

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.2 Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 62-838

<https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp118-126>

**Повышение эксплуатационной надежности транспортных средств  
сельскохозяйственного назначения с электромеханической трансмиссией**

**Антон Павлович Споров**

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

e-mail: antonspo@yandex.ru

**Аннотация.** В настоящее время наблюдается стремительное распространение автономных транспортных средств на электрической тяге, находящих широкое применение на производственных предприятиях, складах, в портовых комплексах, а также в городской среде для перевозки пассажиров в качестве альтернативы традиционным видам общественного транспорта – автобусам, троллейбусам и трамваям. В связи с этим возникает необходимость всестороннего анализа существующих отечественных и зарубежных аналогов электротранспортных средств, с акцентом на выявление их преимуществ и недостатков. Особое внимание следует уделить применению режима выбега в мобильных транспортных средствах с электротягой, что способствует существенному повышению надежности электропривода, увеличению ресурса работы трансмиссии и аккумуляторных батарей, а также снижению потребления электроэнергии. Работа выполнена для тракторного самоходного шасси Т-16М на электротяге с резервным газотурбинным электрогенератором, где разработана электрическая схема подключения двигателя к преобразователю частоты, работающих в режиме выбега. Проведенные экспериментальные исследования показали, что для обеспечения режима выбега (наката), в момент подключения тягового асинхронного электродвигателя к преобразователю частоты, необходимо контролировать величину разности частот возникающего бегущего электромагнитного поля в статоре и частоты вращения ротора. Большая разность частот приводит к значительным токовым перегрузкам и переводу преобразователя частоты в режим ошибки, с последующим его отключением. Проведены экспериментальные исследования зависимости токов включения от разницы частоты бегущего электромагнитного поля статора и скорости вращения ротора электродвигателя, которые показали, что при подключении тягового электродвигателя без индуктивности токи превышают критические значения и при большой разности частот приводят к переводу преобразователя частоты в режим ошибки с последующим выключением, тогда как подключение с индуктивностью снижает ток включения, позволяя использовать режим выбега; таким образом, применение индуктивности повышает эксплуатационную надежность системы электропривода, предотвращает аварийные отключения преобразователя, снижает тепловую нагрузку на его силовые элементы и обмотки двигателя, при этом была выбрана рациональная индуктивность, обеспечивающая двукратное снижение тока при сохранении работоспособности электропривода.

**Ключевые слова:** мобильное транспортное средство на электротяге, режим выбега, транспортное средство с электроприводом, асинхронный электродвигатель, индуктивность

**Для цитирования:** Споров А. П. Повышение эксплуатационной надежности транспортных средств сельскохозяйственного назначения с электромеханической трансмиссией // Аграрный научный журнал. 2026. № 1. С. 118–126. <https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp118-126>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Improving the operational reliability of agricultural vehicles  
with electromechanical transmission**

**Anton P. Sporov**

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

e-mail: antonspo@yandex.ru

**Abstract.** At present, there is a rapid expansion in the use of autonomous electric traction vehicles, which are widely employed at industrial enterprises, warehouses, port facilities, and in urban environments for passenger transportation as an alternative to traditional public transport systems, such as buses, trolleybuses, and trams.



In this context, there arises a need for a comprehensive analysis of existing domestic and foreign electric vehicle analogs, with an emphasis on identifying their advantages and limitations. Particular attention should be given to the implementation of the coasting mode in mobile electric traction vehicles, which significantly enhances the reliability of the electric drive, extends the service life of the transmission and battery systems, and reduces energy consumption. This study focuses on the T-16M self-propelled tractor chassis equipped with an electric drive and a backup gas turbine generator. An electrical circuit was developed to connect the motor to the frequency converter, allowing operation in the coasting mode. Experimental studies revealed that to enable coasting, it is crucial to control the frequency difference between the rotating electromagnetic field in the stator and the rotor's rotational speed at the moment of connecting the traction induction motor to the frequency converter. A significant frequency mismatch leads to excessive current surges, causing the frequency converter to enter a fault mode and subsequently shut down. Experimental investigations into the dependence of inrush currents on the frequency difference between the stator's rotating electromagnetic field and the rotor's rotational speed were conducted. The results showed that connecting the traction motor without inductance leads to critical current levels, which, under large frequency discrepancies, trigger fault conditions in the frequency converter, causing it to shut down. Conversely, the use of an inductive element during connection reduces the inrush current, enabling the effective use of the coasting mode.

