

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ТЯГОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ТЯЖЕЛЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИНАХ

Рассмотрен новый тип энергоэффективного электродвигателя в качестве тягового привода электромеханической трансмиссии ДЭТ-400. Синхронные реактивные машины с независимым возбуждением (СРМНВ) обеспечивают высокую энергоэффективность и высокий удельный крутящий момент. В статье проводится сравнение СРМНВ и различных типов тяговых электроприводов, в частности, асинхронного двигателя и двигателя с постоянными магнитами. Рассмотрены вопросы проектирования СРМНВ, уделено внимание оптимизации геометрических параметров электрической машины для достижения максимальной энергоэффективности. Для расширения функциональных возможностей и обеспечения безопасности эксплуатации было предложено внедрение компьютерного зрения в систему управления электроприводом. В результате СРМНВ был разработан для тяговых применений с учетом реальных требований к гусеничным тракторам российского производства.

Ключевые слова: тяговый электропривод, синхронная реактивная машина независимого возбуждения, электромеханическая трансмиссия, интеллектуальный электропривод, компьютерное зрение.

Введение. Повсеместное внедрение электроприводов определило новый вектор развития для тяговых электроприводов. Так, ввиду своих преимуществ над двигателями внутреннего сгорания, они начинают активно развиваться в отрасли промышленного транспорта. Основными преимуществами тяговых электроприводов над ДВС являются:

- широкий диапазон регулирования скорости и крутящего момента;
- высокая точность регулирования;
- энергоэффективность электропривода выше ДВС более чем в два раза (КПД >90 %);
- тяговый электропривод экономит топливо и уменьшает вредные выбросы углекислого газа;
- на тяговый электропривод практически не оказывают влияния воздействия факторов окружающей среды.

Электропривод в промышленном транспорте предпочтительно внедряется в качестве компонента электромеханической трансмиссии [1]. Сочетание электрического двигателя и диффе-

ренциального редуктора объясняется способностью расширить диапазон крутящего момента, тем самым обеспечить высокую перегрузочную способность для тяжелых условий работы промышленной колесной и гусеничной техники.

Автономность работы тягового электропривода в промышленном транспорте, в том числе и тракторах, за частую обеспечивается двигателем внутреннего сгорания, который обеспечивает мотор-генератор механической энергией. Типовое решение электромеханической трансмиссии показано на рис. 1, где Д — двигатель внутреннего сгорания, М — муфта, Г — генератор переменного тока, ТПЧ — тяговый преобразователь частоты, ТЭД — тяговый электродвигатель, ГБС — генератор для питания бортовой сети, АКБ — бортовая аккумуляторная батарея, СУ — система управления преобразователем.

Важной особенностью работы тягового электропривода является его автономность, которая обеспечивается за счет дизель-генераторной установки, по причине нескольких уровней

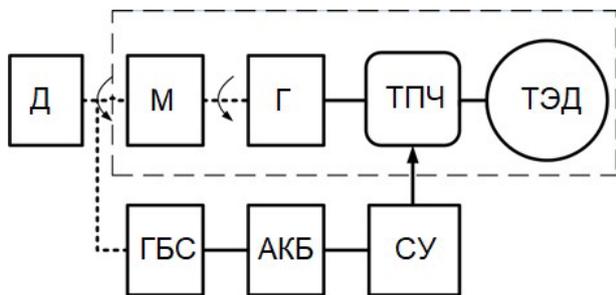


Рис. 1. Электромеханическая трансмиссия трактора

преобразования энергии: тепловая — механическая — электрическая — механическая. Возникает необходимость обеспечить высокую энергоэффективность электромеханического преобразователя. В результате чего снизятся расход топлива ДГУ и выбросы CO_2 и N_2 [2]. Поскольку промышленная гусеничная техника работает в тяжелых рабочих и погодных условиях к их электромеханическому преобразователю предъявляются высокие требования. Тяговые ЭП должны допускать возможность регулирования в широком рабочем диапазоне.

