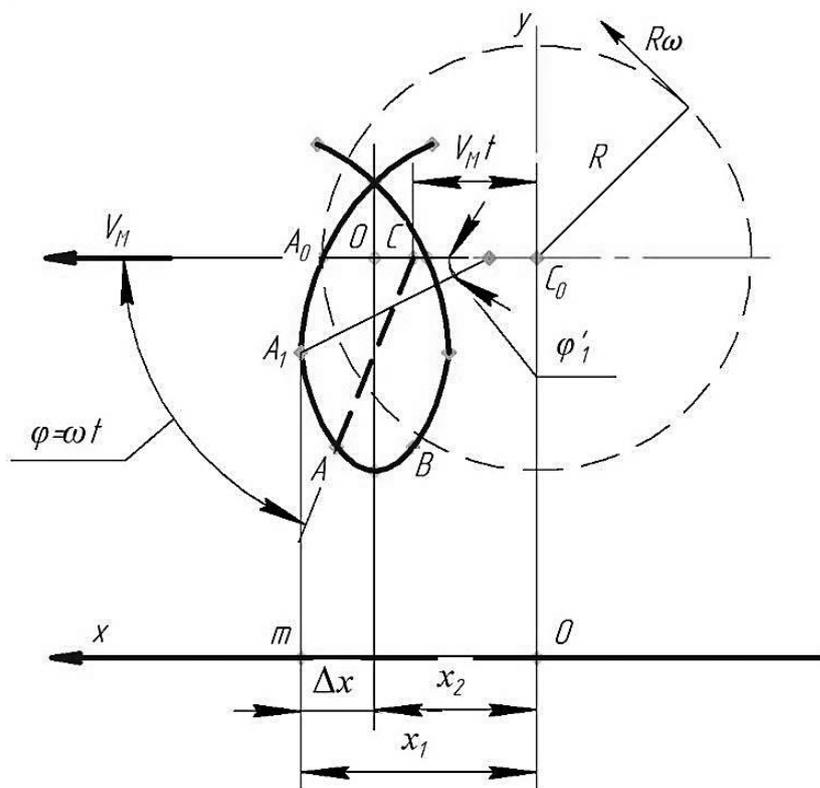


Рис. 2. Траектория движения свободного конца щётки (точки  $A$ ) за один оборот рабочего органа:  $\varphi, \varphi_1$  – углы между направлением перемещения и пальцем щетки валкователя в разные моменты времени;  $A, A_0, A_1, B$  – точки траектории конца щетки рабочего органа валкователя, описываемой ею при движении

В этом случае  $V_x$  имеет наибольшую величину

$$V_x = V_M - U.$$

Если условие  $\lambda > 1$  выполнено, то при некотором угле поворота  $\varphi_1 = \omega t_1$  скорость  $V_x$  может снизиться для 0. Этот угол определяется из равенства

$$V_x = V_M - U \sin \varphi_1 = 0, \\ \sin \varphi_1 = \frac{1}{\lambda},$$

откуда

$$\varphi_1 = \omega t_1 = \arcsin \frac{V_M}{U} = \arcsin \frac{1}{\lambda}.$$

Таким образом, при  $\lambda = \frac{V_M}{U} > 1$  щётка валкователя может осуществлять сгребание веток.

Если рабочий орган валкователя выполнен из  $z$  щёток, вращающихся с угловой скоростью  $\omega$ , и перемещается с поступательной скоростью  $V_M$ , то в течение времени  $T =$

$2\pi/\omega$  его полного оборота последовательно на ветки будут действовать все  $z$  щёток (рис. 3).

