

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 621.311.243

doi: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp131-139>

Методика расчета емкости аккумуляторной батареи мобильного транспортного средства с электроприводом на основе Т16М

Леонид Юрьевич Юфев, Антон Павлович Споров

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

e-mail: antonspo@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время наблюдается активное использование электротранспорта, который применяется на фермах, выполняя ряд технологических процессов по содержанию животных и выращиванию растений. Появляется необходимость изменения технических характеристик такого транспорта, в частности, экономия заряда тяговой батареи с помощью режима выбега. Цель исследования – определить методику расчета емкости аккумуляторных батарей мобильного транспортного средства с электроприводом на основе электротрактора сельскохозяйственного назначения Т16М. Определены силы сопротивления воздуха, трения, эффективность электродвигателя, площадь поперечного сечения, нормальная сила. Разработана методика расчета мощности, затрачиваемой на перемещения транспортного средства сельскохозяйственного назначения на прямолинейном участке. Установлено, что для того чтобы найти затрачиваемую мощность на передвижение транспортного средства сельскохозяйственного назначения необходимо найти силу аэродинамического сопротивления, которая составила 8,73 Н. Определена нормальная сила, которая составила 1782,5 Н, рассчитаны сумма сил сопротивления движению 1522,54 Н, затрачиваемая мощность на перемещение мобильного транспортного средства с электроприводом на основе Т16 сельскохозяйственного назначения на каждом участке. Рассчитана затрачиваемая и общая емкость аккумуляторных батарей на каждом участке.

Ключевые слова: Т-16 с электроприводом; электропривод; транспортное средство с электроприводом; энергетическое оборудование; асинхронный электродвигатель; затрачиваемая мощность на передвижение

Для цитирования: Юфев Л. Ю., Споров А. П. Методика расчета емкости аккумуляторной батареи мобильного транспортного средства с электроприводом на основе Т16М // Аграрный научный журнал. 2024. № 3. С. 131–139. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp131-139>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Methodology of calculation of battery capacity of mobile vehicle with electric drive on the basis of T16M

Leonid Yu. Yuferev, Anton P. Sporov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

e-mail: antonspo@yandex.ru

Abstract. Currently, there is an active use of electric transport, which is used on farms, performing a number of technological processes for animal housing and plant cultivation. There is a need to change the technical characteristics of such transport, in particular, saving the traction battery charge by means of coasting mode. The purpose of the study is to determine the methodology of calculation of battery capacity of electrically driven mobile vehicle with electric drive on the basis of agricultural electric tractor T16M. The forces of air resistance, friction, electric motor efficiency, cross-sectional area, and normal force were determined. A methodology for calculating the power used to move an agricultural vehicle on a rectilinear section has been developed. It was found out that in order to find the power required for the movement of the agricultural vehicle, it was necessary to find the aerodynamic drag force, which was 8.73 N. We determined the normal force, which was 1782.5 N, as well as the sum of forces resistance to movement – 1522.54 N. Calculated the power required to move the T16 agricultural T16 powered mobile vehicle at each site. Supplied and total capacity of the batteries at each site is calculated.

Keywords: T-16 with electric drive; electric drive; electrically driven vehicle; power equipment; asynchronous electric motor; power consumption for travelling

For citation: Yuferev L. Yu., Sporov A. P. Methodology of calculation of battery capacity of mobile vehicle with electric drive on the basis of T16M // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(3): 131–139. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp131-139>.





Введение. В настоящее время наблюдается активное использование электротранспорта, который может применяться, в том числе на фермах с целью выполнения технологических процессов в помещениях для содержания животных и выращивания растений.

Мощность, затрачиваемая на передвижение транспортного средства, которое движется с постоянной скоростью, будет зависеть от нескольких факторов, включая силу сопротивления движению, коэффициент сопротивления и эффективность двигателя.

Сила сопротивления движению транспортного средства включает в себя силу сопротивления воздуха (аэродинамическую силу), силу трения, вызванного контактом колес с дорогой, и силу трения в двигателе и других механизмах.

Однако, при одинаковой скорости, можно предположить, что мощность, затрачиваемая на передвижение автомобиля, будет примерно одинакова для разных автомобилей с одинаковым коэффициентом сопротивления и эффективностью двигателя.

Исследования в области электропривода привлекли внимание многих исследователей [5]. Авторы внесли значительный вклад в развитие технологии электропривода, однако их работы не охватывают энергетические аспекты вычисления мощности [4]. В их исследованиях уделяется внимание различным аспектам электропривода, таким как электромагнитные процессы, управление двигателем, методы моделирования и симуляции. Однако вопросы, связанные с энергетическими характеристиками системы, такими как расчет и оптимизация мощности электропривода, оставались за пределами их исследований [2].

Энергетические аспекты играют ключевую роль в оптимизации работы электроприводов, особенно в контексте энергосбережения и повышения эффективности систем. Этот аспект исследования электропривода становится все более актуальным с учетом стремительного развития технологий и растущих потребностей в энергосбережении.

Цель исследования – определить емкости аккумуляторной батареи мобильного транспортного средства с электроприводом на основе T16M.