Мотор-генератор обеспечивает питание силового модуля электропривода, в качестве которого могут выступать инверторы либо независимые источники тока. Силовой модуль выступает в качестве управляемого источника тока электрического двигателя, в тяжелой промышленной технике применяют разного типа, например, асинхронный двигатель либо синхронный двигатель на постоянных магнитах (СДПМ) [2].

Несмотря на частные успехи внедрения ЭП на базе ПЧ-АД и СДПМ, остается не решенным ряд проблем, требующих доработки известных решений в области тяговых электроприводов, например, усложнением системы управления, в таком случае возрастает стоимость и внедрение электропривода остается экономически невыгодным.

В частности, несмотря на наличие дифференциального редуктора, электродвигатели не могут гарантировать высокую перегрузочную способность. Помимо этого, энергоэффективность систем тяговых электроприводов не удовлетворяет требованиям, в результате вопрос экономии топлива и экологически чистого промышленного транспорта остается актуальным [3]. СДПМ, в свою очередь, дороги в производстве на высокие мощности из-за дороговизны редкоземельных материалов.

Исходя из вышесказанного возникает вопрос об исследовании оптимальной системы электропривода для промышленного транспорта, которая будет удовлетворять предъявляемым требованиям. Одним из перспективных направлений в области тяговых электроприводов является синхронная реактивная машина независимого возбуждения [4].

В данной работе в качестве промышленного транспорта за образец взят бульдозер ДЭТ-400 российского производителя тракторов ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК».

Типы тяговых электроприводов на гусеничной технике. Основными системами электроприводов, применяемых на промышленных транспортных средствах, являются: асинхронные тяговые двигатели, вентильно-индукторные электроприводы, двигатели с постоянными магнитами, синхронные реактивные машины.

Производители постепенно уходят от систем с тяговыми асинхронными электроприводами (ТАД) ввиду их мощностных недостатков перед синхронными машинами. Однако производители пытаются минимизировать недостатки ТАД путем оптимизации построения системы управления и новых алгоритмов управления электроприводом. Системы электропривода, основывающиеся на асинхронном электродвигателе с векторным управлением, имеют следующие преимущества [2, 5]:

- высокое быстродействие и динамическая точность регулирования тока, момента напряжения;

- высокие качественные показатели основных режимов работы транспортного средства: пуска, разгона, торможения, позиционирования, движения на малой скорости и др.;

- возможность минимизации значения ёмкости звена постоянного напряжения (ЗПТ).

На тракторах BELARUS-1502 тестируют тяговый асинхронный электропривод с новыми алгоритмами векторного управления, однако, ввиду своих недостатков, данная система не получила широкого распространения. Асинхронные электроприводы в качестве тягового имеют следующие недостатки:

- низкий КПД относительно синхронных машин (~90 %);

- сложность оптимизации коэффициентов системы векторного управления;

- низкая перегрузочная способность;

- высокие массогабаритные показатели;

- низкая удельная мощность;

- высокая удельная стоимость.

Вентильно-индукторные электроприводы (ВИД) имеют большую перегрузочную способность в сравнении с ТАД, что представляет интерес в применении в качестве тягового электропривода на промышленных машинах. На дизель-электрических тракторах ДЭТ-400 применяются системы электропривода на базе вентильно-индукторного двигателя. Ввиду своих конструктивных особенностей, например, большой воздушный зазор, данный тип привода имеет низкую энергоэффективность и большие потери на намагничивании.

Помимо этого, данный тип привода склонен к большим пульсациям электромагнитного момента, повышенному шуму и вибрациям ротора, что приводит к износу подшипников. Также обмотка статора вентильно-индукторного электропривода питается от одного общего источника тока, что ограничивает эксплуатацию в случае выхода из строя одного из ключей силового преобразователя [6].

Синхронные двигатели на постоянных магнитах (СДПМ) получили широкое применение в качестве тяговых электроприводов для транспорта малой мощности, к ним относятся как средства

индивидуальной мобильности (СИМ), так и электромобили.

