

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА САМОХОДНОГО КОРМОРАЗДАТЧИКА ПРИ ПИТАНИИ ОТ ТЯГОВОГО АККУМУЛЯТОРА

А.В. Крутов, к.т.н.,

П.В. Шутко, студент

Белорусский государственный аграрный технический университет,

Минск, Республика Беларусь

e-mail: An8737@yandex.ru

Проблема снижения выбросов углекислого газа актуальна и для сельскохозяйственного производства. В этой отрасли задействовано большое количество мобильных агрегатов и автотракторной техники. Отдельные технические средства с двигателями внутреннего сгорания можно перевести на электропривод.

Анализ научно-технической информации, опыта использования городского электротранспорта, электробусов в Беларуси и за рубежом показывает, что многие технологические операции в сельском хозяйстве могут быть реализованы путем применения самоходных машин с электроприводом, запитанном от тяговых аккумуляторов. Известен, например, самоходный смеситель-кормораздатчик с электрическим приводом SILOKING TruckLine e.0 eTruck 1408-10 (ФРГ) [1]. Замена двигателей внутреннего сгорания на электрические, где это возможно, повысит культуру сельскохозяйственного производства, снизит потребность в углеводородном топливе и смазочных материалах, а главное, уменьшит загрязненность окружающей среды при утечке нефтепродуктов из топливно-смазочных систем, отводе выхлопных газов.

Цель настоящей работы – изложить методику выбора мощности электродвигателя для электропривода рабочих органов самоходного кормораздатчика.

В отличие от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) электродвигатель имеет максимальный крутящий момент в более широком диапазоне частоты вращения вала. Коэффициент полезного действия (КПД) электродвигателя может достигать 90%, а ДВС (дизель) – 50%. Таким образом, примерно 90% энергии от аккумуляторной батареи преобразуется в механическую энергию (10 % - потери в двигателе, трансмиссии, цепях управления) [2]. Электродвигатель не загрязняет окружающую атмосферу выхлопными газами, создает меньше шума, не вызывает стрессового состояния у животных от «перегазовки» ДВС в момент трогания агрегата или перегрузки. С учетом приведенных выше преимуществ, представляется возможным перейти на выпуск электрока-

ров-кормораздатчиков вместо мобильных кормораздатчиков с ДВС, заменить электрокарами тракторную и мобильную технику, агрегирующую различные прицепы, сельскохозяйственное оборудование на животноводческих фермах. В животноводстве ряд работ имеет периодический, непродолжительный по времени характер. В их числе кормление животных, удаление навоза и другие операции, где применяется в качестве тяговых машин трактор. На животноводческих комплексах и фермах встречаются стационарные кормораздатчики с электроприводом. Но питание его электродвигателя осуществляется, как правило, через кабель, подключенный к распределительному шкафу. Необходимость кабельного подвода электроэнергии ограничивает ход кормораздатчика длиной кабеля и лишает возможности доставки корма, хранящегося за пределами помещения фермы.

В Беларуси научно-производственным центром по механизации сельского хозяйства разработан самоходный кормораздатчик типа ССР-12. Но у него в качестве энергетической установки используется дизельный двигатель Д-260, мощностью 190 кВт. Многие зарубежные фирмы также выпускают самоходные миксеры-кормораздатчики, смесители-кормораздатчики. Но они также с дизельными силовыми установками мощностью 190-285 л.с.

В [2] мы излагали конструкционные требования к электроприводу электрокара-кормораздатчика. Самоходные электроагрегаты сельскохозяйственного назначения должны быть максимально приближены к устройству их аналогов – автотракторных машин. Модернизации подлежат их силовые агрегаты с установкой на существующие шасси. На первом этапе это сократит сроки проектирования электрокаров для сельскохозяйственного производства. В дальнейшем их эксплуатация в реальных условиях укажет направления совершенствования.

Требования к выбору электродвигателя с учетом [3-4]:

- механическая характеристика электродвигателя должна максимально соответствовать механической характеристике рабочей машины. Электродвигатель должен сообщать приводу необходимые величины скорости как при работе, так и при пуске в ход. При этом в процессе работы температура электродвигателя в наиболее тяжелых режимах работы не должна превосходить предельные значения, предусмотренные нормами по его нагреву.

