

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

DOI: 10.24412/2077-8481-2026-3-109-120

УДК 62-531.6; 62-835

Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Д. В. ШНИП

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОЛОЧНОГО ТАКСИ

Аннотация

Рассмотрены различные аспекты экспериментального определения характеристик тягового электропривода молочного такси. Обозначены основные координаты вектора состояния тягового электропривода и методика их измерения. Разработан и собран прототип мобильной платформы молочного такси для исследований характеристик тягового электропривода.

Ключевые слова:

тяговый электропривод молочного такси, вектор состояния тягового электропривода, исследование характеристик.

Для цитирования:

Леневский, Г. С. Экспериментальное определение характеристик тягового электропривода молочного такси / Г. С. Леневский, Д. В. Шнип // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 3 (92). – С. 109–120.

Введение

Для обеспечения процесса кормления телят на молочно-товарных фермах (МТФ) и молочно-товарных комплексах (МТК) необходимо применение надежного оборудования, в частности молочного такси, снабженного тяговым электроприводом.

Заявленные характеристики фирм-производителей молочных такси должны подтверждаться типовыми испытаниями, в которых определяются процессы изменения во времени координат вектора состояния тягового электропривода молочного такси.

Основная часть

К основным координатам вектора состояния тягового электропривода молочных такси можно отнести следующее:

- ток в цепи якоря электродвигателя;
- напряжение на якоре электродвигателя;
- число оборотов вала электродвигателя;
- емкость аккумуляторной батареи (АКБ);
- температура на поверхности электродвигателя и сопряженных с ней поверхностях.

Молочное такси на МТФ во время раздачи жидкой кормовой смеси (ЖКС) телятам перемещается в соответствии с заданной траекторией, которую формируют работники МТФ.

Возможные траектории движения молочного такси при раздаче ЖКС представлены на рис. 1 и 2.

Расположение телят в общем случае имеет стохастический характер, что обусловлено процессом рождения телят коровами дойного стада МТФ по дням, месяцам года, а также размещением по боксам телят работниками МТФ.

Кормление телят выполняется в соответствии с нормативным документом [2].

Примерная схема кормления телят на МТФ представлена на рис. 3 [2].

Для выполнения процедуры раздачи ЖКС на МТФ применяется молочное такси в общем случае, представляющее собой платформу, оборудованную тяговым электроприводом, транспортирующую рабочую емкость с ЖКС к месту раздачи (кормления).

Для экспериментального определения характеристик тягового электро-

привода молочного такси необходимы следующие компоненты [1]:

- стабильный источник питания;
- набор приборов для регистрации координат вектора состояния тягового электропривода молочного такси при движении по заданной траектории;
- элементы для создания полезной нагрузки.

Для экспериментального определения характеристик тягового электропривода молочного такси были разработаны и собраны [3]:

- экспериментальный силовой блок управления тягового электропривода молочного такси (рис. 4);
- прототип мобильной платформы молочного такси (рис. 5).

При изготовлении экспериментального силового блока управления (см. рис. 4) были использованы следующие элементы: контроллер ESP32-WROOM-32E [4], модуль WROOM ESP32-S WiFi 4MB [5], датчик тока интегральный ACS758LCB-050B-PFF-T [6] и др.

