

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.352.93-52

DOI 10.26897/1728-7936-2018-5-63-69

**АНАШИН ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ**, инженер

E-mail: da-na21@yandex.ru

**АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: s.andreev@aol.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550,  
ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГАЗОНОКОСИЛОК

Приведены описание и основные технические характеристики экспериментальной роботизированной газонокосилки, предназначенной для кошения растительности на небольших территориях. Все функции управления газонокосилкой, включая выбор траектории движения, изменение высоты среза и реагирование на аварийную ситуацию, осуществляются бортовым процессором. Текущая информация о режимах работы косилки, а также о ее расположении передается на пульт. С этого же пульта возможна ручная корректировка режимов работы или подача приоритетных команд. Газонокосилка приводится в движение двумя электродвигателями, а кошение осуществляется безопорным способом. Проанализированы характер и особенности потребления энергии электрифицированными устройствами газонокосилки: электродвигателем привода режущего рабочего органа, тяговыми электродвигателями, процессором, исполнительными механизмами и приемно-передающими средствами связи. Суммарная мощность энергопотребителей экспериментальной роботизированной газонокосилки при скорости ее поступательного движения 0,3 м/с и радиусе режущих рабочих органов 0,125 м составляет 620 Вт. Установлено, что энергопотребление экспериментальной роботизированной газонокосилки в порядке уменьшения значимости определяют следующие потребители: электродвигатель режущих органов – 80,6%, тяговые двигатели – 10,4%, бортовой процессор – 4,8%, исполнительные механизмы – 2,9%, средства радиосвязи – 1,3%. По мере увеличения радиуса режущего органа газонокосилки доля мощностей бортового процессора, исполнительных механизмов и приемно-передающих средств связи экспоненциально уменьшается. Рассчитана емкость никель-кадмиевого аккумулятора. Сделан вывод о целесообразности использования аккумуляторов, обеспечивающих непрерывное питание электрифицированных устройств газонокосилки в течение 20-30 минут.

**Ключевые слова:** роботизированная газонокосилка, безопорное кошение, энергозатраты, потребляемая мощность, аккумулятирование электрической энергии.

**Введение.** Наряду с развитием полноразмерной сельскохозяйственной техники в последние годы заметен существенный рост парка малых машин, предназначенных для эксплуатации на ограниченных территориях: в садах, парках, скверах и т.д. [1, 2]. Среди них особым спросом пользуются машины, применяемые в частных хозяйствах: мобильные агрегаты для полива и защиты растений, обрезки кустарников, а также кошения травы на газонах.

Ежегодно парк газонокосилок пополняется новыми моделями, обладающими улучшенными эксплуатационными характеристиками [3, 4]. Постоянно совершенствуются рабочие органы, видоизменяются устройства для сбора скошенной травы,

разрабатываются новые приемы по повышению безопасности работы и т.д. [5, 6].

Существенный резерв повышения эффективности газонокосилок заключается в совершенствовании принципов управления, максимальной автоматизации и исключении участия человека в совершении монотонных операций. При этом наибольшие ожидания связываются с разработкой самоходных роботизированных конструкций, дистанционно управляемых с помощью устройств беспроводной связи или посредством локальных управляющих устройств с элементами искусственного интеллекта [7].

На фоне ужесточающихся экологических требований к средствам малой механизации наблюдается постепенный отказ от двигателей внутреннего

сгорания в пользу электроприводов. Современные электротяговые системы с автономным питанием пока уступают традиционным тепловым двигателям по продолжительности непрерывной работы и по массе на единицу мощности. Поэтому энергетические характеристики проектируемых роботизированных газонокосилок весьма важны.

**Цель работы** – оценка энергопотребления роботизированных газонокосилок и выявление соотношения между их массогабаритными параметрами и энергетическими характеристиками.

**Материал и методы.** Проводились исследования с использованием информации о современных газонокосилках, а также сведений из теории кошения и энергетики поступательного движения колесной техники.

Результаты теоретических рассуждений были подтверждены экспериментальными исследованиями, проведенными на опытном образце роботизированной газонокосилки с диаметром рабочего органа 250 мм.