К недостаткам СДПМ можно отнести следующие факторы: для ослабления поля в зоне высоких скоростей необходима дополнительная составляющая тока якоря, которая создает МДС, направленную против потока ПМ; это обстоятельство приводит к увеличению потерь в обмотке [7]. Поскольку магнитное поле ослабевает незначительно, с ростом скорости растет частота перемагничивания и в зоне высоких скоростей преобладающими потерями являются потери в стали, при этом КПД снижается. Синхронные машины (СМ) разделяются на две большие группы: с радиальным магнитным потоком и с аксиальным потоком. Наибольшее распространение в качестве тяговых ЭД получили СМ с радиальным потоком [8].

Синхронная реактивная машина независимого возбуждения. Новым альтернативным тяговым электроприводом может послужить энергоэффективная синхронная реактивная машина с независимым возбуждением (СРМНВ). Благодаря упрощенной конструкции данной машины — отсутствие токосъемных колец и щеточного узла, отсутствие обмоток ротора, облегчающий тепловой режим работы подшипников, повышают надежность и эксплуатационную привлекательность применения электропривода в тяжелых условиях.

Принцип работы СРМНВ. Роль обмотки возбуждения в явнополюсных синхронных машинах может выполнять обмотка, размещенная в пазах статора при условии, что ее витки находятся напротив межполюсного промежутка ротора и эта обмотка имеет полный шаг [8–11]. Если по обмоткам, расположенным над межполюсным промежутком, пропустить ток, то он создаст поток по продольной магнитной оси машины. Если теперь по обмоткам, расположенным над полюсами ротора, пропустить ток, то создается электромагнитный момент. Токи в обмотках возбуждения, расположенных над межполюсными промежутками ротора, и токи в якорных обмотках, расположенных над полюсами ротора, могут регулироваться независимо и переключаться в функции положения ротора. По этим обмоткам нет необходимости пропускать синусоидальный ток. Более эффективной оказывается прямоугольная форма тока — так же как в секциях обмотки двигателя постоянного тока. Двигатель работает как многофазный; ток и ЭДС каждой

последующей фазы сдвинуты на π/m электрических градусов, где m — число фаз [12].

Преимущества СРМНВ. В сравнении с асинхронным двигателем у СРМНВ [11] удельный крутящий момент на 15 % выше при той же мощности, а удельный момент на единицу потерь выше на 7 %. При увеличении осевой длины машины к её внутреннему диаметру, в результате чего уменьшается длина лобовых частей обмотки относительно активной длины машины, указанные показатели возрастают до 20 %. Также уменьшается момент инерции ротора [11].

Стоит отметить высокую перегрузочную способность СРМНВ — вследствие насыщения при больших перегрузках не происходит ограничение величины момента от тока. На изготовление СРМНВ требуется меньшее количество материалов, чем для асинхронного электродвигателя аналогичной мощности. Ротор не имеет обмотки, а также нет необходимости в использовании дорогостоящих редкоземельных постоянных магнитов, таким образом снижается стоимость на изготовление машины и повышается надежность при эксплуатации. Многофазная независимая обмотка статора повышает надежность электропривода в случае выхода из строя одной из фаз — электродвигатель продолжит свою работу с ограниченной мощностью, что позволит безопасно остановить технологический процесс и вывести оборудование в ремонт. Электропривод с СРМНВ обладает повышенной частотой вращения до 3 пН, что, в свою очередь, избавляет от применения ступенчатой трансмиссии для транспорта.

Электроприводы с СРМНВ требуют датчиков положения ротора, но схемы управления получаются такие же простые, как в электроприводах постоянного тока, что повышает надежность и дает различные варианты системы управления электроприводом. Вследствие чего можно оптимизировать коэффициенты регуляторов во время работы, тем самым достигая более высоких показателей энергоэффективности в сравнении с аналогами [13].

Расчет и моделирование СРМНВ для тягового электропривода трактора. В качестве прототипа для реального промышленного объекта был выбран электрический трактор ДЭТ-400. Разрабатываемый СРМНВ электрический привод должен иметь следующие показатели (табл. 1).