Материалы и методы. Данные в статье представленные для мобильного транспортного средства с электроприводом на основе T16M собранные по представленной кинематической блок схеме на рисунке 1.

Для определения расчета мощности, затрачиваемой на перемещение транспортного средства, необходимо использовать формулу

$$P = \sum Fv, \quad (1)$$

где P – мощность, Вт; $\sum F$ – сумма сил сопротивление движению (включая силу сопротивления воздуха, качения и другие силы), Н; v – скорость транспортного средства, м/с.

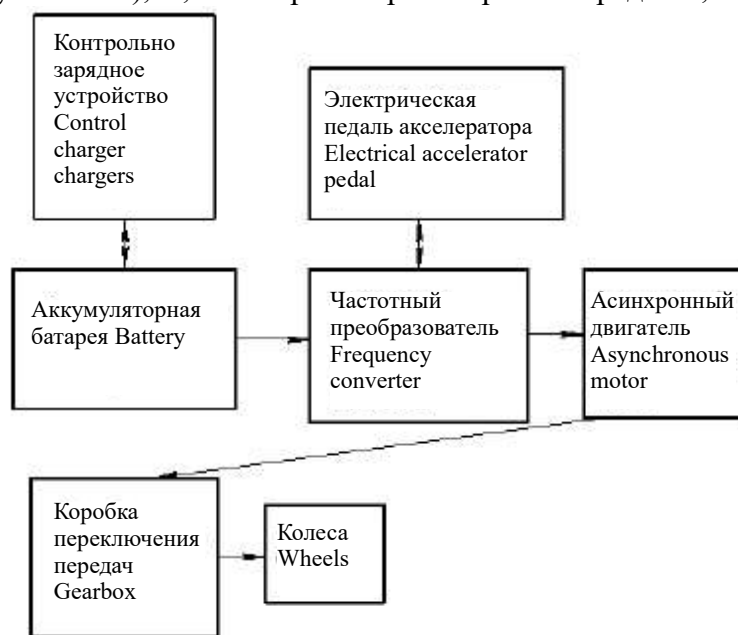


Рисунок 1 – Кинематическая блок схема мобильного транспортного средства с электроприводом на основе T16M
Figure 1 – Kinematic block diagram of the mobile vehicle with electric drive based on T16M



Следующим этапом необходимо рассчитать сопротивление движению, в которое входят сопротивление воздуха (сила, с которой воздух сопротивляется движению автомобиля. Она зависит от формы автомобиля, его скорости и плотности воздуха), сила трения (сопротивление, которое колеса автомобиля ощущают при контакте с дорогой. Это может быть сила трения между шиной и дорогой или внутренний трение в механизмах автомобиля), сила наклона (если дорога наклонена, то сила, необходимая для преодоления гравитационного сопротивления, также должна быть учтена), эффективность двигателя (показатель того, как хорошо двигатель преобразует электричество в механическую энергию. Чем выше эффективность, тем меньше потребуется электричества для достижения определенной скорости), масса автомобиля (чем больше масса автомобиля, тем больше мощности требуется для его движения) факторы [6].

Сила сопротивления воздуха зависит от нескольких факторов, включая форму транспортного средства, его площадь поперечного сечения, скорость движения и плотность воздуха.

Математически сила аэродинамического сопротивления (также известная как драг) обычно выражается следующим образом [8]:

$$F_{\text{драг}} = 0,5C_d A \rho v^2, \quad (2)$$

где $F_{\text{драг}}$ – сила аэродинамического сопротивления (в ньютонах, Н); C_d – коэффициент аэродинамического сопротивления (безразмерная величина, зависящая от формы автомобиля), для трактора Т16М – 0,85; A – площадь поперечного сечения транспортного средства (в квадратных метрах, м^2), ρ – плотность воздуха (в килограммах на кубический метр, $\text{кг}/\text{м}^3$), v – скорость транспортного средства относительно воздуха (в метрах в секунду, $\text{м}/\text{с}$).

Эта формула показывает, что сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости транспортного средства и при увеличении скорости сила сопротивления воздуха увеличивается значительно быстрее [19].

Результаты исследований. Коэффициент аэродинамического сопротивления C_d является мерой «аэродинамической гладкости» автомобиля – чем меньше этот коэффициент, тем меньше аэродинамическое сопротивление [3].

Следующим шагом необходимо найти площадь поперечного сечения транспортного средства. Полная масса транспорта [1]:

$$m_a = m_{\Gamma} + m_c + m_{\Pi} \quad (3)$$

где m_{Γ} – масса перевозимого груза (грузоподъемность или пассажировместимость) или багажа, кг; m_c – собственная масса транспортного средства в снаряженном состоянии без груза, кг. Слагается из конструктивной (сухой) массы автомобиля, массы топлива, массы технических жидкостей, западного колеса, инструмента, принадлежностей и технологического оборудования, грузоподъемность самоходного шасси Т16-М = 1000 кг; m_{Π} – масса водителя в кабине транспортного средства. Средняя масса пассажира и водителя 70 кг.