**Результаты и обсуждение.** Экспериментальная газонокосилка представляет собой малогабаритный самоходный агрегат, приводимый в движение двумя шаговыми электродвигателями постоянного тока (рис. 1). Изменение траектории движения газонокосилки достигается варьированием крутящего момента, подводимого к ведущим колесам. Для обеспечения устойчивости косилка снабжена пассивным опорным колесом. В экспериментальной газонокосилке принят безопорный принцип резания посредством роторного рабочего органа с двумя лезвиями. Экспериментальная газонокосилка не содержит травосборник: при ее эксплуатации скашиваемая растительность измельчается и выбрасывается в направлении, перпендикулярном направлению движения агрегата. Управление работой газонокосилки осуществляется без непосредственного участия оператора. При этом искусственный интеллект, реализуемый бортовым процессором, формирует траекторию движения газонокосилки, принимает решения по преодолению или объезду препятствий, а также выбирает наиболее эффективный режим кошения. Информация об основных режимах работы косилки, а также команды по их коррекции в ручном или полуавтоматическом режимах передаются на пульт по радиоканалу. Питание электропотребителей косилки осуществляется автономно, от аккумуляторной батареи.

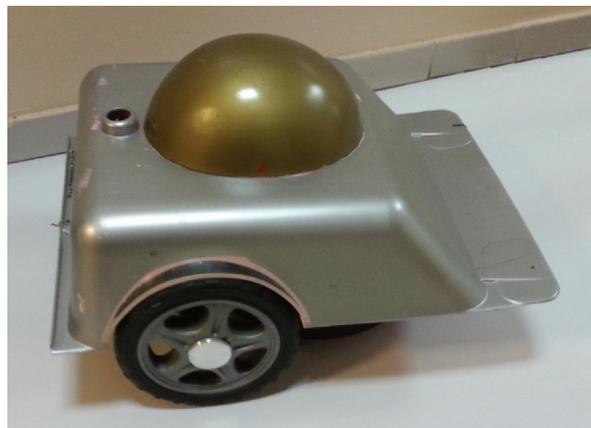
Для обеспечения работоспособности газонокосилки необходимо выполнение условия  $P_{ист} \geq P_{тп}$ , где  $P_{ист}$  – мощность, которую способен развить автономный источник энергии, Вт;  $P_{тп}$  – мощность, затрачиваемая на выполнение всех технологических и вспомогательных операций, Вт.

Основные функции, реализуемые различными блоками газонокосилки:

$$P_{тп} = P_{рез} + P_{п} + P_{и.м.} + P_{проц} + P_{рад}, \quad (1)$$

где  $P_{рез}$  – мощность, затрачиваемая на процесс резания травы, Вт;  $P_{п}$  – мощность, затрачиваемая на обеспечение перемещения газонокосилки, Вт;  $P_{и.м.}$  – мощность,

расходуемая исполнительными механизмами, обеспечивающими изменение траектории движения газонокосилки, изменение дорожного просвета и т.д., Вт;  $P_{проц}$  – мощность, затрачиваемая на работу бортового процессора, Вт;  $P_{рад}$  – мощность, потребляемая приемопередающим устройством радиосвязи, Вт.



**Рис. 1. Экспериментальная роботизированная газонокосилка**

Исходными данными для оценки мощности, необходимой для процесса резания травы, являются радиус рабочего органа  $R = 0,125$  м и поступательная скорость движения газонокосилки  $V = 0,3$  м/с. Будем считать, что помимо среза растительности газонокосилка осуществляет ее измельчение, а при этом некоторая часть энергии будет затрачиваться на боковое удаление скошенного материала для мульчирования почвы или его перемещения в травосборник.

Значительная часть современных методик по определению мощности двигателя для привода роторных ножей базируется на расчете угловой частоты вращения ротора и суммарного момента сопротивления [8, 9]. Практическое использование этих методик затруднено из-за отсутствия точной информации о характеристиках скашиваемой растительности: ее влажности, твердости, упругости, толщине стеблей, плотности и густоте травостоя. Расхождения в оценках затрачиваемой мощности образуются вследствие различных допущений при рассмотрении механизма резания и влияния на ее эффективность конфигурации и геометрических параметров режущих поверхностей. Поэтому более объективной оценкой мощности представляется методика, основанная на анализе экспериментальных данных.