**Keywords:** electric traction mobile vehicle, coasting mode, electrically driven vehicle, induction motor, inductance

**For citation:** Sporov A. P. Improving the operational reliability of agricultural vehicles with electro-mechanical transmission. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2026;(1):118–126. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp118-126>.

**Введение.** В настоящее время активно развивается использование транспортных средств с электроприводом и аккумуляторными батареями большой емкости [8]. Даже в России наблюдается устойчивая тенденция уклона выпускаемых транспортных средств в сторону электромобилей. В Москве электробусы массово заменяют дизельные автобусы [10, 11]. В подавляющем большинстве производятся легковые автомобили различной мощности, отличающиеся по конструкции, емкости аккумуляторной батареи, применяемой кинематической схеме, уровню комфорта. Фактически современные электромобили обладают большими запасами мощности и воплощают в себе множество технологических инноваций [7]. Мировая практика предполагает использование электротранспорта на промышленных предприятиях, грузовых портах, складских помещениях и т. д., для подъема применяется транспортно-грузоподъемные машины, работающие на аккумуляторах [14]. Аграрная отрасль экономики также развивается, и сегодня введены в эксплуатацию модели сельскохозяйственных машин, работающих на электрической тяге [2]. Текущий технологический уровень производства способствует разработке сложных электронных компонентов на микроуровне [5]. Данная концепция позволяет внедрить электроприводные технологии для реализации тяги трактора. Актуальной задачей остается совершенствование тракторов с электрической тягой российского производства [9]. Тракторы с электроприводом в качестве механического источника энергии для силового агрегата по современной терминологии стали называть электротракторами [1].

Мировая практика показывает, что большинство производителей электротранспорта используют тяговые электродвигатели на постоянных магнитах (ДПМ) с частотным управлением, по их заявлению, применение таких электродвигателей снижает расход электроэнергии на намагничивание ротора электродвигателя и способствует использованию рекуперации для подзарядки аккумуляторных батарей [3]. Работа ДПМ в электротранспорте происходит на всех режимах движения: при разгоне, движении с постоянной скоростью, торможении. Различают два вида торможения: плавное – может осуществляться электродвигателем, в этот момент происходит рекуперация и часть электроэнергии компенсируется, или интенсивное – педалью тормоза, где не происходит экономии энергии. Практика показывает, что при смешанном цикле движения, город – трасса, экономия энергии за счет рекуперации не превышает 8–10 %, постоянная работа электрической машины в режиме двигатель–генератор заметно снижает ее ресурс и надежность. Например, дизельные и бензиновые автомобили, для увеличения ресурса двигателя и снижения расхода топлива, применяют режим выбега (наката), разогнавшись, двигатель отключается от трансмиссии, автомобиль свободно катится, в этот момент происходит более интенсивное охлаждение мотора, расход топлива минимальный [13]. Выбег автомобиля – это движение его по инерции с момента отключения двигателя и до полной остановки.



Цель исследования – изучить возможность и целесообразность применения режима выбега для транспортного средства с электротягой.

**Материалы и методы.** Для теоретических исследований по применению новой электромеханической схемы, позволяющей реализовать режим наката, выбрано имеющееся электрическое тракторное самоходное шасси Т-16М на электротяге с электромеханической трансмиссией и электродвигателем АИР 132 М411/1500, мощностью 11 кВт, предназначенный для транспортных работ по перевозке грузов массой до 1000 кг. Газотурбинный генератор и режимы его работы в данной работе не рассматриваются.

**Результаты исследований.** Применение на Т-16М в качестве силового агрегата асинхронного электродвигателя, где нет постоянных магнитов, и в случае отключения источника электропитания прекращается электромагнитное взаимодействие между ротором и статором, дает возможность отключить и включать его во время движения осуществляя режим наката.

Первоначально на электрическом тракторном самоходном шасси Т-16М, была реализована электрическая блок-схема, представленная на рисунке 1.

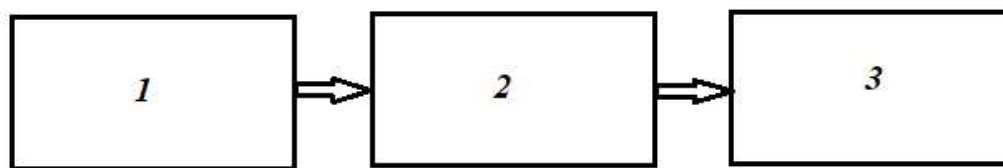


Рисунок 1 – Стандартная блок-схема электропривода: 1 – тяговая аккумуляторная батарея; 2 – преобразователь частоты для управления вращением электродвигателя; 3 – асинхронный электродвигатель

Figure 1 – Standard block diagram of the drive: 1 – traction battery; 2 – frequency converter for electric motor rotation control; 3 – asynchronous electric motor

На прямолинейных участках дороги разгон, равномерное движение и торможение производятся электродвигателем, а значит, расход электроэнергии на всех режимах неизбежен. Кроме того, при равномерном движении происходят вращательные колебания трансмиссии, что приводит к ее преждевременному износу [8, 12].