Следовательно;

$$m_a = 685 + 1000 + 70 = 1755 \text{ кг.}$$

Силу тяжести (вес) рассчитаем по формуле

$$\begin{aligned} G &= 9,81m_a; \\ G &= 1750 \cdot 9,81 = 17167,5 \text{ Н} = 17,16 \text{ кН.} \end{aligned} \quad (4)$$

Шины выбирают в соответствии с типом транспортного средства, условиями его эксплуатации, нагрузкой на колесо.

Динамический радиус определяют по формуле

$$\begin{aligned} r_{\kappa} &= 10^{-3} r_{\text{ст}} \lambda_{\text{ш}}, \\ r_{\kappa} &= 0,32 \cdot 0,96 = 0,3 \text{ м} \end{aligned} \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{ш}}$ – коэффициент, учитывающий деформацию шины от приложения тангенциальной нагрузки ($\lambda_{\text{ш}} = 0,96\text{--}0,98$). В нашем расчете

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,96.$$

Была приближенно определена площадь поперечного сечения, используя данные транспортного средства прототипа:

$$A = \beta B H_a, \quad (6)$$

где β – коэффициент заполнения площади, для тракторов $\beta = 0,78 - 0,8$; B – габаритная ширина, м; H_a – габаритная высота транспортного средства, м.

Для нашего расчета принимаем $\beta = 0,78$.

$$A = 0,78 \cdot 1,55 \cdot 2500 = 3,02 \text{ м}^3.$$

Следующим этапом необходимо определить плотность воздуха ρ .

Плотность воздуха зависит от условий окружающей среды, включая температуру, давление и влажность воздуха. При нормальных условиях (температура 20 °С и давление 1 атм) плотность воздуха составляет около 1,225 кг/м³. Однако эти значения могут варьировать в зависимости от изменений в температуре, давлении и влажности [3].

Скорость транспортного средства относительно воздуха составила 20 км/ч, переведем в метры в секунду:

$$v = \frac{20 \cdot 1000}{3600} = 5,55 \text{ м/с}. \quad (7)$$

Подставив значение в формулу, найдена сила аэродинамического сопротивления:

$$F_{\text{drag}} = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 3,02 \cdot 1,225 \cdot 5,55 = 8,73 \text{ Н}. \quad (8)$$

Необходимо найти нормальную силу, которая поддерживает транспортное средство и предотвращает его падение или деформацию под воздействием силы тяжести.

Нормальная сила F_n равна произведению массы электротрактора m (включая аккумуляторный блок) на ускорение свободного падения g (приблизительно 9,81 м/с²) [1]:

$$F_n = mg. \quad (9)$$

Эта формула предполагает, что сила трения статическая (т.е. трактор движется с постоянной скоростью).

$$F_n = 1817 \cdot 9,81 = 17824,77 \text{ Н}.$$

Расчеты учитываются по прямолинейному участку без наклона.

Необходимо найти силу сопротивления качению, которая должна быть преодолена для движения объекта.

Сопротивление качению электротрактора зависит от нескольких факторов, включая тип и состояние поверхности, на которой движется трактор, его массу и конструкцию колес [20]. Сопротивление качению можно оценить с использованием следующей формулы [18]:

$$F_k = C_r F_n, \quad (10)$$

где F_k – сила сопротивления качению, Н; C_r – коэффициент сопротивления качению (безразмерная величина), зависящий от типа поверхности; F_n – нормальная сила (в ньютонах), которая действует вертикально вниз на трактор [17].

Коэффициент сопротивления качению для травы или грунта, например, равен 0.1 [16].

$$F_k = 0,1 \cdot 17824,77 = 1782,5 \text{ Н}.$$

Следующим этапом нашли сумму сил сопротивления движению $\sum F$.

$$\sum F = F_{\text{drag}} + F_k \cdot \eta = 8,73 + 1782,5 \cdot 0,85 = 1522,54 \text{ Н},$$

где $\sum F$ – сумма сил сопротивления движению, Н [13]; F_{drag} – сила аэродинамического сопротивления, Н; F_k – сила сопротивления качению, Н; η – коэффициент полезного действия



электродвигателя или эффективность электродвигателя АИР132L2 мощностью 11 кВт мин⁻¹, который равен 0,85[14].

Рассчитаем мощность, затрачиваемую на перемещение транспортного средства, по формуле

$$P = \sum Fv = 1522,54 \cdot 5,55 = 8450,1 \text{ Вт} = 8,45 \text{ кВт}, \quad (11)$$

где P – мощность, Вт; $\sum F$ – сумма сил сопротивление движению (включая силу сопротивления воздуха, качения и другие силы), Н; v – скорость транспортного средства $v = 20$ км/ч.

На рисунке 2 представлена схема маршрута движения по технологическим участкам и расстояние между ними в течение рабочей смены [11].

Была взята ферма, в которой имеется все необходимые технологические участки и стрелками указан маршрут движения электротрактора [12].

На рисунке 3 представлен график с данными о расстоянии и скорости передвижения электротрактора на каждом участке.

Была посчитана мощность, затрачиваемая на перемещения транспортного средства на каждом участке:

$$P = \frac{\sum F 1000v}{3600 \cdot 1000},$$

где P – мощность, кВт[10]; v – скорость транспортного средства, м/с; $\sum F$ – сумма сопротивление движению (включая силу сопротивления воздуха, качения и другие силы), Н.