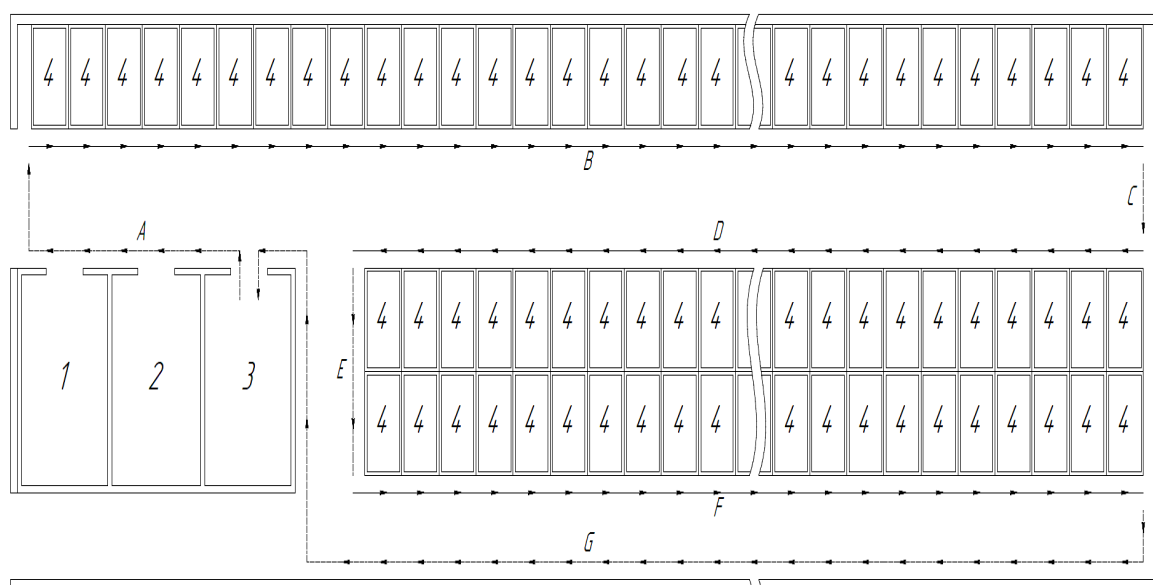


Рис. 1. Схема расположения телят в профилактории МТФ, маршрут 1: 1, 2 – технические помещения; 3 – место приготовления ЖКС; 4 – места содержания телят (боксы); A, C, E, G – участки маршрута движения молочного такси, соответствующие нулевому расходу полезного груза (ЖКС) в рабочей емкости молочного такси; B, D, F – участки маршрута движения молочного такси, соответствующие детерминированному расходу полезного груза (ЖКС) в рабочей емкости молочного такси

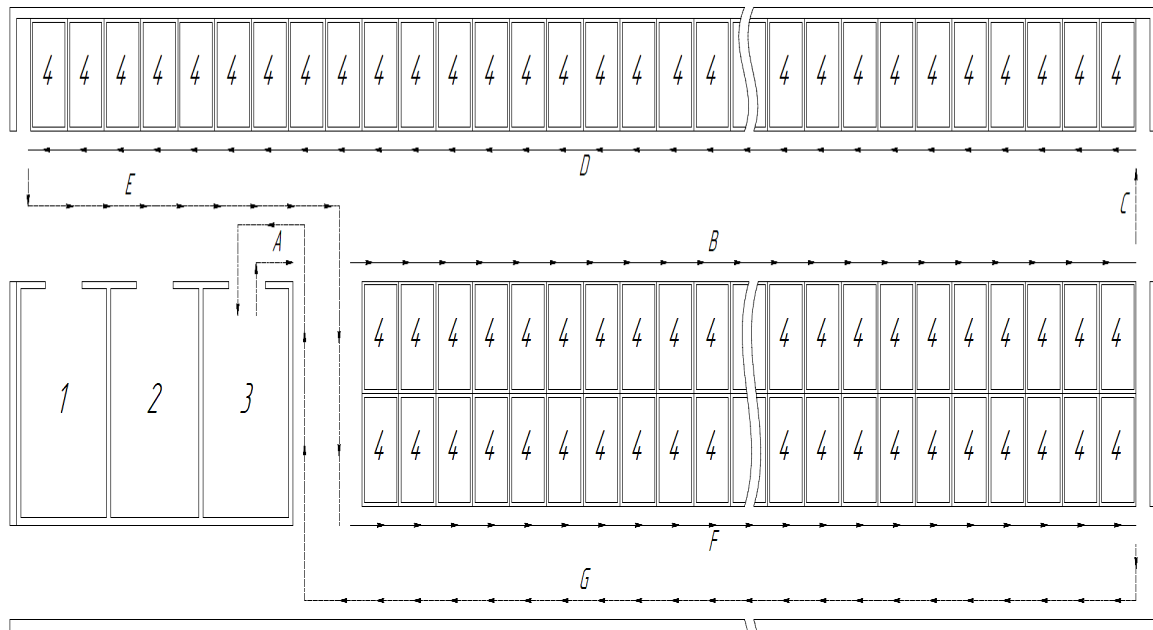


Рис. 2. Схема расположения телят в профилактории МТФ, маршрут 2: 1, 2 – технические помещения; 3 – место приготовления ЖКС; 4 – места содержания телят (боксы); А, С, Е, G – участки маршрута движения молочного такси, соответствующие нулевому расходу полезного груза (ЖКС) в рабочей емкости молочного такси; B, D, F – участки маршрута движения молочного такси, соответствующие детерминированному расходу полезного груза (ЖКС) в рабочей емкости молочного такси

Возраст телят, дней							
0–3	4–21	22–28	29–35	36–42	43–49	50–60	61–90
Молозиво	Молоко, килограмм в день						
6	6	5	4	3	2	Приручение к кормосмеси (индивидуально содержание)	Мелкогрупповое содержание
Расход молока за период выпойки 224 кг							
Кратность выпойки	2 раза в день			1 раз вечером	–		
3 раза в день							

Рис. 3. Примерная схема кормления телят на МТФ

В конструкции прототипа мобильной платформы молочного такси применялись следующие компоненты [3].