Отрезок времени  $t_z = \frac{T}{z}$  – время воздействия на ветки каждой отдельной щетки. Отсчитывая это время с момента начала взаимодействия с веткой до момента, когда следующая щетка начнет взаимодействие с ветками, получим

$$t_z = \frac{2\pi}{z\omega} = \frac{\varphi'_1 - \varphi_1}{\omega}.$$

Отсюда

$$\varphi'_1 = \varphi_1 + \frac{2\pi}{z}.$$

Машина, а вместе с ней и щетка за время  $t_z$  переместится на расстояние

$$X_z = V_M t_z = \frac{2\pi}{z\omega} \cdot V_M.$$

Тогда, учитывая, что  $V_M = \frac{\omega \cdot R}{\lambda}$ , получим

$$X_z = \frac{2\pi R}{z\lambda}. \quad (2)$$

Примем  $X_z$  шагом щётки. Выражение (2) показывает, что шаг щетки прямо пропорционален радиусу  $R$  и обратно пропорционален числу щеток и показателю  $\lambda$ .

На рис. 3 отмечен шаг щеток расстояниями между точками  $A_1$ , в которых щетки последовательно взаимодействуют с ветками. Это же расстояние сохраняется между точками  $A_0$ , в которых щетки приходят на уровень горизонтального диаметра рабочего органа валкователя, или между нижними точками  $B$  петель трохоиды.

Если количество щеток равно  $z$ , то за один оборот ротора все щетки будут взаимодействовать с ветками. Следовательно, будет  $z$  траекторий их движения, а временной интервал между ними  $\Delta t$  составит

$$\Delta t = \frac{t_{об}}{z}.$$

Таким образом, каждая следующая щетка будет вступать во взаимодействие с ветками через  $\Delta t$  времени после предыдущей:

$$\Delta t = \frac{2\pi}{\omega z}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 + \Delta t, \\ t_3 &= t_2 + \Delta t = t_1 + 2\Delta t, \\ t_4 &= t_3 + \Delta t = t_1 + 3\Delta t, \\ t_5 &= t_4 + \Delta t = t_1 + 4\Delta t \text{ и т. д.} \end{aligned}$$