Расчетные исследования показали, что прямолинейный участок  $l = 1400$  м, электрическое тракторное самоходное шасси Т-16М без груза проходит со средней скоростью 30 км/ч за 0,047 ч. На основании этого был составлен график изменения тока потребления (рисунок 2).



Рисунок 2 – График зависимости тока электропривода от времени при движении трактора Т-16М

Figure 2 – Graph of dependence of electric drive current on time when the tractor T-16M is moving

Расчетный расход электроэнергии на перемещение электрического тракторного самоходного шасси Т-16М массой 1800 кг по асфальтированному покрытию со временем работы электродвигателя 0,042 ч на участке длиной 1400 м составляет  $W_{\text{рас.пост}}$  Вт·ч:

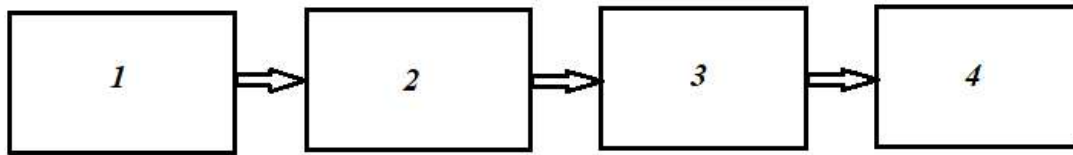


$$W_{\text{РАС.ПОСТ}} = 1,73 U I t_{\text{ПОСТ}} \cos\varphi / \eta_{\text{АМ}}, \quad (1)$$

где 1,73 – коэффициент пересчета;  $U$  – напряжение 380 В;  $I$  – среднее значение тока 7,5 А;  $t_{\text{ПОСТ}}$  – время работы электродвигателя в постоянном режиме 0,047 ч;  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности 0,83;  $\eta_{\text{АМ}}$  – КПД электродвигателя 0,83;

$$W_{\text{РАС.ПОСТ}} = 1,73 \cdot 380 \cdot 7,5 \cdot 0,047 / 0,83 = 279 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Для реализации движения в режиме наката была разработана блок-схема управления асинхронным электродвигателем с коммутирующим блоком, представленная на рисунке 3.

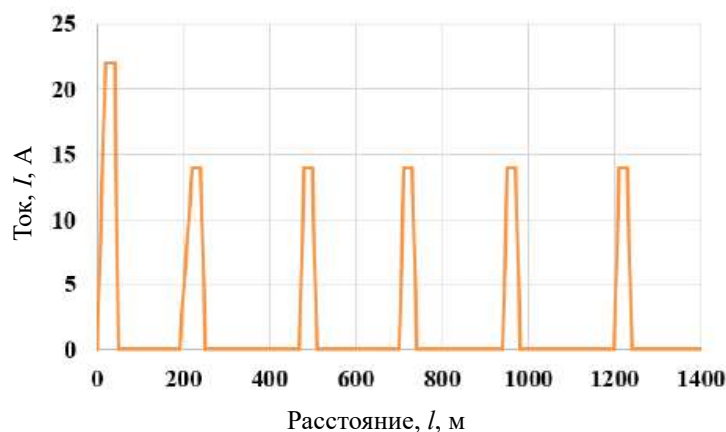


*Рисунок 3 – Блок-схема управления асинхронным электродвигателем с коммутирующим блоком: 1 – аккумуляторные батареи; 2 – преобразователь частоты для управления вращением электродвигателя; 3 – коммутирующий блок; 4 – асинхронный электродвигатель*

*Figure 3 – Block diagram of induction motor control with switching unit: 1 – batteries; 2 – frequency converter for controlling the rotation of the electric motor; 3 – switching unit; 4 – asynchronous electric motor*

При движении Т-16М с электроприводом по трассе из-за влияния потерь на трение механизмов, дорожного покрытия и других причин предполагается произвести шесть разгонов.

Был составлен расчетный график зависимости тока от времени для этого же участка дороги при движении с режимом выбега, представленный на рисунке 4.