1. Мотор-редуктор 7DC400W24V-GH/7GH30KC22 [7, 8], обладающий следующими характеристиками: номинальное напряжение питания – 24 В; номинальная мощность – 400 Вт; номинальная частота вращения тихоходного вала – 60 об/мин; номинальное переда-

точное отношение – 30; номинальный крутящий момент на тихоходном валу – 52 Н·м; масса – 7,7 кг.

2. Тяговые АКБ Trojan 27TMX 12V/105Ah (2 шт.) фирмы Trojan [9], обладающие следующими характеристиками: технология – WET (АКБ с жидким электролитом); номинальное напряжение – 12 В; номинальная емкость – 105 А·ч; вес – 25 кг.

а)



б)



Рис. 4. Экспериментальный силовой блок управления тягового электропривода молочного такси:
а – вид в сборе; б – вид со снятой крышкой

а)



б)

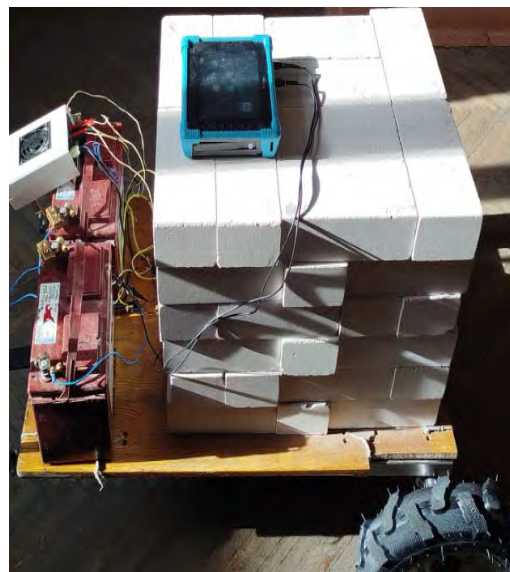


Рис. 5. Прототип мобильной платформы молочного такси: а – с нагрузкой 200 кг; б – с нагрузкой 300 кг; в – с нагрузкой 400 кг

в)



Окончание рис. 5

3. Экспериментальный силовой блок управления тягового электропривода молочного такси.

Для регистрации координат вектора состояния тягового электропривода молочного такси применялась следующая приборная база [1]:

– инкрементальный энкодер RCC38S6-G2M2F-1024BM DC8-26V [10], обладающий следующими характеристиками: максимальная частота отклика – 300 Гц; максимальная частота вращения – 6000 об/мин; разрешение – 1024 имп/об;

– планшетный осциллограф Micsig tBook Mini серии TO1104 [11], обладающий следующими характеристиками: полоса пропускания – 100 МГц; частота дискретизации – 1 ГСa/c; объем памяти – 28 МБ; аналоговые каналы – 4; максимальная скорость захвата сигнала – 130 000 волн в минуту;

– ручная тепловизионная камера НIKMICRO B20 [12], обладающая следующими характеристиками: температурная чувствительность составляет < 40 мК; погрешность измеряемой температуры – ± 2 °C; частота обновления теплового изображения – 25 Гц;

пределы измеряемой температуры – от -20 °C до 550 °C;

– датчик тока интегральный ACS758LCB-050B-PFF-T [6], обладающий следующими характеристиками: тип – эффект Холла; первичный ток выборки – 50 А; время отклика – 4 мкс; чувствительность – 40 мВ/А.

Для создания полезной нагрузки использовалась партия кирпичей производства «Могилевский КСИ» [13] – кирпичи СУЛПо-М200/F50/2,0 полнотельные 23.61.11.330 ОКРБ 007-2012 с номинальной массой 5 кг.

Согласно ГОСТ 379–2015 *Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия* [14], допустимое отклонение от номинальных размеров кирпича по длине, ширине, высоте не должно превышать ± 2 мм, что может равняться: максимальный теоретический вес – 5,202 кг; минимальный теоретический вес – 4,731 кг.

Каждому кирпичу был присвоен номер (табл. 1) [1], проведены работы по определению фактического веса: максимальный фактический вес – 5,24 кг; минимальный фактический вес – 4,79 кг, что соответствует корре-

ляции значения веса по ГОСТ 379–2015.