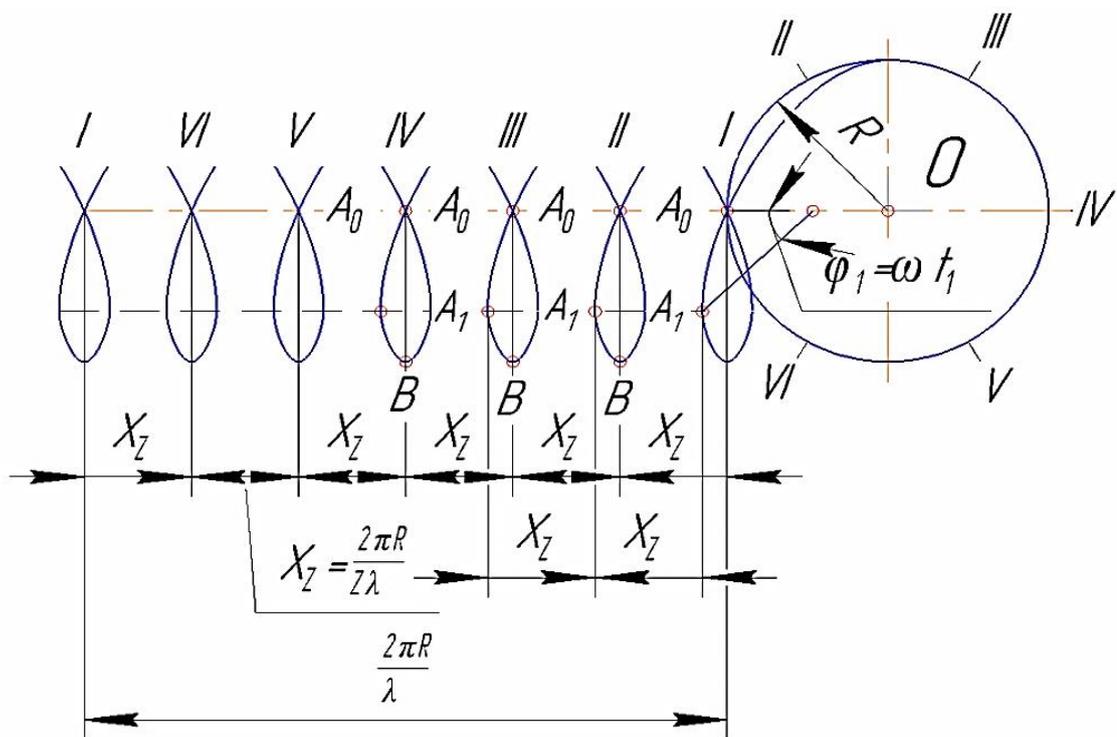


Рис. 3. Траектория движения концов щёток рабочего органа

Наложение траекторий движения щёток ротора валкователя представлено на рис. 4.[14, 15, 17, 20]

Экспериментальным путем установлено, что размер срезаемых веток варьируется от 0,3 до 1,5 м. На рис. 4 видно, что для обеспечения полного сгребания веток необходимо, чтобы размеры  $A, B, C, D, E, F, G, H, I$  и  $K$  не превышали минимального значения длины веток, т. е. 0,3 м.

При этом расстояние  $B = D = F = H = K$  и составляет

$$S_x = \frac{S_0}{z} = \frac{2\pi}{z\lambda} R.$$

То есть

$$B = 0,3 \leq S_x = \frac{2\pi}{z\lambda} R.$$

Таким образом,

$$\lambda = \frac{2\pi}{zS_x} R.$$

Если  $S_x = 0,3$  м, то

$$\lambda = \frac{2\pi}{0,3z} R.$$

Из рисунка 4 очевидно, что величины  $D, E, G, I$  меньше  $B, D, F, H, K$ .

Наибольшее значение имеет величина  $A$  при работе валкователя, когда траектории щёток не пересекаются, или когда  $2\Delta x \leq S_x$ .

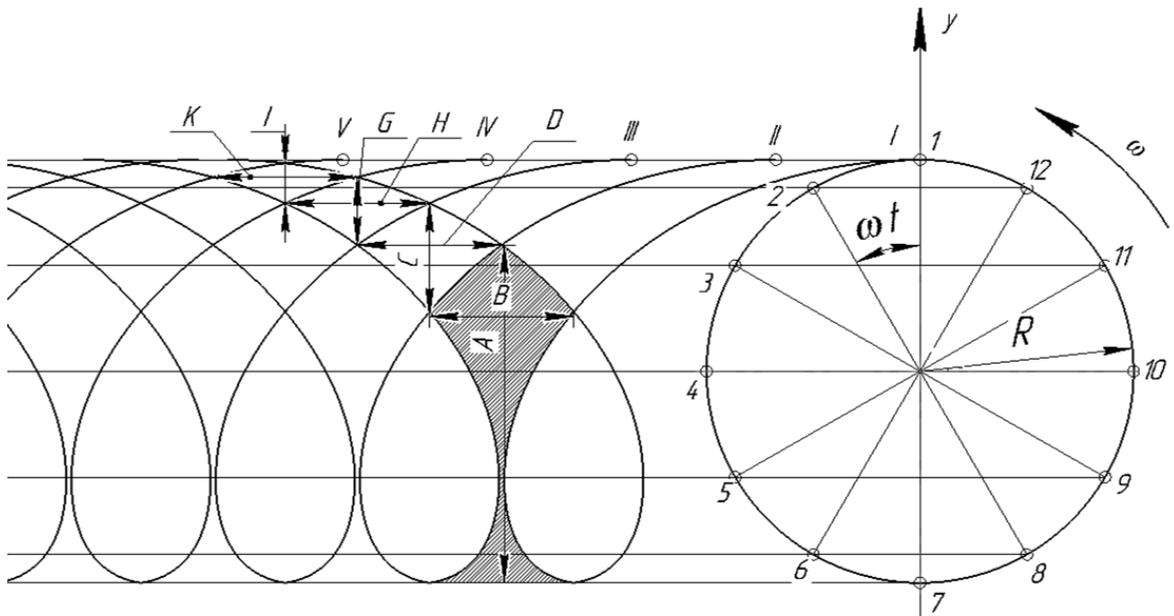


Рис. 4. Схема к определению динамического коэффициента  $\lambda$  при работе щеток валкователя