*Рисунок 4 – График зависимости тока электропривода от времени при выбега трактора Т-16 с электроприводом*

*Figure 4 – Graph of dependence of electric drive current on time during coasting of tractor T-16 with electric drive*

Расчетный расход затраченной электроэнергии на перемещение Т-16М массой 1800 кг по твердому асфальтированному покрытию со временем работы электродвигателя 0,017 ч на участке длиной 1400 м составляет  $W_{\text{РАС.НАК}}$  Вт·ч:

$$W_{\text{РАС.НАК}} = 1,73 U I t_{\text{ВЫБ}} \cos\varphi / \eta_{\text{АМ}}, \quad (2)$$

где  $I$  – среднее значение тока 13,5 А;  $t_{\text{ВЫБ}}$  – время работы электродвигателя в режиме выбега 0,017 ч;

$$W_{\text{РАС.НАК}} = 1,73 \cdot 380 \cdot 14,0 \cdot 0,016 / 0,83 = 177 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Таким образом, расчетная экономия электроэнергии при использовании режима выбега, по сравнению с движением без режима выбега, на прямолинейном участке составляет  $\Delta W_{\text{РАС}}$  Вт·ч:



$$\Delta W_{\text{PAC}} = W_{\text{PAC.ПОСТ}} - W_{\text{PAC.НАК}}; \quad (3)$$

$$\Delta W_{\text{PAC}} = 279 - 177 = 102 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Инструкция по эксплуатации преобразователя частоты запрещает подключать электродвигатель при включенном ПЧ в рабочем режиме, частота должно повышаться с 0 Гц и выше. В момент подключения нагруженного электродвигателя к ПЧ возникающая частота магнитного поля статора не совпадает с частотой вращения ротора, и чем больше разница частот, тем больше ток включения. Максимальный ток частотного преобразователя составляет 22 А, превышение способствует переходу в режим ошибки и отключению преобразователя [4, 6]. По этой причине необходимо снизить ток включения, он не должен превышать максимально допустимый ток. Для этого в цепь установлена индуктивность, представленная на рисунке 5. Для определения влияния индуктивности на ток потребления проведены экспериментальные исследования с включением в цепь индуктивности 100 мГн, 150 мГн и 200 мГн, разность частоты ПЧ и виртуальная частота ротора, при проведении экспериментов, составила 25 Гц. При частоте вращения электромагнитного поля 50 Гц частота вращения ротора составляет 1420 мин<sup>-1</sup>, коэффициент скольжения равен 5,4 %. Так, например, электродвигатель работает на частоте 50 Гц, частота вращения ротора равна 1420 мин<sup>-1</sup>, далее он через КМ1 он отключается от ПЧ, причем частота на ПЧ сохраняется 50 Гц, обороты электродвигателя снижаются до 710 мин<sup>-1</sup>, что соответствует 25 Гц, и двигатель вновь подключается к ПЧ, обороты ротора увеличиваются, происходит резкий рост тока.

Для подтверждения разработанной теории разработан блок коммутации, электрическая схема которого состоит из индуктивности L1, перекидного реле КМ1, байпасной линии, представленной на рисунке 5.

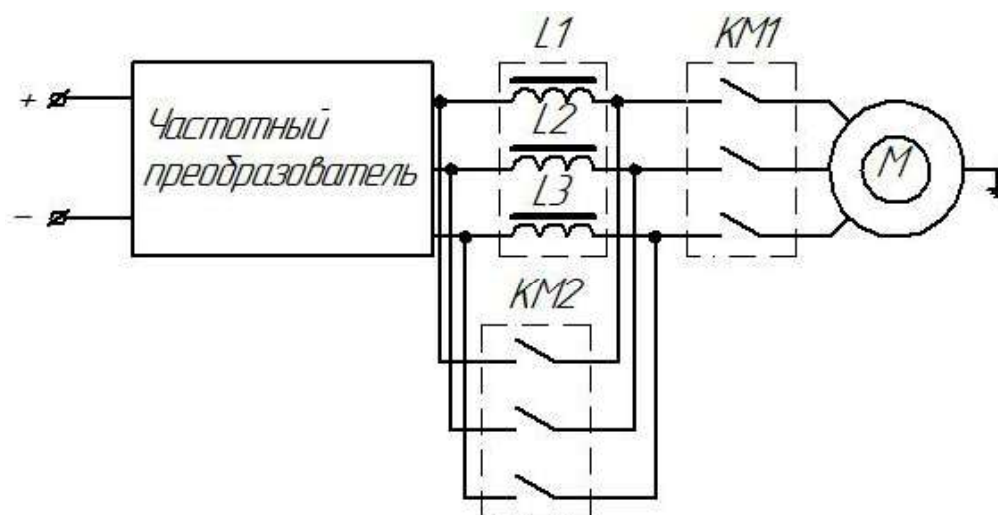


Рисунок 5 – Электрическая схема подключения двигателя к частотному преобразователю