Результаты записаны и построен график, представленный на рисунке 4.

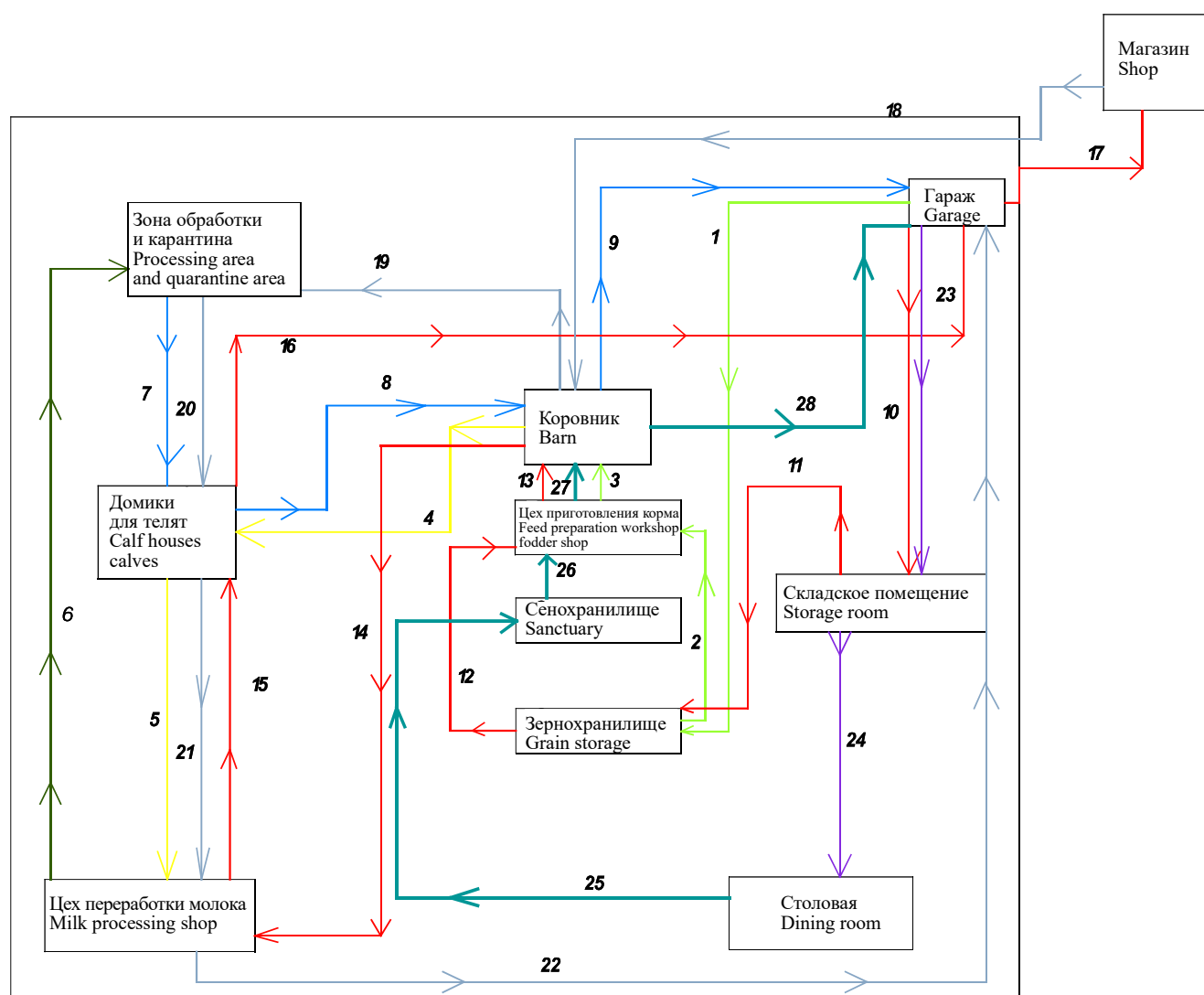


Рисунок 2 – Маршрут движения по технологическим участкам и расстояние между ними
Figure 2 – The route of the process sections and the distance between them