Следовательно,

$$2 \frac{R}{\lambda} \left( \varphi_1 + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \frac{\pi}{2} \right) \leq \frac{2\pi}{z\lambda} R,$$

или

$$X_5 - X_9 = S_x.$$

Здесь

$$X_5 = R \sin \omega t_5 + \frac{\omega R}{\lambda} t_5,$$

$$X_9 = R \sin \omega t_9 + \frac{\omega R}{\lambda} t_9.$$

Преобразовав полученные выражения, получим

$$\lambda = \frac{2\pi R - z(\omega R t_5 - \omega R t_9)}{Rz(\sin \omega t_5 - \sin \omega t_9)}.$$

Графическое отображение этого выражения представлено на рис. 5. Зависимость имеет характер степенной функции.

При малом количестве щеток коэффициент  $\lambda = 3-5$ , что значительно увеличивает затраты энергии на выполнение технологического процесса. Наиболее рациональным является количество щеток на роторе  $z = 4-6$ , при этом коэффициент  $\lambda = 1,8-2,2$ .

При дальнейшем увеличении количества щеток, при условии полного сгребания веток, динамический коэффициент снижается незначительно, а металлоёмкость конструкции сильно возрастает. Экспериментально установлено, что полное измельчение ветвей происходит при скорости движения агрегата по междурядью  $V_m = 0,9-1,2$  км/ч (0,25-0,33 м/с), поэтому рабочая скорость щетки ротора валкователя должна составлять  $U = 0,38-0,73$  м/с.

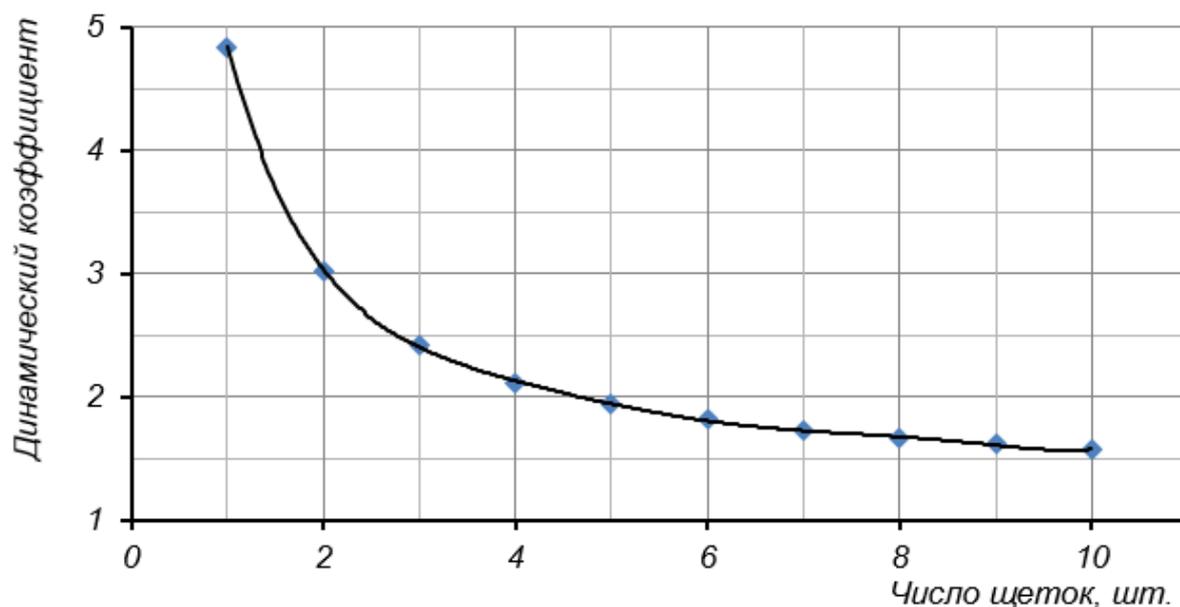


Рис. 5. Зависимость динамического коэффициента  $\lambda$  от количества щеток  $z$