Figure 5 – Electrical wiring diagram of a motor to a frequency converter

Работает система следующим образом. Первоначально включается цепь: преобразователь частоты – индуктивность – КМ1 – электродвигатель. В этом случае индуктивность снижает ток включения, электродвигатель приводится во вращение, через 1,5–2,0 с производится переключение контактов КМ2 на цепь: преобразователь частоты – КМ1 – электродвигатель.

Приведены параметры тока при включении электродвигателя с индуктивностью 100 мГн и без индуктивности на разных частотах включения электродвигателя при снижении оборотов на 50 % от первоначальных представленная в таблице 1.

В представленных далее таблицах и графических материалах приведены значения тока, протекающего через обмотки электродвигателя. Следует учитывать, что полный ток цепи «электродвигатель – индуктивность» отличается незначительно, поскольку индуктивный элемент выполняет функцию ограничения скорости нарастания тока в переходных процессах и в установившемся режиме практически не влияет на активную составляющую тока. Таким



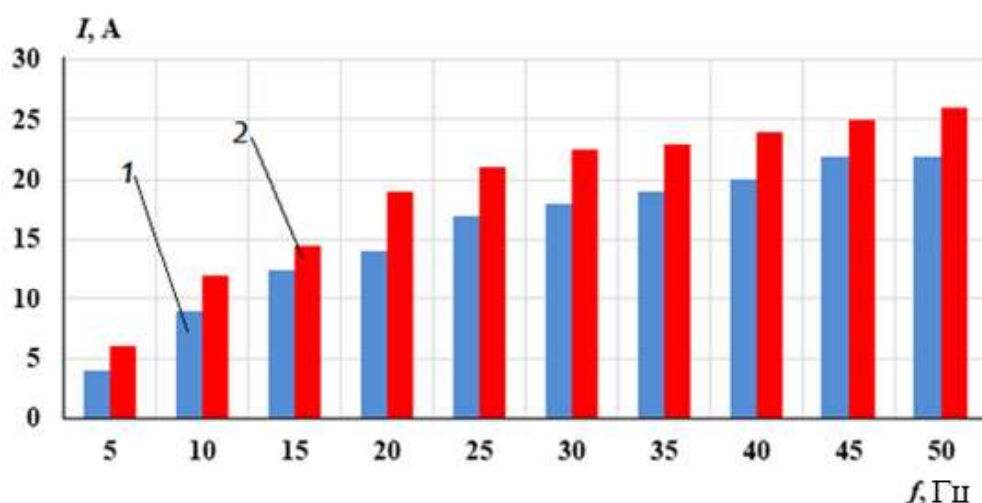
образом, использование данных по току электродвигателя является корректным для оценки энергетической эффективности предложенной схемы.

**Таблица 1 – Параметры тока при запуске электродвигателя с индуктивностью 100 мГн и без нее**

**Table 1 – Current parameters at start-up of the electric motor with and without 100 mH inductance**

Частота, Гц	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
<i>I</i> , А, с индуктивностью 100 мГн	4	9	12,5	14	17	16	19	20	23	22
<i>I</i> , А, без индуктивности	6	12	14,5	19	24	22,5	23	24	25	26

На рисунке 6 представлена диаграмма тока на разных частотах включения электродвигателя от ПЧ при снижении оборотов на 50 % от первоначальных оборотов с индуктивностью 100 мГн.



**Рисунок 6 – Диаграмма зависимости пускового тока электродвигателя от частоты при индуктивности 100 мГн: 1 – параметры тока с включенной в цепь индуктивностью 100 мГн; 2 – параметры тока без индуктивности**

**Figure 6 – Diagram of frequency dependence of motor starting current at inductance 100 mH: 1 – current parameters with a 100 mH inductance included in the circuit; 2 – current parameters without inductance**

В таблице 2 приведены параметры тока при включении электродвигателя с индуктивностью 150 мГн и без индуктивности на разных частотах включения электродвигателя при снижении оборотов на 50 % от первоначальных.