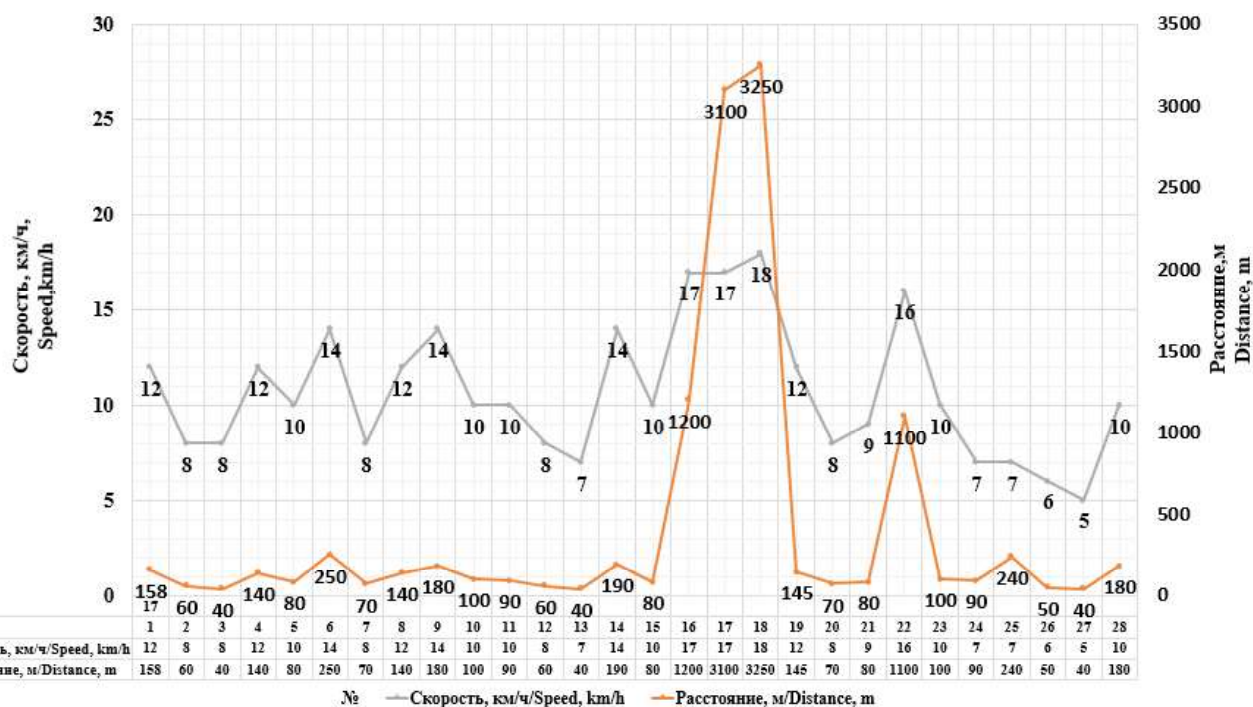


Рисунок 3 – График с данными о расстоянии и скорости передвижения электротрактора на каждом участке

Figure 3 – Graph with data on distance and speed of the electric tractor on each plot