На основании полученных параметров технического задания на расчет тягового СРМНВ были

Таблица 1

Требуемые технические характеристики электропривода ДЭТ-400

№ п/п	Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
1	Номинальная мощность	P_H	кВт	235
2	Номинальная частота вращения	n_H	Об/мин	430,2
3	Максимальная частота вращения	n_{max}	Об/мин	2250
4	Номинальный крутящий момент	M_H	Нм	1500
5	Максимальный крутящий момент	M_{MAX}	Нм	9000

рассчитаны основные массогабаритные, электрические и скоростные параметры.

Поскольку в СРМНВ возможно построить на базе статора асинхронного электродвигателя, за основу теоретических расчетов статора была выбрана методика расчета И. П. Копылова [14].

Расчет главных размеров и основных параметров машины. Большинство расчётных методик исходит из так называемой «машинной постоянной», определяемой из допустимых электромагнитных нагрузок:

$$C_A = \frac{D^2 \cdot I_\delta \cdot \Omega}{P'} = \frac{2}{\pi \cdot \alpha_\delta \cdot k_B \cdot k_{об} \cdot A \cdot B_\delta}, \quad (1)$$

где D — диаметр якоря машины постоянного тока или внутренний диаметр статора, м; I_δ — расчётная длина магнитопровода, м; Ω — угловая скорость, рад/с; P' — расчётная мощность, ВА; A — линейная нагрузка, А/м; B_δ — индукция в воздушном зазоре, Тл; α_δ — коэффициент полюсного перекрытия; k_B — коэффициент формы кривой индукции; $k_{об}$ — обмоточный коэффициент.

Высота оси вращения и внешний диаметр статора выбраны в соответствии с расчетной мощностью машины, которая определяется формулой (2):

$$P' = \frac{P_2 \cdot K_E}{\eta \cdot \cos(\varphi)}, \quad (2)$$

где K_E — среднее значение электромагнитной нагрузки АД, определяемое соотношением внешнего диаметра статора D_a и количеством пар полюсов $2p$.

Номинальный ток статора определен по формуле (3):

$$I_{ном} = \frac{P_{2н}}{m \cdot U_{лф} \cdot \eta \cdot \cos(\varphi)}. \quad (3)$$

Расчетная длина магнитопровода (4):

$$l_\delta = \frac{P'}{D^2 \Omega k_B k_{об1} A B_\delta}, \quad (4)$$

где $k_B = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$ — коэффициент формы поля.
Значение линейной нагрузки (5):

$$A = \frac{2I_{ном} w_1 m}{\pi D}, \quad (5)$$

где w_1 — количество витков в одной фазе обмотки; m — количество фаз.

Магнитный поток на пару полюсов (6):

$$\Phi = B_\delta \alpha_p \tau I_\delta. \quad (6)$$

где α_p — коэффициент полюсной дуги; τ — полюсное деление, м.

С целью оптимизации СРМНВ целесообразно:

— увеличить глубину пазов, так как, в отличие от асинхронного двигателя, здесь принципиально нет потерь в роторе. Для этого необходимо выбрать больший коэффициент K_p , который зависит от числа пар полюсов и выбирается согласно рекомендациям в [14], и более высокие электромагнитные нагрузки (A и B_δ), а также увеличить расчётную мощность P' при сохранении длины магнитопровода l_δ ;

— выбрать двигатель с меньшей высотой оси вращения h при той же расчетной мощности P' , чтобы получить увеличенный коэффициент λ .

Поскольку расчет является объемным, результат расчета основных необходимых параметров разрабатываемой машины приведен ниже (табл. 2).

Оптимизация параметров электродвигателя. Для данных типов двигателей не существует единой стандартной методики расчетов, причиной этого является нестандартная конструкция машины и относительная новизна. В результате этого дальнейший расчет и моделирование машины будет производиться при помощи стандартного пакета ANSYS Maxwell методом конечных элементов.