**Таблица 2 – Параметры тока при запуске электродвигателя с индуктивностью 150 мГн и без нее**

**Table 2 – Current parameters at start-up of the electric motor with and without 150 mH inductance**

Частота, Гц	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
<i>I</i> , А, с индуктивностью 150 мГн	3	7	8	10	11	11,5	12	12,5	13	13,5
<i>I</i> , А, без индуктивности	6	12	14,5	19	24	22,5	23	24	25	26

На рисунке 7 представлена диаграмма тока на разных частотах включения электродвигателя от ПЧ при снижении оборотов на 50 % от первоначальных оборотов с индуктивностью 150 мГн.

Приведены параметры тока при включении электродвигателя с индуктивностью 200 мГн и без индуктивности на разных частотах включения электродвигателя при снижении оборотов на 50 % от первоначальных (таблица 3).

На рисунке 8 представлена диаграмма тока на разных частотах включения электродвигателя от ПЧ при снижении оборотов на 50 % от первоначальных оборотов с индуктивностью 200 мГн.



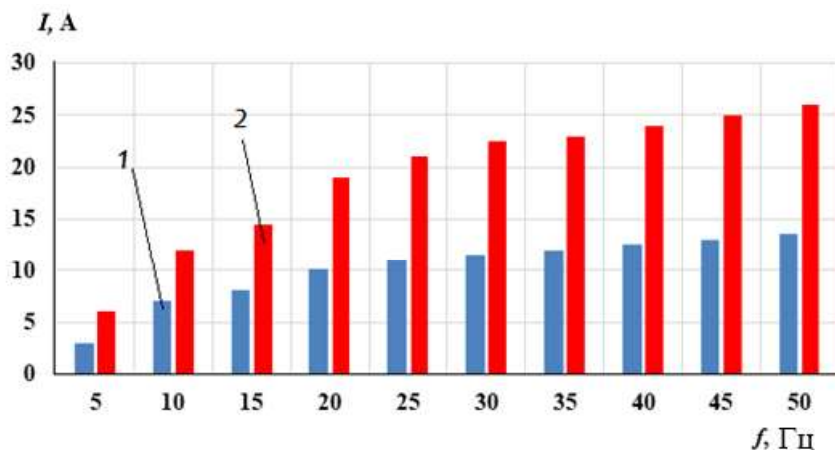


Рисунок 7 – Диаграмма зависимости пускового тока электродвигателя от частоты при индуктивности 150 мГн: 1 – параметры тока с включенной в цепь индуктивностью 150 мГн; 2 – параметры тока без индуктивности

Figure 7 – Diagram of frequency dependence of motor starting current at inductance 150 mH: 1 – current parameters with a 150 mH inductance included in the circuit; 2 – current parameters without inductance

Таблица 3 – Параметры тока при запуске электродвигателя с индуктивностью 200 мГн и без нее

Table 3 – Current parameters at start-up of the electric motor with and without 200 mH inductance

Частота	5	10	15	20	25	30	35
$I$ , А, с индуктивностью 200 мГн	4	5	6	7	7	8	8
$I$ , А, без индуктивности	7	11	16	19	24	27	30

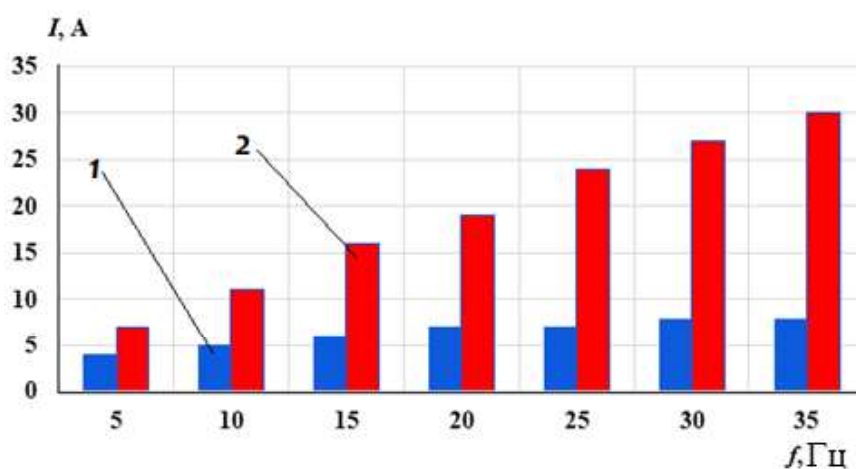


Рисунок 8 – Диаграмма зависимости пускового тока электродвигателя от частоты при индуктивности 200 мГн: 1 – параметры тока с включенной в цепь индуктивностью 200 мГн; 2 – параметры тока без индуктивности

Figure 8 – Diagram of frequency dependence of motor starting current at inductance 200 mH: 1 – current parameters with a 200 mH inductance included in the circuit; 2 – current parameters without inductance

Из полученных результатов установлено, что при включении индуктивности 100 мГн происходит снижение тока включения до уровня 22 А, что является критически высоким, при котором ПЧ переходит в режим ошибки с последующим отключением.