Для определения фактического веса кирпичей применялись весы напольные GL4808 [15], обладающие следующими характеристиками: максимальная

нагрузка – 180 кг; точность измерения – 0,01 кг.

Испытания прототипа платформы молочного такси проводились для ходовой части без системы дозирования.

Табл. 1. Результаты определения веса кирпичей

Номер	Вес, кг	Номер	Вес, кг	Номер	Вес, кг	Номер	Вес, кг	Номер	Вес, кг
1	4,920	21	5,060	41	5,040	61	5,120	81	5,150
2	5,150	22	5,480	42	5,200	62	4,860	82	4,860
3	5,150	23	5,250	43	5,090	63	5,130	83	4,870
4	4,985	24	5,200	44	5,040	64	4,920	84	4,900
5	5,110	25	5,220	45	5,100	65	5,100	85	4,820
6	5,050	26	5,060	46	5,130	66	4,970	86	4,940
7	4,960	27	4,920	47	5,030	67	4,880	87	5,070
8	5,180	28	4,960	48	5,200	68	4,980	88	4,900
9	5,060	29	5,170	49	5,070	69	5,010	89	5,100
10	5,170	30	5,570	50	5,100	70	5,080	90	4,890
11	4,910	31	5,030	51	5,130	71	4,900	91	4,950
12	5,030	32	5,280	52	5,170	72	4,910	92	4,970
13	5,010	33	5,160	53	5,020	73	5,200	93	4,940
14	5,220	34	5,300	54	5,130	74	5,000	94	4,890
15	5,120	35	5,090	55	5,120	75	4,970	95	4,960
16	5,050	36	5,080	56	4,880	76	4,820	96	4,840
17	5,100	37	5,030	57	5,090	77	4,840	97	4,790
18	5,240	38	5,100	58	5,050	78	4,930	98	5,040
19	5,210	39	5,160	59	5,080	79	4,880	99	4,990
20	5,220	40	5,170	60	5,060	80	4,990	100	4,820

Испытания тягового электропривода прототипа платформы молочного такси проводились при температуре окружающей среды +20 °С, относительной влажности 34 %, на паркетном полу, при полностью заряженных АКБ (суммарное напряжение – 25,46 В).

В дальнейшем планируется выполнить испытания с учетом разряда АКБ, а материал о данных испытаниях представить в виде отдельной статьи.

Испытания тягового электропривода прототипа платформы молочного такси проводились в следующем порядке:

1) масса полезного груза – 200 кг (см. рис. 5, а);

2) масса полезного груза – 300 кг (см. рис. 5, б);

3) масса полезного груза – 400 кг (см. рис. 5, в).

Значения, полученные с датчика тока интегрального ACS758LCB-050В-

PFF-T, приводятся к реальным значениям в соотношении $1 \text{ A} = 40 \text{ мВ}$.

Значения, полученные с инкрементального энкодера RCC38S6-G2M2F-1024BM DC8-26V, приводятся к реальным значениям в соотношении $1 \text{ В} = 1 \text{ об/мин}$.

Погрешность измерения тока

составляет $\pm 0,02 \text{ A}$, частоты вращения – $\pm 0,05 \text{ об/мин}$, температуры – $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Осциллограммы работы тягового электропривода прототипа платформы молочного такси при перемещении полезного груза массой 200 кг представлены на рис. 6.