**Обоснование жесткости и длины пальцев щеток.** Жесткость пальцев щетки валкователя определяется из условия максимального изгиба ее пальцев, когда они касаются ветки параллельно поверхности почвы. В этом случае усилие прижатия ветки пальцем не должно превышать допустимого значения  $P_{\text{доп}}$ .

Расчет пальца на изгиб проведем из условия неизменности его длины. Предположим, что при максимальном изгибе палец принимает форму четверти окружности (рис. 6). Тогда длина пальца, как четверть дуги окружности, определяется следующим выражением:

$$l_{\text{в}} = R_{\text{изг}} \frac{\pi}{2}.$$

Откуда

$$R_{\text{изг}} = \frac{2l_{\text{в}}}{\pi}, \quad (3)$$

где  $R_{\text{изг}}$  – радиус изгиба пальца.

Прогиб пальца в начале изгиба, согласно работе [19],

$$X_{\text{а.н.}} = \frac{Pl}{3EJ}, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости материала пальца;

$J$  – момент инерции поперечного сечения пальца;

$P$  – восстанавливающая сила упругости пальца.

Так как процесс изгиба подчиняется закону Гука, то формула (4) справедлива и для конечного перемещения пальца щетки.

Учитывая, что

$$X_{\text{а.к.}} = R_{\text{изг}} = \frac{2l_{\text{в}}}{\pi}, \quad (5)$$

для конечного перемещения пальца получим следующее выражение:

$$\frac{2l_B}{\pi} = \frac{Pl}{3EJ}. \quad (6)$$

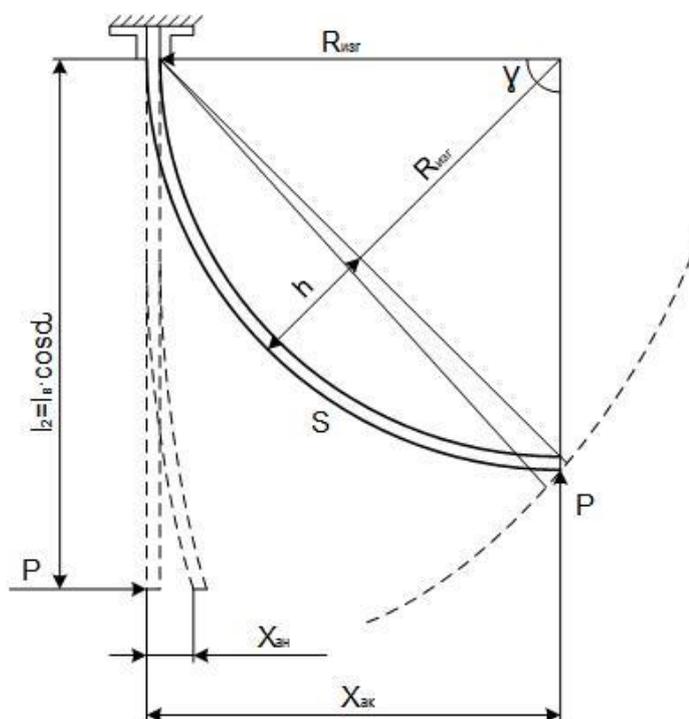


Рис. 6. Схема к обоснованию жесткости пальца щетки валкователя

Уравнение (6) позволяет получить значение обобщенного показателя жесткости пальцев

$$EJ = \frac{P\pi l_B^2}{\sigma}. \quad (7)$$

Из этого уравнения следует, что жесткость пальцев зависит как от материала, так и от их длины.