Таблица 2

Результаты расчета параметров СРМНВ для ДЭТ-400

№ п/п	Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
1	Номинальная мощность	P_n	кВт	240
2	Номинальная частота вращения	n_n	Об/мин	750
3	Номинальный крутящий момент	M_n	Нм	2250
4	Высота оси вращения	h	мм	355
5	Внешний диаметр статора	D_a	мм	900
6	Внутренний диаметр статора	D	мм	450
7	Линейная нагрузка	A	А/м	4363
8	Магнитный поток на пару полюсов	Φ	Вб	0,0519
9	Длина магнитопровода	l_δ	мм	806

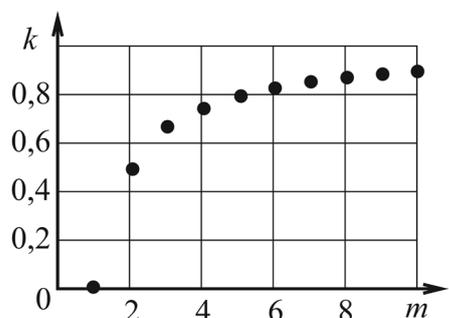


Рис. 2. Зависимость коэффициента пульсации k от числа фаз m

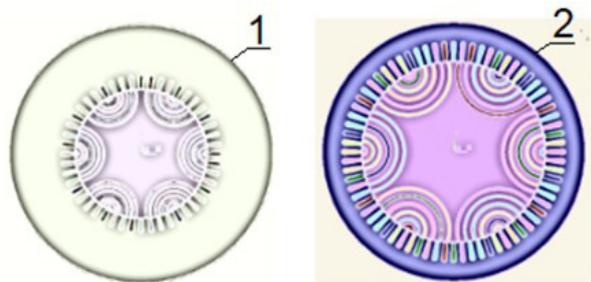


Рис. 3. Вариация размеров задней стенки статора: 1 — при высоте паза статора 0,5 от толщины отверстия базового статора; 2 — с высотой паза 0,7

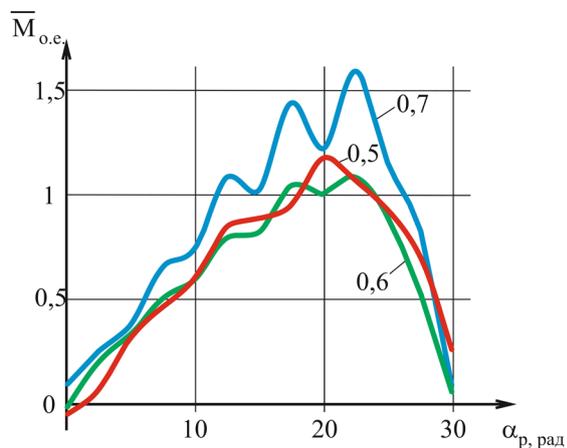


Рис. 4. Колебания крутящего момента в зависимости от толщины задней стенки статора

Из рис. 2 видно, что с увеличением количества фаз амплитуда пульсаций электромагнитного момента уменьшается. Однако нецелесообразно применять более шести фаз, потому что частота пульсаций не меняется, а производство машины усложняется, что увеличивает стоимость электрического преобразователя, поэтому оптимальное количество фаз для СРМНВ — 6 фаз.

Следующим шагом является оптимизация обратной стороны статора. Сравнение проводилось при одинаковом внешнем диаметре статора (рис. 3).

На рис. 4 показана угловая зависимость крутящего момента СРМНВ с разной толщиной зад-