При включении индуктивности 150 мГн ток включения в два раза ниже тока включения без индуктивности, что обеспечивает работоспособную характеристику.

При включении индуктивности 200 мГн ток включения значительно ниже тока включения без индуктивности, что предполагает слишком низкую мощность электропривода.



Полученные результаты свидетельствуют о том, что снижение пусковых токов при включении электродвигателя напрямую связано с повышением эксплуатационной надежности электропривода. Уменьшение амплитуды токовых перегрузок позволяет исключить аварийные отключения преобразователя частоты, снизить тепловую нагрузку на его силовые элементы и обмотки электродвигателя, что в конечном итоге способствует увеличению ресурса работы как двигателя, так и преобразователя. Наиболее рациональным значением индуктивности является 150 мГн, так как оно обеспечивает двукратное снижение тока при сохранении работоспособной характеристики электропривода.

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования показали, что для обеспечения режима выбега Т-16М на электротяге в момент подключения тягового асинхронного электродвигателя к преобразователю частоты необходимо контролировать величину разности частот возникающего бегущего электромагнитного поля в статоре и преобразователя. Большая разность частот приводит к значительным токовым перегрузкам и переводу преобразователя частоты в режим ошибки, с последующим его отключением. Проведены экспериментальные исследования зависимости токов включения от разницы частоты преобразователя и бегущего электромагнитного поля статора электродвигателя. Построены графики мгновенной нагрузки, которые показали, что при подключении тягового электродвигателя полученные значения токов превышают критические значения ПЧ, что приведет к его переводу в режим ошибки с последующим выключением. Разработана электрическая схема, уменьшающая ток включения, в которую необходимо установить между двигателем и частотным преобразователем соответствующую индуктивность, способствующую уменьшить ток включения до предельно допустимого уровня, что значительно снижает расход энергии, повышает надежность трансмиссии и ее ресурс.

Дополнительно установлено, что включение индуктивности 150 мГн обеспечивает снижение пускового тока в два раза по сравнению с режимом без нее, а использование 200 мГн – более чем в три раза. Это позволяет исключить аварийные отключения преобразователя частоты, уменьшает электротермическое воздействие на обмотки двигателя и снижает вероятность отказов силовой электроники. Таким образом, повышение эксплуатационной надежности достигается за счет уменьшения перегрузочных режимов, стабилизации работы электропривода и увеличения ресурса его основных элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бижаев А. В. Исследование параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 4. С. 33–42.
2. Галушак В. С., Сошинов А. Г., Хавроничев С. В., Петренко С. А. Бытовой сельский электротранспорт - солнцекат «Фермер» // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2(46). С. 83–87. EDN QPJMNM.
3. Годжаев З. А., Овчинников Е. В., Овчаренко А. С. Разработка и создание ходовых систем сельскохозяйственных тракторов со сменной полугусеницей // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 3. С. 498–509. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.498-509. EDN FQJGIQ.
4. Годжаев З. А., Сенькевич С. Е., Алексеев И. С., Ильченко Е. Н. Обоснование выбора параметров электро-механической трансмиссии для трактора тягового класса 0,6–0,9 и согласование тяговых характеристик // Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 1. С. 63–70. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-63-70. EDN LKJWSF.
5. Загинайлов В. И., Андреев С. А. История развития, состояние и перспективы применения электро-мобильной техники в полеводстве // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2017. № 6(82). С. 15–22. EDN: ZWKXVN.
6. Кравченко В. А., Кравченко Л. В., Сенькевич С. Е. [и др.] Влияние УДМ в силовой передаче энергетического средства класса 1,4 на буксование его движителей при работе в составе МТА // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 178. С. 119–128. DOI: 10.21515/1990-4665-178-010. EDN AHSFAQ.
7. 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.
8. Юферев Л. Ю., Споров А. П., Гусаров В. А., Писарев Д. Ю. 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.



9. Юферев Л. Ю., Споров А. П. Конструкция и компоновка электрического мобильного транспортного средства для фермерского хозяйства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. № 3(48). С. 89–94. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-3-89-94. EDN GEPWPU.

10. Kabanov A. V., Kabanov A. V. Jr., Kabanov A. V. Sr. Improving the Reliability of Mobile Vehicles with Electromechanical Transmissions // *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 15432–15445.