Из рисунка 6 следует, что полная длина пальцев определяется следующим выражением

$$l_2 = \frac{D}{2} \cos \alpha.$$

При этом  $l_2 = 2R_{изг} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$  и равна также длине дуги  $S$ , образуемой пальцами щетки валкователя

$$S = \frac{\pi R_{изг} \gamma}{180}. \quad (8)$$

При  $\gamma = 90^\circ$  (крайнее значение)

$$S = \frac{\pi R_{изг}}{2}. \quad (9)$$

Преобразовав выражение (9), получим

$$R_{изг} = \frac{l_2}{2 \sin 45} = \frac{D \cos \alpha}{4 \sin \frac{\gamma}{2}}. \quad (10)$$

Тогда

$$S = \frac{\pi D \cos \alpha}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} = 0,67 \text{ м.}$$

Так как  $S = l_2$  и  $l_2 = l_b \cos \alpha$ , то

$$l_2 = \frac{\pi D \cos \alpha}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} = 0,78 \text{ м.}$$

При такой длине пальцев обобщенный показатель их жесткости будет равен

$$EJ = 0,32 P.$$

Экспериментальным путем установлено, что усилие, необходимое для перемещения отдельных веток диаметром до 70 мм, может составлять до 100 Н. Тогда обобщенный показатель жесткости пальцев щетки составит 40,8 кН·мм<sup>2</sup>.

**Практические исследования.** На основании полученных результатов исследований в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан комплекс уборки обрезанных веток плодовых деревьев КУВ-1,8. Комплекс предназначен для одновременного валкования и измельчения срезанных веток плодовых деревьев и кустарников и уложенных в междурядье с разбрасыванием щепы на поверхности. Он состоит из следующих основных машин (рис. 7): валкователя и измельчителя [2, 4].



*a*

*b*

Рис. 7. Комплекс уборки веток плодовых деревьев КУВ-1,8:

*a* – валкователь веток; *b* – измельчитель веток.

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2015 г.

Измельчитель веток навешивается на заднюю навеску трактора и состоит из рамы с навесным устройством, горизонтального ротора с молотками, вала карданного, редуктора, ременного привода и опорного катка. Ротор имеет 12 измельчающих молотков, подвешенных шарнирно.

Валкователь веток монтируется в передней части трактора на полураму и состоит из навесного устройства, двух поводков, двух щеточных узлов (вертикальных роторов) с опорными колесами, гидросистемы и механизма регулировки ширины захвата.

Приемочными испытаниями, проведенными ГУ «Белорусская МИС» в 2013-2014 гг., установлено, что комплекс КУВ-1,8 в полной мере соответствует требованиям технического задания и ТКП<sup>9</sup>.

Годовой приведенный экономический эффект от его применения на уборке веток составляет 3950,39 руб. (при ширине междурядий 4,0 м – 5320,78 руб.), а срок окупаемости – 5,1 года (3,6 года), что свидетельствует о высокой эффективности разработанного комплекса.

С 2017 г. на ОАО «Пинский винодельческий завод» осуществляется отработка технологии валкования и измельчения лозы винограда и веток плодовых деревьев.

Анализ результатов внедрения технологии показал, что на площадях, где проводилась утилизация древесных отходов с применением комплекса КУВ-1,8, урожайность винограда выросла на 15 %, а яблок – на 18 %. При этом снижение затрат труда составило 110 и 135 чел.-ч/га соответственно по сравнению с ручным трудом по удалению обрезанных плодовых веток из сада.

### Выводы

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема комплекса для утилизации обрезанных плодовых веток в белорусских интенсивных садах, включающего энергетическое средство с навешенными на нем спереди валкователем веток и сзади – их измельчителем.

2. Проведены теоретические исследования по обоснованию рабочей ширины захвата валкователя веток по агротехническим и технологическим требованиям, производительности и определен диаметр щетки-ротора, равным 1,4 м.