Будем считать, что критическая скорость резания (минимальная скорость режущей кромки для обеспечения мгновенного разделения свободно стоящих стеблей) при безопорном кошении составляет 25...40 м/с. Такое допущение правомерно на основании теории Е.С. Босого, по которой срезаемый стебель рассматривался как консольная балка, жестко закрепленная в основании и подвергающаяся воздействию силы с определенной скоростью и на определенной высоте [10]. Экспериментами Сен-Венана

и Неймана в дальнейшем было доказано, что при соприкосновении ножа со стеблем возникает удар, вызывающий упругие колебания, которые распространяются по стеблю со скоростью, превышающей 30 м/с [11]. Эти колебания образуют изгибно-сдвиговые напряжения, которые являются причиной поперечной деформации, приводящей к излому стебля.

Длина окружности, описываемой концом рабочего органа, составляет величину  $C = 2\pi R = 0,785 \text{ м}$ . Для обеспечения скорости резания  $V_{\text{рез}} = 45 \text{ м/с}$  частота вращения ротора должна быть порядка  $3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ .

Основатель земледельческой механики академик В.П. Горячкин считал, что для скашивания безопорным способом большинства растений на площади 1 м<sup>2</sup> затраты энергии составляют 1500...3000 Дж [12]. Площадь, охватываемая вращающимися ножами, за счет наличия «мертвой» зоны в окрестности продольной оси ротора окажется примерно на 10% меньше геометрической площади под неподвижной косилкой:  $S = 0,9\pi R^2 = 0,044 \text{ м}^2$ . Следовательно, при скашивании травы экспериментальной косилкой будет затрачено 130 Дж.

При перемещении косилки в течение одной секунды на расстояние, соответствующее скорости (рис. 2), обрабатываемая площадь может быть рассчитана следующим образом:

$$F = 2RV + 0,9\pi R^2. \quad (2)$$

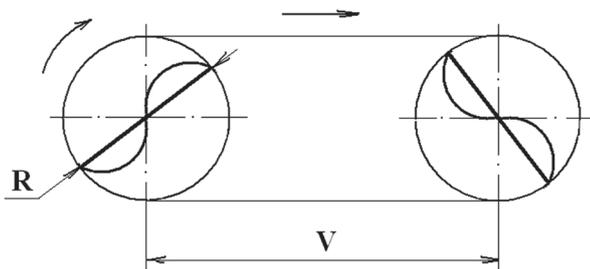


Рис. 2. Обрабатываемая площадь при поступательном движении роторной косилки

При поступательном движении косилки со скоростью 0,3 м/с обрабатываемая площадь увеличится до 0,124 м<sup>2</sup>, а затрачиваемая энергия – до 366 Дж (рис. 2). Поскольку рассчитываем энергию, расходующую за одну секунду, эта энергия может быть рассмотрена как мощность. Таким образом, мощность, требуемая для резания растительности экспериментальной косилкой, составит 366 Вт. На практике эта мощность должна быть еще увеличена примерно на 30...40% за счет затрат на удаление скошенной массы за пределы зоны резания, а также за счет многократного воздействия ножей на часть скошенных стеблей. Несмотря на распространенное мнение, что влага, концентрирующаяся на растительности (осадки, роса), облегчает резание [13], нельзя забывать о том, что слипшиеся растения образуют разрастающиеся комья, которые могут послужить препятствием к удалению скошенной

массы или попаданию новых растений в зону резания. Поэтому должен быть предусмотрен резерв мощности для компенсации повышенного момента сопротивления, возникающего при кошении увлажненной растительности. В таком случае суммарная мощность будет составлять примерно 470...520 Вт.

Мощность двигателей бытовых газонокосилок аналогичной производительности обычно составляет 800...1300 Вт. Превышение мощности над рассчитанным значением объясняется стремлением создать некоторый запас, а также использованием асинхронных двигателей, у которых пусковой момент невелик [14]. Кроме того, при проектировании бытовых косилок, перемещаемых вручную, скорость поступательного движения принимается 1,0...1,3 м/с, что в 3...4 больше скорости экспериментальной косилки и соответствует естественным движениям человека.

Для оценки мощности, затрачиваемой на перемещение газонокосилки, примем во внимание известную зависимость [15]:

$$P_n = F \cdot V / \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_6, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $F$  – усилие, затрачиваемое на перекатывание, Н;  $V$  – поступательная скорость движения газонокосилки, м/с;  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии ходовой части газонокосилки,  $\eta_{\text{тр}} = 0,87$ ;  $\eta_6$  – коэффициент буксования,  $\eta_6 = 0,95...0,98$ .