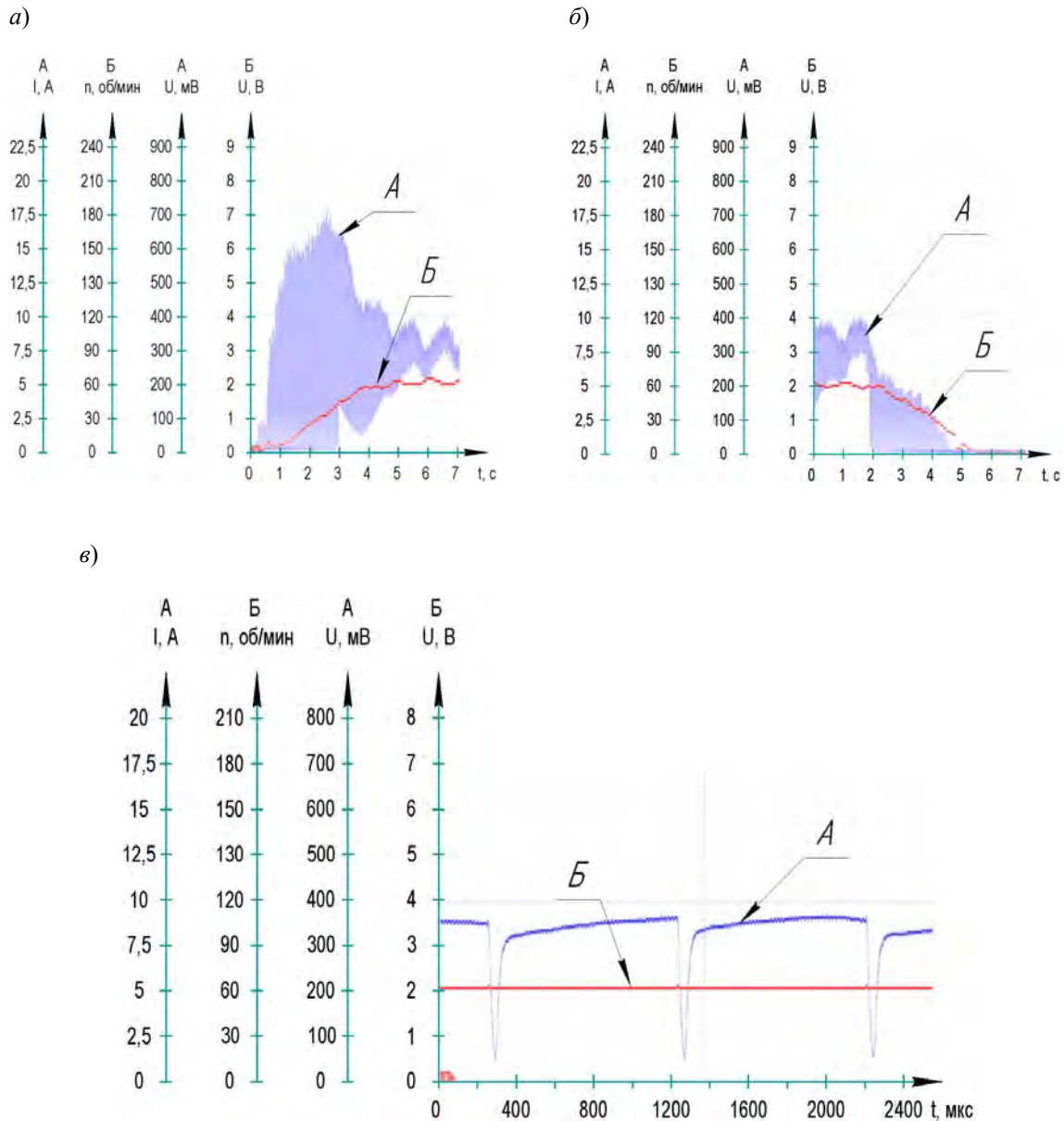


Рис. 6. Осциллограммы работы тягового электропривода прототипа платформы молочного такси при перемещении полезного груза массой 200 кг , зафиксированные планшетным осциллографом Micsig tBook Mini серии TO1104: а – участок разгона (развертка – 1 с); б – участок торможения (развертка – 1 с); в – участок движения на постоянной скорости (развертка – 200 мкс); А – сигнал с датчика тока интегрального ACS758LCB-050B-PFF-T; Б – сигнал с инкрементального энкодера RCC38S6-G2M2F-1024BM DC8-26V

На участке разгона ток в цепи якоря мотора имеет максимальное значение в течение 3 с – 17,25 А.

Осциллограммы работы тягового

электропривода прототипа платформы молочного такси при перемещении полезного груза массой 300 кг представлены на рис. 7.