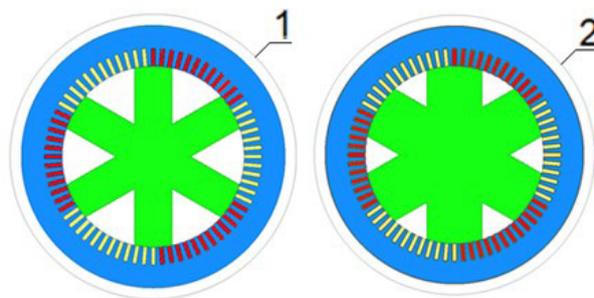


Рис. 5. СРМНВ вариант конструкции шага полюсов

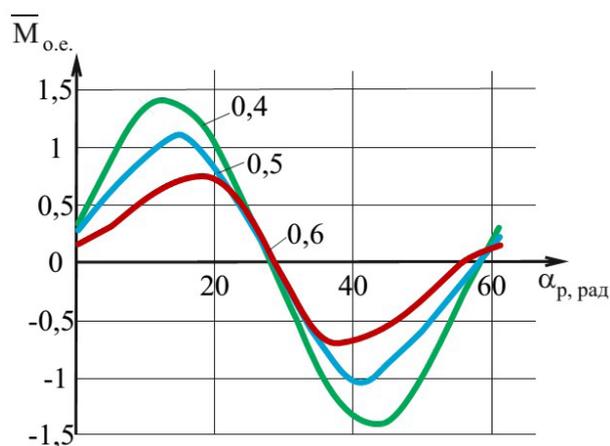


Рис. 6. Крутящий момент в зависимости от шага полюсов

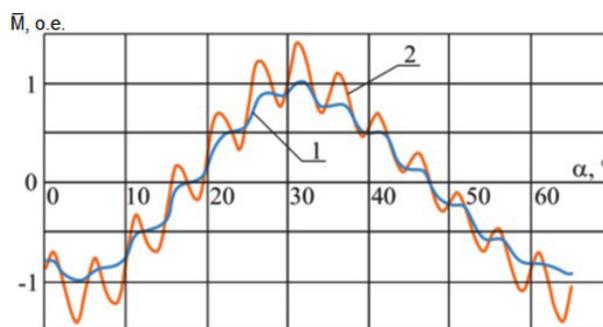


Рис. 7. Пульсации крутящего момента для различных конструкций машин: 1 — со скосом паза статора; 2 — без скоса паза статора

ней стенки статора. На графике видно, что увеличение спинки статора приводит к уменьшению пульсации крутящего момента машины.

На рис. 5 показаны конструкции двигателей с различным шагом полюсов, где 1 — относительный шаг полюсов 0,4, а 2 — относительный шаг 0,6.

Из рис. 6 видно, что угловая кривая крутящего момента СРМНВ с различными вариантами шага полюсов. При уменьшении значения шага полюсов удельный крутящий момент машины можно увеличить в 2 раза.

После оптимизации шага полюсов оптимизируется скос пазов.

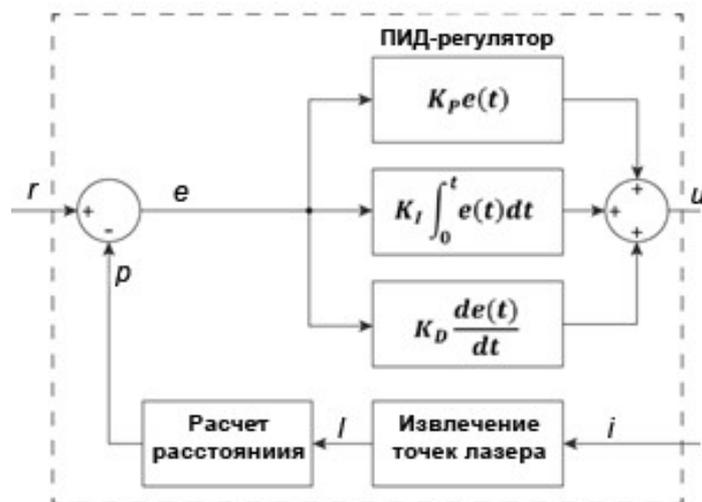


Рис. 8. Регулятор мощности тягового электропривода с применением технического зрения

В результате этого эксперимента было обнаружено, что перекося паза статора снижает пульсации крутящего момента.

Таким образом, оптимизация конструкции двигателя методом конечных элементов позволяет устранить недостатки стандартных методов расчета двигателей [15]. Как показано выше, увеличение количества фаз, оптимизация ширины задней стенки статора, выбор оптимального размера шага полюсов и оптимизация скоса пазов статора позволяют снизить пульсации крутящего момента и получить высокие удельные показатели (рис. 7).

Применение технического зрения в системе управления. Разрабатываемый в данной работе комплект тягового электропривода предназначен для промышленного бульдозера ДЭТ-400. Особенностью работы таких машин является повышенная опасность для технического персонала во время выполнения технологической операции. Нередки случаи, когда при нахождении технического персонала в слепой зоне трактора, оператор трактора во время выполнения технологической операции при высокой скорости движения либо высоком крутящем моменте совершает наезд на человека, что влечет к тяжелым последствиям.