11. Kiseeva L. N., Aukhadeev A. E., Babakuliev R. Yu., Fazylov S. G. Current state and problems of urban electric transport in Russia // *Modern Science*. 2018. No. 1–1. P. 42–44. EDN YOSFLG.

12. Roslan M. A., Rahmat M. F., Sabri M. F. M. Design for Reliability of a Vehicle Transmission System // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2017. Vol. 231. No. 10. P. 1350–1362.

13. Shakizar W. A. S. W., Mazali I. I., Daud Z. H. C. Enhancing the Efficiency of Electric Vehicle's Motor Using Electro-Mechanical Continuously Variable Transmission // *International Journal of Automotive Technology*. 2021. Vol. 22. No. 4. P. 871–882.

14. Wang H., Liserre M., Blaabjerg F. Reliability of Power Electronic Systems for EV/HEV Applications // *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2014. Vol. 29. No. 6. P. 2731–2744.

## REFERENCES

1. Bizhaev A. V. Investigation of the parameters of a tractor with an electric drive power unit. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(4):33–42. (In Russ.)

2. Galushchak V. S., Soshinov A. G., Khavronichev S. V., Petrenko S. A. Household rural electric transport – solar-powered “Farmer” vehicle. *Bulletin of Agricultural Science of the Don*. 2019;2(46):83–87. EDN QPJNMM. (In Russ.)

3. Godzhaev Z. A., Ovchinnikov E. V., Ovcharenko A. S. Development and creation of running systems for agricultural tractors with an interchangeable half-track. *Agriarian Science of Euro-North-East*. 2023;24(3):498–509. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.498-509. EDN FQJGIQ.

4. Godzhaev Z. A., Senkevich S. E., Alekseev I. S., Ilchenko E. N. Justification for selecting the parameters of an electromechanical transmission for a 0.6–0.9 traction class tractor and harmonization of traction characteristics. *Agroengineering*. 2023;25(1):63–70. (In Russ.). DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-63-70. EDN LKJWSF.

5. Zaginaylov V. I., Andreev S. A. History, current state, and prospects for the application of electric vehicle technologies in field crop production. *Bulletin of the Moscow State Agroengineering University named after V. P. Gor'yachkin*. 2017;6(82):15–22. EDN ZWKXVN. (In Russ.)

6. Kravchenko V. A., Kravchenko L. V., Senkevich S. E. [et al.] Influence of UDM in the power transmission of a class 1.4 energy vehicle on the slippage of its movers when operating as part of an MTA. *Multidisciplinary Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*. 2022;(178):119–128. (In Russ.). DOI: 10.21515/1990-4665-178-010. EDN AHSFAQ.

7. Sporov A. P., Pisarev D. Yu., Parakhnich A. S. Electric drive of an agricultural transport vehicle. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(3):48–54. (In Russ.). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-3-48-54. EDN PISTZI.

8. Yuferev L. Yu., Sporov A. P., Gusarov V. A., Pisarev D. Yu. Trends in the development of electrified mobile agricultural machinery. *Electrotechnologies 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.

9. Yuferev L. Yu., Sporov A. P. Design and layout of an electric mobile transport vehicle for farming. *Electrotechnologies and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2022;69;3(48):89–94. (In Russ.). DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-3-89-94. EDN GEPWPU.

10. Kabanov A. V., Kabanov A. V. Jr., Kabanov A. V. Sr. Improving the reliability of mobile vehicles with electromechanical transmissions. *IEEE Access*. 2024;(12):15432–15445.

11. Kiseeva L. N., Aukhadeev A. E., Babakuliev R. Yu., Fazylov S. G. Current state and problems of urban electric transport in Russia. *Modern Science*. 2018;(1-1):42–44. EDN YOSFLG.

12. Roslan M. A., Rahmat M. F., Sabri M. F. M. Design for Reliability of a Vehicle Transmission System. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2017;231(10):1350–1362.

13. Shakizar W. A. S. W., Mazali I. I., Daud Z. H. C. Enhancing the Efficiency of Electric Vehicle's Motor Using Electro-Mechanical Continuously Variable Transmission. *International Journal of Automotive Technology*. 2021;22(4):871–882.

14. Wang H., Liserre M., Blaabjerg F. Reliability of Power Electronic Systems for EV/HEV Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2014;29(6):2731–2744.

Статья поступила в редакцию 27.02.2025; одобрена после рецензирования 23.04.2025; принята к публикации 24.05.2025.  
The article was submitted 27.02.2025; approved after reviewing 23.04.2025; accepted for publication 24.05.2025.