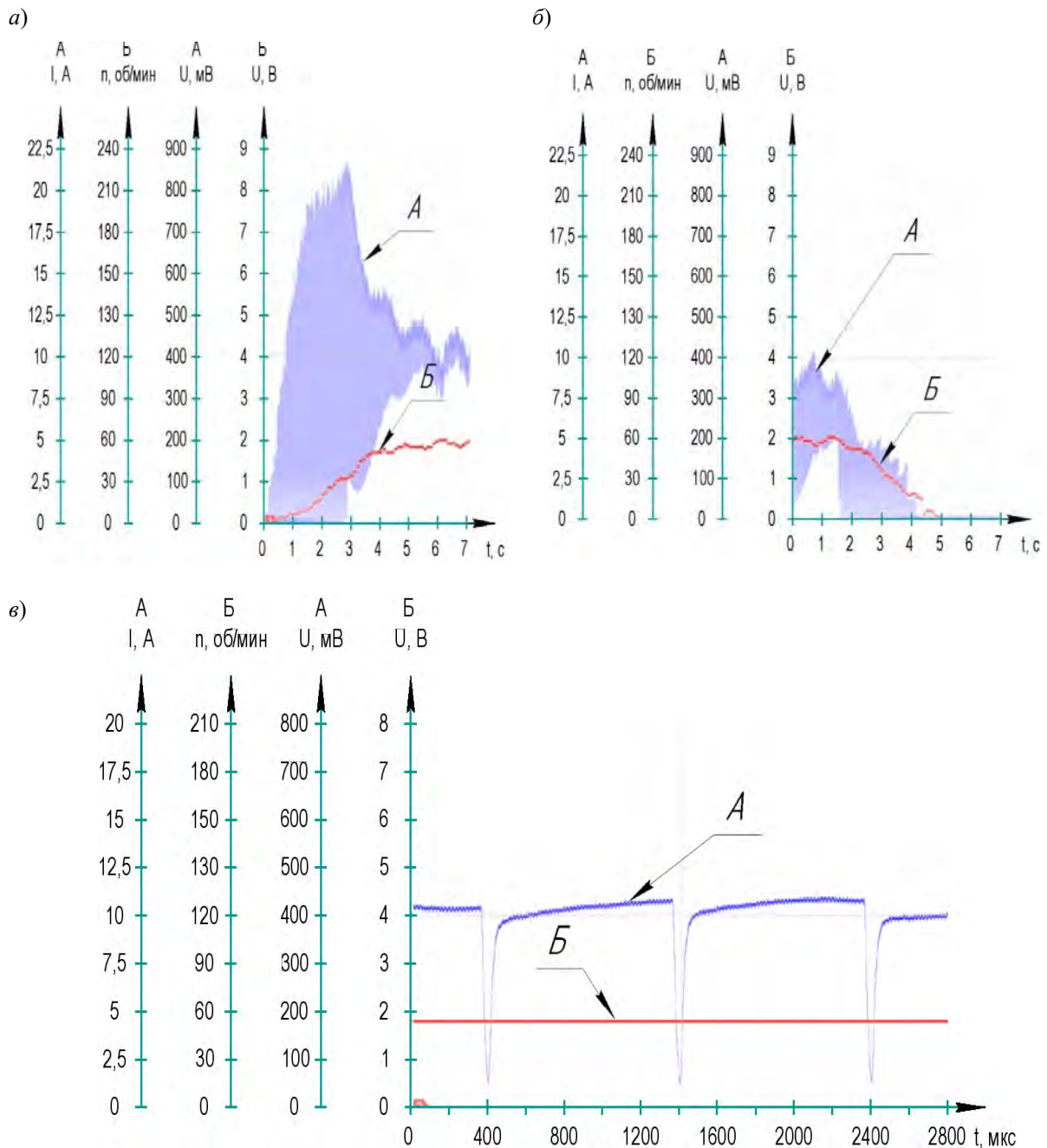


Рис. 7. Осциллограммы работы тягового электропривода прототипа платформы молочного такси при перемещении полезного груза массой 300 кг, зафиксированные планшетным осциллографом Micsig tBook Mini серии TO1104: а – участок разгона (развертка – 1 с); б – участок торможения (развертка – 1 с); в – участок движения на постоянной скорости (развертка – 200 мкс); А – сигнал с датчика тока интегрального ACS758LCB-050B-PFF-T; Б – сигнал с инкрементального энкодера RCC38S6-G2M2F-1024BM DC8-26V

На участке разгона ток в цепи якоря мотора имеет максимальное значение в течение 3 с – 21,2 А.

Осциллограммы работы тягового электропривода прототипа платформы

молочного такси при перемещении полезного груза массой 400 кг представлены на рис. 8.