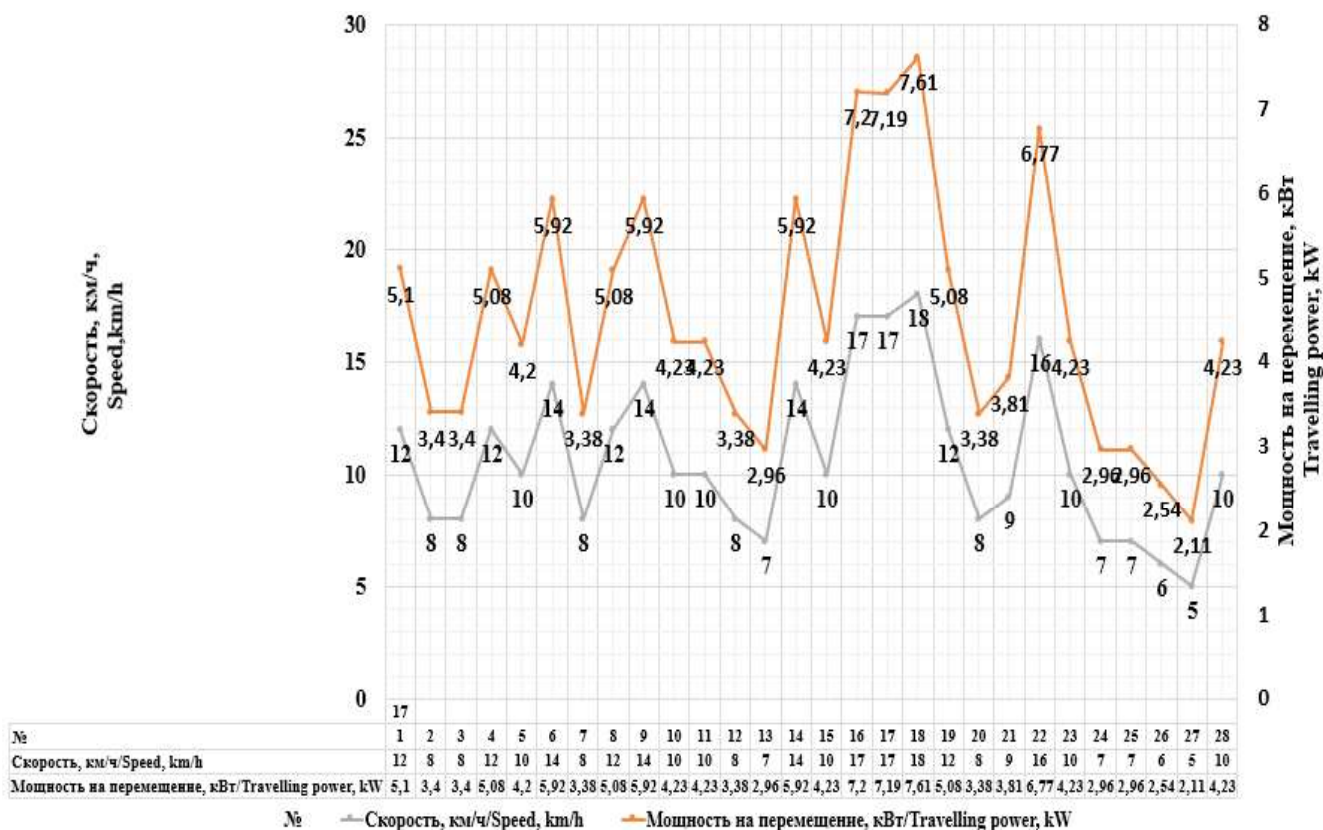


Рисунок 4 – Затрачиваемая мощность на перемещение на каждом участке

Figure 4 – Displacement power consumed at each site

Следующим этапом была рассчитана затрачиваемая емкость на каждом участке по формуле

$$E = \frac{P1000t}{3600}, \text{ Вт}\cdot\text{ч}, \quad (12)$$

где P – мощность, кВт; E – затрачиваемая энергия, Вт·ч; t – время пройденного пути на каждом участке, с [9].

Полученные данные записаны в таблицу и построен график, представленный на рисунке 5. Итого затрачиваемая энергия на передвижение составила 5133,1 Вт·ч.



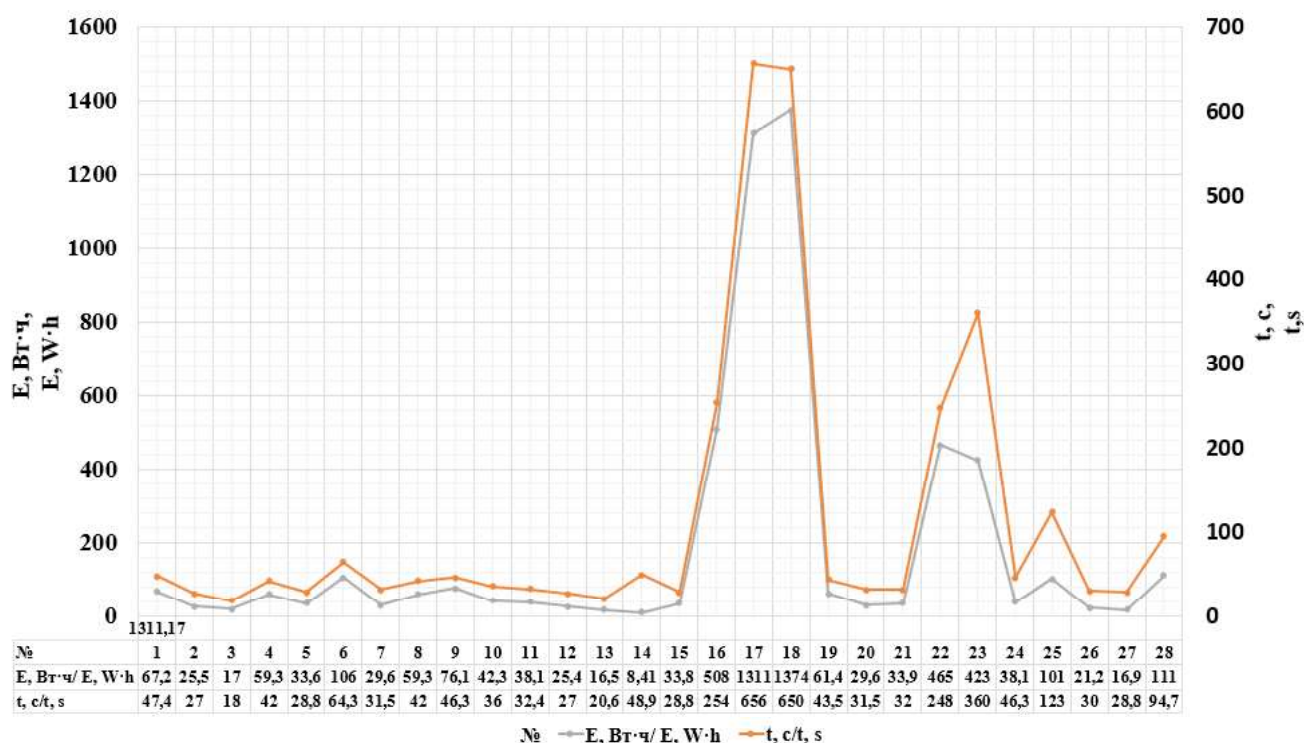


Рисунок 5 – Затрачиваемая энергия на передвижение на каждом участке
Figure 5 – Energy consumed for travelling at each site

137

03
2024



Затрачиваемая энергия на разгон составила, 915,57 Вт·ч [7,11].

Общая затрачиваемая энергия на разезды по ферме составила 6048,67 Вт·ч.