Электропривод самоходного электрокормораздатчика может быть предусмотрен однодвигательный или многодвигательный. В первом случае необходимо вращательный момент на рабочие органы кормораздатчика передавать с помощью различного вида передач, редукторов. При многодвигательном электроприводе рабочие органы агрегата приводятся в движение отдельными двигателями. К основным операциям, которые должен выполнять кормораздатчик являются забор

корма (самозагрузка), измельчение, смешивание грубых, сухих или (и) влажных компонентов рациона, транспортировка к месту содержания животных, дозирование и раздача приготовленной кормовой смеси. Как правило, в рацион, например, крупного рогатого скота входят сено, сенаж, силос, корнеплоды, жидкие добавки, концентрированный корм (комбикорм гранулированный, крупка). Выбирая многодвигательный электропривод, можно добиться ряда преимуществ, а именно:

- снижение потребления энергии от аккумулятора, так как будет иметь место работа двигателей меньшей мощности в различные периоды времени, вместо необходимости снабжать энергией один мощный двигатель в течение производственного цикла. Мощный двигатель будет работать не в полную нагрузку на отдельных операциях;

- многодвигательный электропривод позволит работать двигателям с постоянной длительной нагрузкой (режим S1), уменьшит длительность их работы в холостом или недогруженном режиме.

Мощность двигателей и емкость тяговой аккумуляторной батареи будут зависеть от скорости движения, емкости загрузочного бункера и веса электрокормораздатчика (масса раздатчика, вес груза, вес водителя), длительности перемещения кормосмеси, продолжительности работы и ее периодичности (время между зарядками аккумулятора). При этом можно допустить, что движение будет в основном равномерное, угол наклона дорожного полотна минимальный (до 12%).

Тогда расчетную мощность электродвигателя ходовой части в соответствии с уравнением движения можно определить следующим выражением:

$$P_{\text{макс.т}} = \frac{F_{\text{тяг}} V_{\text{макс}}}{\eta_{\text{общ}}} = \frac{V_{\text{макс}}}{\eta_{\text{общ}}} (ma + mgf_{\text{тр}} \cos \alpha + mgs \sin \alpha + c_x S \frac{V^2}{2} \rho_v) k, \quad (1)$$

где $F_{\text{тяг}}$ – тяговое усилие, необходимое для движения, Н;

g – ускорение свободного падения (9,8 м/с²);

a – ускорение при движении, м/с²;

$V_{\text{макс}}$ – максимальная транспортная скорость, м/с (начальная скорость $V_0 = 0$;

m – общая масса кормораздатчика, кг;

$f_{\text{тр}}$ – коэффициент силы трения колес о дорожное полотно (для грунтовой дороги $f_{\text{тр}} = 0,1$);

c_x – коэффициент сопротивления воздуху, $c_x = 0,3 \dots 0,4$;

S – максимальная площадь поперечного сечения агрегата, м²;

ρ_v – плотность воздуха, = 1,225кг/м³;

$V = V_{\text{макс}} + V_v$ – расчетная скорость передвижения для преодоления сопротивления встречного ветра, м/с (V_v – скорость встречного ветра, $V_v = 3,5...5$ м/с);

α – угол наклона дорожного полотна, в градусах,

$$\alpha = \arctg(0,01 \times \text{уклон в}\%);$$

k – коэффициент разгона (медленный разгон $k = 1$, динамичный – $k = 1,5...2,0$);

$\eta_{\text{общ}}$ – общий КПД, $\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{контр}}$,

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии (0,72...0,78);

$\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя (0,85...0,9);

$\eta_{\text{контр}}$ – КПД контроллера (0,95).

Общая масса кормораздатчика принимается с учетом установленного объема бункера (обычно типоразмерный ряд 13, 16, 20 м³). Максимальная транспортная скорость – 25 км/ч.