Безопасность технологического процесса является приоритетной целью при организации работ. Внедрение компьютерного зрения, основанного на всенаправленной камере, имеющей угол обзора, равный 180° , а также лазерного излучателя в систему управления тягового электропривода трактора позволит обнаруживать человека в слепой для оператора зоне. Микропроцессорная система компьютерного зрения путем нескольких алгоритмических операций оценит расстояние и потенциальную возможность наезда на персонал и отправит сигнал о нахождении человека в слепой зоне контроллеру системы управления электропривода.

Измерение расстояния происходит следующим образом: микропроцессорная система делает снимок сцены, далее извлекается лазерный

луч с полученного изображения, после чего полученное облако точек проецируется на координатную ось заранее откалиброванной камеры, затем вычисляется расстояние до объекта (рис. 8) [16].

В свою очередь, контроллер системы управления электроприводом отправит на панель оператора предупреждение о нахождении человека в слепой зоне и параллельно ограничит максимальную скорость и крутящий момент машины. Помимо этого, данная система позволит построить алгоритмы управления для ограничения угла поворота трактора, а также осуществления аварийного останова для предотвращения наезда на рядом стоящего человека.

Выводы. Синхронные реактивные машины с независимым возбуждением могут использоваться в тяговых применениях для тяжелых машин, поскольку они сохраняют диапазон регулирования асинхронного привода, в то же время превосходят двигатели с постоянными магнитами с точки зрения перегрузочной способности. В результате был выбран СРМНВ и проведен параметрический синтез электромеханического преобразователя по критерию максимальных удельных показателей.

СРМНВ имеет несколько вариантов управления, включая векторное управление полем статора. И наоборот, чтобы обеспечить высокую перегрузочную способность, преобразователь мощности для СРМНВ должен быть рассчитан на мощность, в несколько раз превышающую номинальную, что делает преобразователь более дорогим. Схема шестифазного двигателя также требует нестандартного решения в виде шести независимых источников тока, которые в производстве или прототипе будут иметь более высокую стоимость по сравнению с классическими трехфазными преобразователями частоты.

Внедрение современных цифровых технологий компьютерного зрения позволит не только повысить безопасность технологических процессов электропривода, но и расширить функцио-

нал тягового электропривода в рамках высоких требований, предъявляемых к промышленной технике.

Библиографический список

1. Usynin Y. S., Savosteenko N. V., Grigorev M. A. Block Diagram Models of a Differential Electric Drive with Enhanced Mass Dimensional Parameters // Russian Electrical Engineering. 2021. Vol. 92, no. 5. P. 238–243. DOI: 10.3103/S1068371221050102.
2. Шумов Ю. Н., Сафонов А. С. Энергосберегающие электрические машины для привода электромобилей и гибридных автомобилей (обзор зарубежных разработок) // Электричество. 2016. № 1. С. 55–65.
3. Виноградов А. Б., Изосимов Д. Б., Флоренцев С. Н. [и др.]. Оптимизация КПД системы векторного управления асинхронным тяговым электроприводом с идентификатором параметров // Электротехника. 2010. № 12. С. 10–19.
4. Рыбаков Н. А., Воробьев В. В., Ленецкий Г. С. Применение тягового электропривода и электромеханической трансмиссии на тракторах // Теория и практика приоритетных научных исследований: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 27–29.
5. Шумов Ю. Н., Сафонов А. С. Энергосберегающие электрические машины (обзор зарубежных разработок) // Электричество. 2015. № 4. Р. 45–57.
6. Chan C. C., Chau K. T. Modern Electric Vehicle Technology. Oxford, U.K.: Oxford Univ. Press, 2001. 300 p.
7. Weh H. On the Development of Inverter Fed Reluctance Machines for High Power Densities and High Output // ETZ Archiv. 1984. Vol. 6. P. 135–144.
8. Law J. D., Chertok A., Lipo T. A. Design and Performance of Field Regulated Reluctance Mashine // IEEE Trans. on Industry Applications. 1994. No. 30 (5). P. 1185–1193. DOI: 10.1109/28.315228.
9. Shishkov A. N. Features of torque production of synchronous electric drive with direct torque control of mining machines // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87, Issue 2. 022020. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022020.
10. Law J., Busch T., Lipo T. Magnetic Circuit Modeling of the Field Regulated Reluctance Machine, Part I: Model Development // IEEE Transaction on Energy Conversion. 1996. Vol. 11 (1). P. 49–56. DOI: 10.1109/60.486575.
11. Khryukin D. Y., Korzhavin M. E., Grigorev M. A. The Effect of the Parameters of an Induction Motor Stator Flux State Observer on the Accuracy in Maintaining the Electromagnetic Moment // Russ. Electr. Engin. 2021. No. 92. P. 244–248. DOI: 10.3103/S1068371221050059.
12. Усынин Ю. С., Григорьев М. А., Виноградов К. М. Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Электричество. 2007. № 3. С. 21–26.
13. Усынин Ю. С., Григорьев М. А., Шишков А. Н., Горожанкин А. Н., Бычков А. Е. Новые высокомоментные энергосберегающие электроприводы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 3-4. С. 71–76.
14. Копылов И. П. Проектирование электрических машин / отв. ред. И. П. Копылов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Юрайт, 2018. 767 с. ISBN 978-5-9916-1848-9.
15. Savosteenko N. V., Gryzlov A. A., Khayatov E. S., Gladyshev S. P. Electrical motor of modern variable-frequency