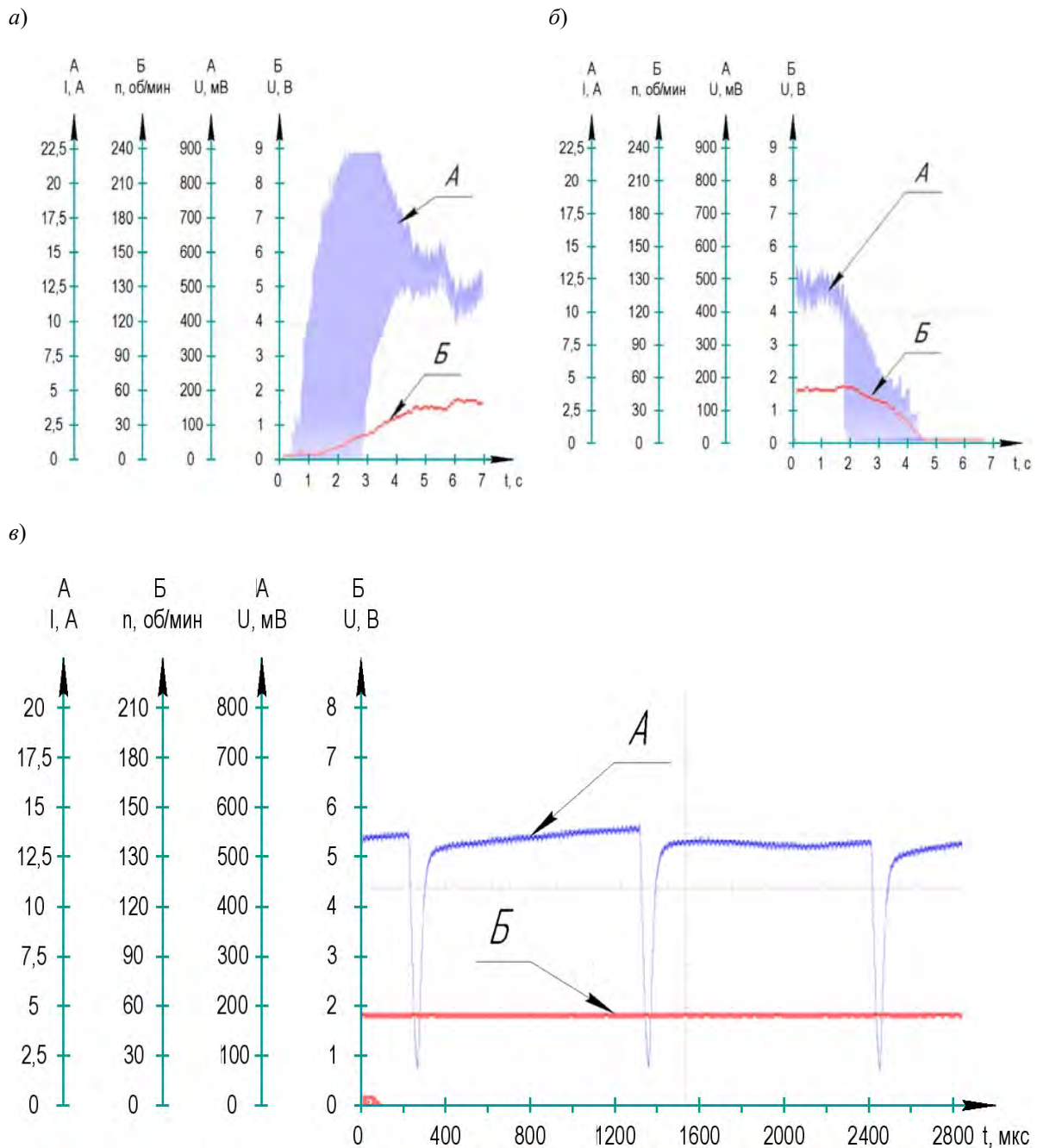


Рис. 8. Осциллограммы работы тягового электропривода прототипа платформы молочного такси при перемещении полезного груза массой 400 кг, зафиксированные планшетным осциллографом Micsig tBook Mini серии TO1104: а – участок разгона; б – участок торможения; в – характер тока; А – сигнал с датчика тока интегрального ACS758LCB-050B-PFF-T; Б – сигнал с инкрементального энкодера RCC38S6-G2M2F-1024BM DC8-26V

На участке разгона ток в цепи якоря мотора имеет максимальное значение в течение 3 с – 22,9 А.

Температура на поверхности мотор-редуктора тягового электропривода прототипа платформы молочного такси,

зафиксированная после работы, в контрольных точках по истечении 75 мин отображена на рис. 9, что соответствует примерно времени максимального цикла раздачи ЖКС в профилактории МТФ при кормлении телят.