Усилие, затрачиваемое на перекатывание, обычно рассчитывается по следующей формуле:

$$F = m_r g \cdot \left( f + \frac{i}{100} \right), \quad (4)$$

где  $m_r$  – масса газонокосилки, кг;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $f$  – коэффициент сопротивления качению,  $f = 0,07...0,09$ ;  $i$  – средний уклон обрабатываемого участка,  $i = 2\%$ .

Будем считать, что масса газонокосилки  $m_r$  будет складываться из массы агрегата  $m_0$  и массы скошенной травы  $\Delta m$ , находящейся в травосборнике:

$$m_r = m_0 + \Delta m.$$

Подставив численные значения из нашего примера, получим:  $m_0 = 15 \text{ кг}$ ,  $\Delta m = 3 \text{ кг}$ ,  $m_r = 18 \text{ кг}$ ,  $F = 177 \text{ Н}$ ,  $P_n = 64 \text{ Вт}$ .

Мощность  $P_{\text{и.м.}}$ , потребляемая исполнительными механизмами, в нашем случае расходуется на автоматическое изменение дорожного просвета. Этой мерой достигается управление высотой среза растительности, а также аварийный подъем корпуса при попадании твердых предметов в зону кошения. В качестве исполнительного механизма на экспериментальной косилке использован автомобильный стеклоподъемник P. Vito.10, однако он может быть заменен на любое аналогичное устройство тросового, реечного или рычажного типов, а также на специализированный манипулятор с низкопольным двигателем постоянного тока [16]. Исполнительный механизм питается напряжением 12 В, потребляет ток 7,5 А и развивает усилие 120 Н. Таким образом, потребляемая исполнительным механиз-

мом мощность составляет 9 Вт. Аналогичный исполнительный механизм может быть использован для выгрузки травосборника или выполнения других вспомогательных операций.

Для автоматического управления газонокосилкой использован процессор Arduino Uno, представляющий собой стандартную плату на чипе Atmel ATmega328, имеющем на борту 32 КБ флэш-памяти, 2 Кб SRAM и 1 Кбайт EEPROM хранилища [17]. В перспективе на косилке можно устанавливать процессор Arduino Robot, в состав которого входят две платы контроллеров, один из которых управляет двигателями, а другой обрабатывает сигналы датчиков. В обоих случаях потребляемая мощность не превышает 8...12 Вт, однако и эту мощность можно уменьшить, переводя неиспользуемые функции процессора в «спящий» режим. Выходные цепи процессора могут соединяться с силовыми полупроводниковыми элементами или с катушками электромагнитных реле. Однако и с учетом этих потребителей мощность не превысит 23...30 Вт.

Основными задачами радиосвязи, осуществляемой между газонокосилкой и пультом управления, являются: передача на пульт оператора текущей информации о режимах работы газонокосилки, ее расположении, а также передача с пульта корректирующих команд. Мощность, потребляемая приемопередающим устройством радиосвязи, во многом зависит от формы ее реализации. Наибольшее распространение получила непосредственная радиосвязь и связь через каналы Интернет. Принимая во внимание, что расстояние между газонокосилкой и оператором обычно не превышает 70...150 м, непосредственную радиосвязь целесообразно организовывать в диапазоне УКВ [18]. Однако при проектировании соответствующих технических средств связи в настоящее время нет необходимости конструирования их электронной «начинки», поскольку промышленность выпускает достаточно широкий ассортимент соответствующих устройств. Разработаны и подробно описаны протоколы сжатия и кодирования информации, подготовлено программное обеспечение и создан удобный интерфейс. При осуществлении непосредственной радиосвязи в объявленных условиях потребляемая мощность приемопередающей аппаратуры составит 5...8 Вт [19]. Связь через Интернет несравненно надежнее и проще непосредственной радиосвязи, однако она реализуется только при нахождении объектов связи в зоне уверенного действия сети. Здесь возможны два технических решения: либо косилка и пульт управления взаимодействуют с каналами Интернет через средства Wi-Fi, либо по каналам мобильной телефонии общегражданского назначения. При использовании Интернет потребляемая мощность приемопередающего устройства, расположенного на косилке, практически не изменится, но в этом случае объекты связи могут находиться на любом расстоянии друг от друга.