drive // 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIcon Rus). 2017. P. 990–993. DOI: 10.1109/EIconRus.2017.7910723

16. Scaramuzza D., Martinelli A., Siegwart R. A Flexible Technique for Accurate Omnidirectional Camera Calibration and Structured from Motion // Proc. IEEE International Conference on Computer Vision Systems. 2006. Vol. 45. DOI: 10.1109/ICVS.2006.3.

ХОЛОДИЛИН Иван Юрьевич, аспирант кафедры «Автоматизированный электропривод».

SPIN-код: 5320-4372

AuthorID (РИНЦ): 877145

ORCID: 0000-0002-0829-9399

ResearcherID: AAQ-7408-2020.454091

Адрес для переписки: kholodilin.ivan@yandex.ru

КОРЖОВ Антон Вениаминович, доктор технических наук, доцент (Россия), проректор по научной работе, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения».

SPIN-код: 3131-5500

AuthorID (РИНЦ): 119300

AuthorID (SCOPUS): 6507444206

Адрес для переписки: korzhovav@susu.ru

ГРИГОРЬЕВ Максим Анатольевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Автоматизированный электропривод», главный научный сотрудник научно-образовательного центра «Цифровая индустрия».

SPIN-код 5663-3899

AuthorID (РИНЦ): 616116

AuthorID (SCOPUS): 43861195200

ResearcherID: A-4625-2017.

Адрес для переписки: grigorevma@susu.ru

ХОХЛОВ Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения».

SPIN-код: 8412-8164

AuthorID (РИНЦ): 653430

AuthorID (SCOPUS): 56953563100

ResearcherID: A-4668-2017

Адрес для переписки: khokhlovii@susu.ru,

САВОСТЕЕНКО Никита Вадимович, старший преподаватель кафедры «Автоматизированный электропривод».

SPIN-код 1202-3765

AuthorID (РИНЦ) 818266

AuthorID (SCOPUS): 57170820400

Адрес для переписки: savosteenkonv@susu.ru

Для цитирования

Холодили И. Ю., Коржов А. В., Григорьев М. А., Хохлов Ю. И., Савостеенко Н. В. Высокоэффективный электропривод с системой технического зрения для тягового применения в тяжелых гусеничных машинах // Омский научный вестник. 2021. № 6 (180). С. 41–47. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-180-41-47.

Статья поступила в редакцию 23.09.2021 г.

© И. Ю. Холодили, А. В. Коржов, М. А. Григорьев, Ю. И. Хохлов, Н. В. Савостеенко