3. Кинематико-энергетическим анализом области технологического функционирования валкователя установлено рациональное количество щеток на роторе  $z = 4-6$  и скорость их вращения  $U = 0,38-0,73$  м/с и динамический коэффициент  $\lambda = 1,8-2,2$ .

4. Графический анализ процесса перемещения веток щеточным узлом (ротором) позволил определить рациональную длину пальцев щетки равной 0,78 м и их жесткость  $40,8$  кН · мм<sup>2</sup>.

5. Приемочными испытаниями установлен годовой приведенный экономический эффект от применения разработанного образца комплекса уборки веток КУВ-1,8 в 3950,39 руб. (при ширине междурядий 4 м – 5320,78 руб.), а срок окупаемости – 5,1 года (3,6 года).

6. Эксплуатация комплекса в производственных условиях ОАО Пинский винодельческий завод» показала, что его применение позволяет повысить урожайность винограда на 15 %, а яблок – на 18 %. Это свидетельствует о высокой эффективности применения комплекса КУВ-1,8 для проведения технологической операции утилизации обрезанных плодовых веток непосредственно в садах.

### Литература

1. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Я.П. Лобачевский, И.Г.

---

<sup>9</sup>Протокол приемочных испытаний комплекса уборки веток КУВ-1,8 № 043 Б 1 / 8-2015ИЦ от 22 мая 2015 года [Протокол приемочных испытаний комплекса очистки филиалов КУВ-1.8 №043 Б 1 / 8-2015ИЦ от мая 22, 2015] / ГУ «Белорусская МИС», с. Привольный 2013 67 с.

- Смирнов, А.Н. Юрин, Д.О. Хорт, Р.А. Филиппов, Н.Н. Романюк / Техника и оборудование для села. – 2016. - № 10 (232). – С.16-20.
2. Обоснование конструктивно-технологической схемы комплекса уборки веток и ширины захвата валкователя / А. Н. Юрин [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : Материалы международной научно-практической конференции (Минск, 24-25 октября 2019 г.) : в 2 ч. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Учреждение образования "Белорусский государственный аграрный технический университет", Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований. - Минск : БГАТУ, 2019. - ч. 1. - с. 74-76
3. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В.Ю. Агеев [и др.] ; ред.: В. Г. Гусаков [и др.] ; рец.: Л. С. Герасимович, Г. И. Гануш, И. Н. Брыло ; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. - Минск : Беларуская навука, 2020. - 682 с.
4. Юрин А.Н. Результаты испытаний комплекса уборки веток плодовых деревьев КУВ-1,8 в природно-климатических условиях Республики Беларусь // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства". - Минск, 2015.
5. Основные тенденции развития садоводства в Беларуси / Юрин А.Н. / Наука и инновации. – 2016. - № 2 – С.62-64.
6. Медовник, А. Н. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов ухода за плодовыми насаждениями интенсивного типа: дис. ... докт. техн. наук: 05.50.01 / А. Н. Медовник. - Нальчик, 2001. - 317 с.
7. Беренштейн И.Б. Машины для обрезки кроны плодовых деревьев, сбора чурпы и измельчения срезанных веток // Система садоводства республики Крым. / Копылов В.И., Балыкина Е.Б., Беренштейн И.Б., Бурлак В.А., Валеева Н.Г., Корниенко Н.Я., Опанасенко Н.Е., Потанин Д.В., Пичугин А.М., Рябов В.А., Скляр С.И., Сторчоус В.Н., Стрюкова Н.М., Сычевский М.Е.; ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени в. И. Вернадского», Академия биоресурсов и природопользования. Симферополь, 2016. С. 255-258.
8. Исследование физико-механических свойств ветвей плодового дерева / Земляной А.А., Завражнов А.И., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю. // Вестник мичуринского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 139-147.
9. Алышов И.Г. Обоснование выбора конструкции подборщика обрезков ветвей фундука // Аграрная наука. 2014. № 12. с. 28-29.
10. Машины для формирования крон и уборки урожая плодовых культур / Г. П. Варламов: [и др.]. - М.:Машиностроение, 1975 - 206 с.
11. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / В. Ф. Воробьев: [и др.]; ФГБНУ «Росинформагротех»; под общ. красной. М. И. Куликова – М., 2012. - 164 с.
12. Древесные отходы садоводства и технологии их утилизации / Апхудов Т.М., Шекихачева Л.З. // Человек и современный мир. 2019. № 1 (26). с. 163-169.
13. О проблеме уборки обрезанных веток плодовых деревьев в республике Беларусь и пути ее решения / Синяк С.О., Юрин А.Н. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. Минск, 2012. с. 212-215.
14. Заммоев А.У. Параметры и режимы работы измельчительного устройства подборщика-измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кабардино-балкарская государственная сельскохозяйственная академия. Нальчик, 2006
15. Апхудов Т.М. Обоснование конструктивных параметров двухвалкового роторного измельчителя срезанных ветвей // Известия кабардино-балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 2 (28). с. 106-110.