Суммируя мощности в соответствии с выражением (1), получим  $P_{\text{тн}} = 620$  Вт. Следует отметить, что полученное значение  $P_{\text{тн}}$  представляет

собой простую сумму мощностей, что является общей мощностью установленного оборудования. На практике рассмотренные потребители могут работать далеко не одновременно. На первом месте по продолжительности работы будет бортовой процессор, на втором – тяговые электродвигатели, на третьем – электродвигатель режущего органа, на четвертом – приемопередающие средства радиосвязи и, наконец, на пятом – исполнительные механизмы. Причем исполнительные механизмы могут включаться в работу довольно редко: один-два раза за несколько часов эксплуатации газонокосилки, а могут и не включаться совсем. Кроме того, продолжительность включения этих потребителей определяется единицами секунд. Поэтому полученную мощность можно рассматривать как максимальную и исключительно кратковременную.

При потреблении этой мощности срабатывание аппаратуры защиты недопустимо, и аккумуляторная батарея должна оставаться работоспособной.

Увеличение радиуса режущего органа повлечет за собой (вызовет) повышение мощности, потребляемой на кошение растений. Одновременно увеличится масса косилки и мощность, затрачиваемая на ее перемещение. При этом доля мощности остальных потребителей будет экспоненциально снижаться (рис. 3).

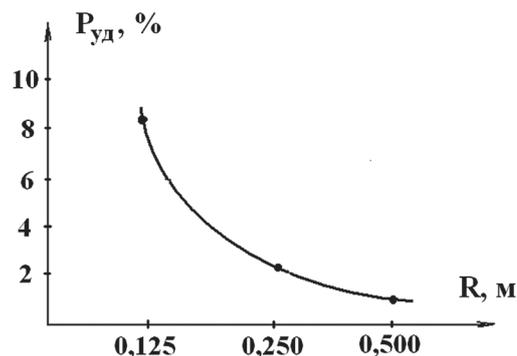


Рис. 3. Зависимость доли мощности, потребляемой исполнительными механизмами, бортовым процессором и приемопередающими средствами радиосвязи, от радиуса режущего органа

Для обеспечения рассчитанного значения мощности в течение часа при напряжении питания 12 В аккумуляторная батарея должна обладать емкостью не менее 51,6 А·ч.

Для рассчитанного значения общей мощности при напряжении питания 12 В потребляемый ток составит 51,6 А. Следовательно, для обеспечения непрерывной работы косилки в течение часа идеальная аккумуляторная батарея должна иметь емкость 51,6 А·ч. Принимая во внимание КПД современных никель-кадмиевых аккумуляторов 75%, делаем вывод о требуемой емкости 68,8 А·ч. Проанализировав технические характеристики современных аккумуляторов [20], убеждаемся, что их масса при требуемых параметрах составляет более

10 кг. Такая масса становится соизмеримой с массой газонокосилки, из чего делаем вывод о целесообразности уменьшения емкости аккумулятора ради снижения массы. Поскольку зависимость массы никель-кадмиевых аккумуляторов от их емкости близка к линейной, остановимся на аккумуляторе емкостью 35 А·ч, обладающем массой 5 кг и обеспечивающем непрерывную работу роботизированной газонокосилки в течение 30 мин.

В перспективе для питания подобных газонокосилок можно использовать литий-ионные аккумуляторы. Удельная мощность этих аккумуляторов в 2...3 раза выше никель-кадмиевых, однако на сегодня они остаются весьма дорогостоящими и не представлены на рынке в достаточно широком ассортименте.

### Выводы

1. Энергопотребление экспериментальной роботизированной газонокосилки в порядке уменьшения значимости определяют следующие потребители: режущие органы (80,6%), тяговые двигатели (10,4%), бортовой процессор (4,8%), исполнительные механизмы (2,9%), средства радиосвязи (1,3%).

2. Суммарная мощность энергопотребителей экспериментальной роботизированной газонокосилки массой 15 кг при скорости ее поступательного движения 0,3 м/с и радиусе режущих рабочих органов 0,125 м составляет 620 Вт.

3. По мере увеличения радиуса режущего органа газонокосилки доля мощностей бортового процессора, исполнительных механизмов и приемопередающих средств связи экспоненциально уменьшается.