Мощность двигателя для электропривода измельчителя или миксера можно определить согласно следующему выражению [5,6]:

$$P_{\text{фтр}} = \frac{3,6k\gamma D^2 L_p n}{60\eta_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где k – коэффициент, зависящий от величины измельчения;

γ – объемная плотность измельчаемого корма, кг/м³;

D – диаметр ротора измельчителя или диаметр мешалки, м;

L_p – длина ротора измельчителя, мешалки миксера, м;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД механической передачи;

n – частота вращения ротора, миксера, об/мин.

При определении мощности измельчителя или миксера, в формулу (2) подставляется значение объемной плотности того вида корма, у которого оно наибольшее. Справочно: объемная плотность картофеля 750 кг/м³, сенажа – 550, силоса – 650...750, комбинированного силоса 1000...1100 кг/м³.

Мощность электропривода шнекового транспортера механизма раздачи определим по формуле [6]:

$$P_{\text{тр}} = \frac{Qk_1k_2L}{367\eta_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления при пуске, $k_1 = 1,2 \dots 1,5$;

k_2 – коэффициент сопротивления компонентов корма $k_2 = 1,6 \dots 2,0$;

Q – производительность, т/ч;

L – длина перемещения корма, м;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД механической передачи между электродвигателем и механизмом раздачи.

Раздача кормосмеси может осуществляться на обе стороны проезда в кормушки животных. С учетом необходимости дозирования корма, на каждую сторону раздачи следует установить свой электродвигатель.

По предварительно определенной мощности вышеперечисленных электроприводов выбирают электродвигатели. С учетом механических характеристик рабочих механизмов (максимальных моментов сопротивления) выполняют проверочный расчет электродвигателей на нагрев и перегрузочную способность, возможность пуска.

В качестве источника энергии для питания электроприводов принята тяговая аккумуляторная батарея с расходом ее емкости 80-90%. Напряжение батареи 48 В. Время непрерывной работы – 3 часа. Предварительный расчет показал, что расход энергии за 1 час работы самоходного электрокормораздатчика при емкости бункера 16 м³ составляет 12 кВтч. Потребуется емкость батареи аккумулятора 750 Ач. С целью ускоренного заряда накопителя энергии целесообразнее использовать его на базе суперконденсаторов или применять литий-ионный аккумулятор, способный быстро заряжаться до требуемой емкости. При этом следует руководствоваться и тем, что эти аккумуляторы одни из самых дорогих.

Выводы.

1. Самоходный электрокормораздатчик с питанием от тяговой аккумуляторной батареи целесообразно выполнять многодвигательным с электроприводом отдельно ходовой части, измельчителя, миксера, механизма раздачи. Это позволит рассредоточить нагрузку на аккумуляторную батарею. В случае с однодвигательным электроприводом, мощность электродвигателя будет недоиспользована при многих операциях, а энергия аккумуляторной батареи будет поглощаться в максимальном режиме.

2. Предложены формулы определения предварительной мощности электродвигателей отдельных рабочих узлов и механизмов, что не требует построения механических характеристик. При определении мощности электропривода ходовой части в тяговом усилии учтена ветровая нагрузка.

Список использованных источников

1. Агроновости [Электронный ресурс]/ Европейское аграрное агентство (Беларусь) – Режим доступа : <http://www.agronews.agency/catalog>. – Дата доступа : 25.03.2020.
2. К вопросу перевода самоходного кормораздатчика на электропривод от тягового аккумулятора / А.В. Крутов, П.В. Шутко // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междун. научно-техн. конф/ (Минск, 19-20 декабря 2019 г.) / под ред. И.В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2019. – С.166-168.
3. Гулиа, Н.В., Юрков, С.А. Новая концепция автомобиля и электробуса//Автомобильная промышленность, № 2, 2000. С. 13-17.
4. Атаманов, Ю.Е. Теория подвижного состава городского электрического транспорта / Ю.Е.Атаманов, В.Н.Плищ. – Минск, БНТУ, 2012. – 236с.
5. Фролов Ю. М. Проектирование электропривода промышленных механизмов : учеб, пособие для вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - Гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 446 с.
6. Фираго, Б.И., Павлячик, Л.Б. Теория электропривода. 2-е изд. – Учебное пособие. – Мн.: Техноперспектива, 2007, – 585 с.