Необходимо выбрать тяговую аккумуляторную батарею с учетом коэффициента запаса, $k = 1,58$.

$$C_{\text{ном}} = E_{\text{общ}} k = 6048,67 \cdot 1,58 = 9556,9 \text{ Вт·ч}, \quad (13)$$

где $C_{\text{ном}}$ – общая номинальная емкость тяговой аккумуляторной батареи, Вт; $E_{\text{общ}}$ – затрачиваемая энергия, Вт·ч; k – коэффициент запаса, $k = 1,58$.

Исходя из проведенных расчетов были набраны аккумуляторные батареи емкостью 9,6 кВт·ч [15].

Заключение. В проведенных исследованиях были выяснены и определены ключевые параметры, необходимые для расчета мощности, затрачиваемой на передвижение сельскохозяйственного транспортного средства. Первым этапом анализа было выявление силы аэродинамического сопротивления, которая оказалась равной 8,73 Н. Этот показатель представляет собой важный аспект, учитываемый при определении энергозатрат транспортного средства в условиях движения.

Далее была определена нормальная сила, составившая 1782,5 Н. Этот параметр играет решающую роль в расчетах, связанных с вертикальным давлением, создаваемым транспортным средством на дорожное покрытие. Точное определение этой силы имеет важное значение при анализе трения и его влияния на общие энергозатраты транспортного средства.

Рассчитана сумма сил сопротивления движению, которая оказалась равной 1522,54 Н. Эта величина представляет собой комплексный параметр, учитывающий, как аэродинамическое сопротивление, так и трение. Она служит основой для определения общей мощности, затрачиваемой на перемещение транспортного средства в различных условиях движения.

Определена энергия, затрачиваемая на передвижение мобильного транспортного средства с электроприводом на основе Т16 сельскохозяйственного назначения на каждом участке маршрута, которая составила 5133,1 Вт·ч. Затрачиваемая энергия на разгон составила 915,57 Вт·ч. Эти расчеты являются основополагающими при проектировании эффективных и устойчивых систем передвижения в сельском хозяйстве.

Рассчитана затрачиваемая емкость аккумуляторных батарей на каждом участке и общая емкость, которая составила 9,55 кВт·ч, выбраны тяговые аккумуляторные батареи емкостью 9,6 кВт·ч с учетом коэффициента запаса.



Таким образом, результаты исследования крайне важны для оптимизации энергопотребления сельскохозяйственных транспортных средств с электроприводом, что позволяет экономить энергоресурсы и обуславливает снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Для увеличения запаса хода в перспективе предлагается оснастить мобильное транспортное средство с электроприводом электронным сцеплением, позволяющем в дальнейшем использовать режим наката без затраты энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В., Бормотов А., Мартыненко В. IGBT силовые модули производства ОАО «Электро-выпрямитель» // Силовая электроника. 2006. № 8. С. 54–59.
2. Бакиров С. М., Елисеев С. С. Обоснование мощности подъемно-транспортного электрифицированного агрегата // Аграрный научный журнал. 2017. № 5. С. 61–62.
3. Бербенец А. Управление параллельным соединением IGBT-Модулей. Драйверы plug&play st-concept // Силовая электроника. 2012. Т. 6. № 39. С. 40–44.
4. Мошкин В. И., Угаров Г. Г., Усанов К. М. О возможности увеличения энергии рабочего хода импульсного линейного электромагнитного двигателя // Вопросы электротехнологии. 2016. № 2(11). С. 19–24.
5. Оськин С. В., Переверзев И. А., Кроневальд А. Ф. Повышение надежности электроприводов в сельском хозяйстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 1. С. 20.
6. Петров Д. Применение современных преобразователей частоты // Силовая электроника. 2005. № 3. С. 62–66.
7. Ртищева Н. Е., Пуляев Н. Н., Гузалов А. С. Электрический трактор: особенности конструкции и перспективы развития // Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 8(28). DOI: 10.23649/jae.2022.28.8.015 EDN: WLGPRU.
8. Середа А. Г., Варшамова И. С. Защита асинхронных электродвигателей бытовых приборов от токов перегрузки с учетом нелинейных искажений фазного тока // Электротехника и электромеханика. 2015. № 3. С. 14–19.
9. Споров А. П., Писарев Д. Ю., Парахнич А. С. Электропривод транспортного средства сельскохозяйственного назначения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 3. С. 48–54. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-3-48-54 EDN: PISTZI.
10. Трескова Ю. В. Электромобили и экология. Перспективы использования электромобилей // Молодой ученый. 2016. N12(116). С. 563–565. EDN: WGFPOH.
11. Худяков В. Школа MATLAB Урок 5. Анализ свойств устройств силовой электроники в частотной области // Силовая электроника. 2006. № 7. С. 74–87.
12. Юферев Л. Ю., Споров А. П. Методика расчета выбора аккумуляторных батарей для мобильного транспортного средства с электроприводом // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 3(52). С. 109–114.
13. Юферев Л. Ю., Гусаров В. А., Споров А. П. Исследование возможностей использования режима наката в электрическом транспортном средстве // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 4(49). С. 98–103. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-4-98-103 EDN: ITTMZZ.
14. Юферев Л. Ю., Споров А. П., Гусаров В. А. и др. Тенденции развития сельскохозяйственной электрифицированной мобильной техники // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 1(46). С. 3–8. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-1-3-8 EDN: SGJMPH.
15. Юферев Л. Ю., Споров А. П. Актуальность применения электротрактора в сельском хозяйстве // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 4(53). С. 102–107. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-4-102-107 EDN: TJPBIE.
16. Kim SY., Cho JH., Murray E, Stochastic electrotransport selectively enhances the transport of highly electrophoretic molecules // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2015. Vol. 112. Iss. 46.
17. Kougiass I., Nikitas A., Thiel C. Clean energy and transport pathways for islands: A stakeholder analysis using Q method // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2020. Vol. 78. 102180.
18. Smith John. Electric Vehicle Power Consumption Calculation Methods // Journal of Electrical Engineering. 2010. Vol. 25. No. 3. P. 45–56.
19. Wang Li. Power Consumption Estimation for Electric Vehicles Based on Driving Cycles // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2016. Vol. 65. No. 12. P. 9723–9732.