### Библиографический список

1. Брагинский М.В. Механизация садово-паркового хозяйства. Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1984. 272 с.
2. Аниферов Ф.Е., Ерошенко Л.И., Теплинский И.З. и др. Машины для садоводства. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отделение, 1990. 304 с.
3. Переля О., Переля Р. Садовые машины. Малые двигатели: применение, уход, ремонт. СПб.: АЛФАМЕР, 2013. 200 с.
4. Hammer Flex. Инструкция по эксплуатации. Газонокосилки KMT 125, KMT 145S, KMT 175S, KMT1200S. Hammer Werkzeug GmbH, Niedenau, Germany, 2014. 22 S.
5. Красовский В.В. Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников: Дис. ... канд. техн. наук, спец. 05.20.01: ФГАОУВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского». Академия биоресурсов и природопользования. Симферополь, 2017. 164 с.
6. Будашов И.А. Обоснование параметров ротационно-дискового режущего аппарата для реза-

ния толстостенных культур: Автореф. дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.20.01: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». Барнаул, 2013. 16 с.

7. Робот-газонокосилка Caiman Ambrogio. От рассвета до заката. URL: <https://master-forum.ru/robot-gazonokosilka-caiman-ambrogio-otzyvy-novinki/> (дата обращения 12.03.2018).

8. Попов В.Б., Голушко П.Е., Иванов А.А. Анализ технологического процесса кошения растений ротационными режущими аппаратами // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2009. № 4. С. 32-39.

9. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994. 751 с.

10. Босой Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1978. 461 с.

11. Догода П.А., Красовский В.В. Анализ существующих теорий работы ротационного режущего аппарата косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений // Научные труды южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: технические науки. Симферополь, 2013. Вып. 153. С. 164-175.

12. Горячкин В.П. Собрание сочинений в семи томах / Под ред. Н.Д. Лучинского, В.А. Желиговского, И.Ф. Василенко. М.: Сельхозиздат, 1937.

13. Трубилин Е.И., Абликов В.А. Машины для уборки сельскохозяйственных культур (конструкция, теория и расчет): Учеб. пособие 2 изд., перераб. и доп. КГАУ, Краснодар, 2010. 352 с.

14. Архипцев Ю.Ф., Котеленец Н.Ф. Асинхронные электродвигатели. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1986. 104 с.

15. Турбин Б.Г., Лурье А.Б. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет. Л.: Машиностроение, 1967. 578 с.

16. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 480 с.

17. Соммер Улли. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 256 с.

18. Андреев С.А., Старовойтов В.Н. Определение устойчивости УКВ-радиосвязи на ЭВМ // Моделирование и управление в биоинформационных технологиях сельского хозяйства: Сборник научных трудов МГАУ им. В.П. Горячкина. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 1997. С. 62-73.

19. Радиопередающие устройства: Учеб. для вузов / В.В. Шахильдян, В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин и др.; Под ред. В.В. Шахильдяна. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 2003. 560 с.

20. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. Принцип действия и устройство. М.: Изумруд, 2003. 224 с.

Статья поступила 14.03.2018

## ESTIMATION OF ENERGY INDICATORS OF ROBOTIZED LAWN MOWERS

**DMITRIY V. ANASHIN**, *Engineer*

E-mail: da-na21@yandex.ru

**SERGEY A. ANDREYEV**, *PhD (Eng), Associate Professor*

E-mail: s.andreev@aol.com

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The paper describes the main technical characteristics of an experimental robotic lawn mower. The lawn mower is designed to mow vegetation in small areas without an operator's involvement. All control functions of the lawn mower, including the selection of the trajectory, the change in the cutting height and the response to an emergency situation are carried out by the on-board processor. In addition, the current information about the operating modes of the mower, as well as its location, is transmitted to the control panel. It is possible to manually adjust the operating modes or provide priority instructions from the same remote control. The lawn mower is driven by two electric motors, and mowing is carried out in an unsupported way. The nature and characteristics of energy consumption by electrified lawn mower devices are analyzed in the paper: an electric motor of the cutting working body drive, traction electric motors, a processor, operating mechanisms and receiving and transmitting communication facilities. The total power of the energy users of the experimental robotic lawn mower at a speed of its forward motion of 0.3 m/s and a radius of cutting working bodies of 0.125 m amounts to 620 W. It has been established that the following consumers determine the energy consumption of an experimental robotic lawn mower (in a decreasing importance order): 80.6% of the motor of the cutting tools, 10.4% of the traction motors, 4.8% of the on-board processor, operating mechanisms (2.9%), radio communication facilities (1.3%). As the radius of the cutting device of a lawn mower increases, the fraction of the on-board processor, operating mechanisms and receiving-transmitting communication facilities decreases exponentially. The capacity of the nickel-cadmium battery has been calculated as well. The authors have come to a conclusion about the feasibility of using batteries that provide continuous power to electrified lawn mowing devices within 20-30 minutes.