16. Математическое моделирование процесса измельчения плодовых ветвей роторным измельчителем / Апхудов Т.М., Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. // Техника и оборудование для села. 2019. № 9 (267). с. 21-24.

17. Классификация режущих аппаратов машин для обрезки плодовых деревьев / Балкаров Р.А., Шекихачева Л.З. // Инновации в современной науке. Материалы международной (заочной) научно-практической конференции. под общей редакцией А. И. Вострецова. 2017. с. 46-49.

18. Интенсивные технологии в садоводстве / Пер с польск. Н.А. Чупеева. – М.: Агропромиздат, 1990. – 300с.

19. Легоев, В. Б. Совершенствование технологии и технических средств для механизации подбора яблок с земли в садах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. Б. Легоев. – Саратов, 1984. - 23 с.

20. Размерные характеристики срезанных ветвей плодовых деревьев / Апхудов Т.М., Шекихачева Л.З. // Фундаментальные науки и современность. 2019. № 1 (22). с. 19-23.

УДК: 625.084

## **ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАНАТНО-БЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ**

А.В. Конопацкий, А.А. Шавель  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, [ftkcdm@bntu.by](mailto:ftkcdm@bntu.by)

В статье рассматриваются типы дождевальных установок и агрегатов, их принцип действия, анализируются преимущества и недостатки аналогов, обосновываются основные параметры предлагаемой дождевальной установки.

**Ключевые слова:** дождевальная установка, дождевальный агрегат, дождевание, канатно-блочная система.

Территория Республики Беларусь относится к зоне неустойчивого увлажнения, поэтому здесь необходимо применять, наряду с осушительными и оросительными мелиорациями. Достаточный уровень влаги — это важнейший критерий, от которого напрямую зависит урожайность всех без исключения сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территории Беларуси [1]. Суммируя все вышесказанное предлагается создать эффективную высокопроизводительную мобильную дождевальную установку с использованием канатно-блочной системы.

Актуальными в настоящее время являются вопросы расширения области применения дождевальных установок, модернизация существующих, также внедрение новых решений, направленных на повышение производительности, точности выполнения работ, увеличения коэффициента использования полезной площади, уменьшения металлоемкости, применения современных систем, направленных на уменьшение потребления рабочей жидкости.

На рисунке 1 показан штанговый опрыскиватель [2]. Штанга опрыскивателя включает в себя навесное устройство 1, металлические секции: центральную, выполненную в виде плоской фермы 2, навешенной шарнирно к задней части навесного устройства посредством двух соединительных срезг 3, образующих маятниковую подвеску штанги, две средние 4 и две крайние 5 секции, выполненные в виде несущих балок 6, усиленных в вертикальной плоскости шпренгельными растяжками 7, жесткость крепления которых задается талрепами 8.