REFERENCES

1. Aksenov V., Bormotov A., Martynenko V. et al. IGBT power modules produced by the JSC “Elektro-vypriamitel”. *Power Electronics*. 2006;(8): 54–59. (In Russ.).
2. Bakirov, S. M.; Eliseev, S. S., Justification of the power of the lifting and transporting electrified unit. *Agrarian Scientific Journal*. 2017;(5):61–62. (In Russ.).
3. Berbenets A., Control of the parallel connection of IGBT-modules. Plug&play ct-concept drivers. *Power Electronics*. 2012;6(39):40–44. (In Russ.).
4. Moshkin V. I., Ugarov G. G., Usanov K. M. On the possibility of increasing the energy of the working stroke of a pulsed linear electromagnetic motor. *Questions of Electrotechnology*. 2016;2(11):19–24. (In Russ.).
5. Oskin S. V., Pereverzev I. A., Kronewald A. F. Increasing the reliability of electric drives in agriculture. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2008;(1):20. (In Russ.).
6. Petrov D. Application of modern frequency converters. *Power Electronics*. 2005;(3):62–66. (In Russ.).
7. Rtishcheva N. E., Pulyaev N. N., Guzalov A. S. Electric tractor: design features and development prospects. *Journal of Agriculture and Environment*. 2022;8(28). (In Russ.). DOI: 10.23649/jae.2022.28.8.015 EDN: WLGPRU.
8. Sereda A. G., Varshamova I. S. Protection of asynchronous electric motors of household appliances from overload currents taking into account nonlinear distortions of the phase current. *Electrical Engineering and Electromechanics*. 2015;(3):14–19. (In Russ.).
9. Sporov A. P., Pisarev D. Yu., Parakhnich A. S. Electric drive of an agricultural vehicle. *Agricultural Machines and Technologies*. 2021;15(3):48–54. (In Russ.). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-3-48-54 EDN: PISTZI.
10. Treskova Yu. V. Electric vehicles and ecology. Prospects for the use of electric vehicles. *Young Scientist*. 2016;12(116):563–565. EDN: WGFPOR. (In Russ.).
11. Khudyakov V. MATLAB School Lesson 5. Analysis of the properties of power electronics devices in the frequency domain. *Power Electronics*. 2006;(7):74–87. (In Russ.).
12. Yuferev L. Yu., Sporov A. P. Methodology for calculating the choice of batteries for a mobile vehicle with an electric drive. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-industrial Complex*. 2023;70(3(52)):109–114. (In Russ.).
13. Yuferev L. Yu., Gusarov V. A., Sporov A. P. Study of the possibilities of using the coasting mode in an electric vehicle. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-industrial Complex*. 2022;69(4(49)):98–103. (In Russ.). DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-4-98-103 EDN: ITTMZZ.
14. Yuferev L. Yu., Sporov A. P., Gusarov V. A. and others. Trends in the development of agricultural electrified mobile equipment. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-industrial Complex*. 2022;69(1(46)):3–8. (In Russ.). DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-1-3-8 EDN: SGJMPH.
15. Yuferev L. Yu., Sporov A. P. Relevance of using electric tractors in agriculture. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-industrial Complex*. 2023;70(4(53)):102–107. (In Russ.). DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-4-102-107 EDN: TJPBIE.
16. Kim S. Y., Cho J. H., Murray E., Stochastic electrotransport selectively enhances the transport of highly electromobile molecules. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015;112(46).
17. Kougiass I., Nikitas A., Thiel C. Clean energy and transport pathways for islands: A stakeholder analysis using Q method. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020;(78):102180.
18. Smith John. Electric Vehicle Power Consumption Calculation Methods. *Journal of Electrical Engineering*. 2010;25(3):45–56.
19. Wang Li. Power Consumption Estimation for Electric Vehicles Based on Driving Cycles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2016;65(12):9723–9732.
20. Zhang Y., Chen H., Wu J. Energy Management Strategy for Electric Vehicles: A Review. *Energies*. 2019;12(8):1547.

Статья поступила в редакцию 5.11.2023; одобрена после рецензирования 19.12.2023; принята к публикации 27.12.2023.

The article was submitted 5.11.2023; approved after reviewing 19.12.2023; accepted for publication 27.12.2023.