**Key words:** robotized lawn mower, unsupported mowing, energy consumption, power consumption, accumulation of electrical energy.

### References

1. Braginskiy M.V. Mekhanizatsiya sadovo-parkovogo khozyaystva [Mechanization of landscape gardening]. L., Kolos, Leningr. otdeleniye, 1984: 272. (In Rus.)
2. Aniferov F.Ye., Yeroshenko L.I., Teplinskiy I.S. et al. Mashiny dlya sadovodstva [Machines for gardening]. 2<sup>nd</sup> ed., reviewed and extended. L., Agropromizdat. Leningr. otd-niye, 1990: 304. (In Rus.)
3. Perelya O., Perelya R. Sadovyye mashiny. Malye dvigateli: primeneniye, ukhod, remont [Garden machines. Small motors, Application, maintenance, repair]. SPb., ALFAMER, 2013: 200. (In Rus.)
4. Hammer Flex. Instruktsiya po ekspluatatsii. Gazonokosilki KMT 125, KMT 145S, KMT 175S, KMT1200S. Hammer Werkzeug GmbH, Niedenau, Germany, 2014: 22.
5. Krasovskiy V.V. Obosnovaniye parametrov i rezhimov raboty kosilki dlya skashivaniya sideratov v mezhduryad'yakh sadov i vinogradnikov: Dis. ... kand. tekhn. nauk, spets. 05.20.01 [Determination of the parameters and operating modes of the siderate mower for the inter-row use in orchards and vineyards: PhD (Eng) thesis, speciality 05.20.01] FGAOUVO "Krymskiy federal'nyy universitet im. V.I. Vernadskogo". Akademiya bioresurov i prirodopol'zovaniya. Simferopol', 2017: 164. (In Rus.)
6. Budashov I.A. Obosnovaniye parametrov rotatsionno-diskovogo rezhushchego apparata dlya rezaniya tolstostennykh kul'tur: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk po spets. 05.20.01 [Determination of the parameters of a rotary disk cutting unit for cutting thick-walled crops. Self-review of PhD (Eng) thesis – training field 05.20.01]: FGBOU VPO "Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova". Barnaul, 2013: 16. (In Rus.)
7. Robot-gazonokosilka Caiman Ambrogio. Ot rassveta do zakata [Robotized lawn mower Caiman Ambrogio. From dawn till dusk]. URL: <https://master-forum.ru/robot-gazonokosilka-caiman-ambrogio-otzyvy-novinki/> (access date 12.03.2018). (In Rus.)
8. Popov V.B., Golushko P.Ye., Ivanov A.A. Analiz tekhnologicheskogo protsessa kosheniya rasteniy rotatsionnymi rezhushchimi apparatami [Analyzing the technological process of mowing plants with rotary cutting units]. *Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo*, 2009; 4: 32-39. (In Rus.)
9. Klenin N.I., Sakun V.A. Sel'skokhozyaystvennyye i meliorativnyye mashiny [Agricultural and melioration machinery]. Moscow, Kolos, 1994: 751. (In Rus.)
10. Bosoy Ye.S. Teoriya, konstruktsiya i raschet sel'skokhozyaystvennykh mashin [Theory, design and calculation of agricultural machines]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1978: 461. (In Rus.)

11. Dogoda P.A., Krasovskiy V.V. Analiz sushchestvuyushchikh teorii raboty rotatsionnogo rezhushchego apparata kosilki dlya skashivaniya sideratov v mezhduryad'yakh mnogoletnikh nasazhdeniy [Analysis of the existing theories of the rotary cutting unit for cutting in-row siderates grown alongside with perennial crops] // Nauchnyye trudy yuzhnogo filiala Natsional'nogo universiteta bioresursov i prirodoop'zovaniya Ukrainy "Krymskiy agrotekhnologicheskii universitet". Seriya: tekhnicheskiye nauki. Simferopol', 2013; 153: 164-175. (In Rus.).

12. Goryachkin V.P. Sobraniye sochineniy v semi tomakh [Collection of works in seven volumes] / Ed. by N.D. Luchinskiy, V.A. Zheligovskiy, I.F. Vasilenko. Moscow, Sel'khozizdat, 1937. (In Rus.).

13. Trubilin Ye.I., Ablikov V.A. Mashiny dlya uborki sel'skokhozyaystvennykh kul'tur (konstruktsii, teoriya i raschet) [Machines for crop harvesting (designs, theory and calculation)]: Ucheb. pos. 2<sup>nd</sup> ed., reviewed and extended. KGAU, Krasnodar, 2010: 352. (In Rus.).

14. Arkhptsev Yu.F., Kotelenets N.F. Asinkhronnyye elektrodvigateli [Asynchronous electric motors]. 2<sup>nd</sup> ed., Moscow, Energoatomizdat, 1986: 104. (In Rus.).

15. Turbin B.G., Lur'ye A.B. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny. Teoriya i tekhnologicheskii raschet [Agricultural machines. Agricultural equipment. Theory and technological calculation]. L., Mashinostroyeniye, 1967: 578. (In Rus.).

16. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami: Uchebnik dlya vuzov [Fundamentals of manipulation robots: Study manual for university students]. 2<sup>nd</sup> ed., reviewed and extended. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 2004: 480. (In Rus.).

17. Sommer Ulli. Programirovaniye mikrokontrollernykh plat Arduino/Freeduino [Programming of microcontroller cards Arduino Freeduino]. SPb.: BKHV-Peterburg. 2012: 256. (In Rus.).

18. Andreyev S.A., Starovoytov V.N. Opredeleniye ustoychivosti UKV-radiosvyazi na EVM [Computer-aided determination of the stability of VHF radio communication]. Modelirovaniye i upravleniye v bioinformatsionnykh tekhnologiyakh sel'skogo khozyaystva: Sbornik nauchnykh trudov MGAU im. V.P. Goryachkina. Moscow, MGAU im. V.P. Goryachkina, 1997: 62-73. (In Rus.).

19. Radiopere dayushchiye ustroystva: Uchebnik dlya vuzov [Radio transmitting devices: Study manual for university students] / V.V. Shakhgil'dyan, V.B. Kozyrev, A.A. Lyakhovkin et al.; ed. by V.V. Shakhgil'dyan. 3<sup>rd</sup> ed., reviewed and extended. Moscow, Radio i svyaz', 2003: 560. (In Rus.).

20. Khrustalev D.A. Akkumulyatory. Printsip deystviya i ustroystvo [Storage batteries. Principle of operation and design scheme]. Moscow, Izumrud, 2003: 224. (In Rus.).

*The paper was received on March 14, 2018*

УДК 631.371:621.31-048-35

DOI 10.26897/1728-7936-2018-5-69-74

**СУХОВ АНДРЕЙ АНДРЕЕВИЧ**, аспирант

E-mail: mail.Andrey\_91@mail.ru

**СТУШКИНА НАТАЛЬЯ АЛЕКСЕЕВНА**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: nstushkina@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В условиях автоматизации процессов и применения все более высокотехнологичных энергопринимающих устройств особую актуальность приобрела задача надежного и бесперебойного электроснабжения объектов сельского хозяйства. Основной особенностью электроснабжения сельскохозяйственных потребителей является то, что на 1 км<sup>2</sup> площади приходится в среднем не более 15 кВт потребляемой мощности. В соответствии с этим преобладающая часть затрат (порядка 70%) на электроснабжение сельскохозяйственных потребителей приходится на строительство распределительных сетей 0,4-10 кВ. Во многих сельских сетях напряжение в сети с фазным напряжением 0,22 кВ колеблется на уровне от 0,18 до 0,26 кВ, что не соответствует требованиям ГОСТ-32144-2013. Данные за последние несколько лет показали, что общая присоединенная мощность энергопринимающих устройств в различных регионах России гораздо меньше мощности всех поданных заявок потребителями в сетевые организации. К решению проблемы можно привлечь самих потребителей электроэнергии. Рассмотрена возможность использования распределенной генерации, установленной в непосредственной близости от мест потребления электроэнергии. Расположение генерирующих мощностей в непосредственной близости от конечного потребителя позволяет снижать или, в некоторых случаях, полностью исключать из тарифа