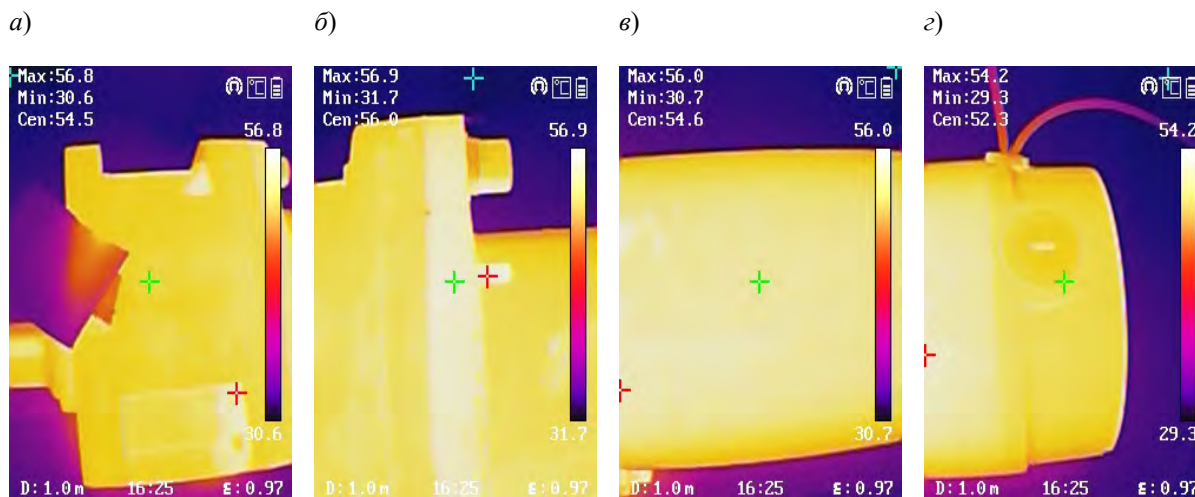


Рис. 9. Изображение поверхности исследуемого мотор-редуктора тягового электропривода прототипа платформы молочного такси с ручной тепловизионной камеры HIKMICRO B20 в контрольных точках: а – редуктор; б – место крепления редуктора к мотору; в – мотор; з – место установки щеток

Температура поверхности редуктора (см. рис. 9, а) исследуемого мотор-редуктора тягового электропривода находится в диапазоне от 30,6 °С до 56,8 °С.

Температура поверхности места крепления редуктора к мотору (см. рис. 9, б) исследуемого мотор-редуктора тягового электропривода находится в диапазоне от 31,7 °С до 56,9 °С.

Температура поверхности мотора (см. рис. 9, в) исследуемого мотор-редуктора тягового электропривода находится в диапазоне от 30,7 °С до 56,0 °С.

Температура поверхности места установки щеток (см. рис. 9, з) исследуемого мотор-редуктора тягового электропривода находится в диапазоне от 29,3 °С до 54,2 °С.

Выводы

По итогам испытаний тягового электропривода прототипа мобильной платформы молочного такси были получены следующие результаты.

1. Подтверждена работоспособность разработанной конструкции тягового электропривода прототипа платформы молочного такси.

2. Получены осциллограммы координат вектора состояния тягового электропривода прототипа платформы молочного такси. Координаты тока в цепи якоря в режиме разгона изменяются в пределах от 17,25 (нагрузка – 200 кг) до 22,9 А (нагрузка – 400 кг), время разгона и торможения – 3 с (постоянная времени, заданная контроллером).

В режиме работы на постоянной скорости значения скорости изменяются в пределах от 4,68 (60,6 об/мин) (нагрузка – 200 кг) до 4,33 км/ч (56,06 об/мин) (нагрузка – 400 кг).

3. Получены характеристики нагрева элементов тягового электропривода прототипа платформы молочного такси.

4. Подтверждена эксперименталь-

но работоспособность тягового электропривода прототипа платформы молочного такси с максимальной массой полезного груза 400 кг, при этом ток якоря на установившейся скорости – 13,2 А, температура на поверхности элементов тягового электропривода – не более 60 °С, время проведения испытаний – 75 мин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнип, Д. В. Некоторые вопросы экспериментального определения характеристик тягового электропривода молочного такси / Д. В. Шнип, А. И. Шматкова, Н. А. Терешков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 22–24 окт. 2025 г. – Могилев, 2025. – С. 167–168.
2. Организационно-технологические требования при производстве молока на молочных комплексах промышленного типа. – URL: https://mshp.gov.by/ru/documents_animal-ru/view/organizatsionno-technologicheskie-trebovaniya-pri-proizvodstve-moloka-na-molochnykh-kompleksakh-promyshlennogo-9663 (дата обращения: 11.03.2026).
3. Шнип, Д. В. Экспериментальная оценка рабочих характеристик тягового электропривода молочного такси / Д. В. Шнип // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 22–24 окт. 2025 г. – Могилев, 2025. – С. 165–166.
4. tech-privod.com. – URL: <https://tech-privod.com/index.pl?act=PRODUCT&id=1202> (дата обращения: 11.03.2026).
5. Мотор-редукторы. Общие технические условия : ГОСТ 31591–2012. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.
6. trojanbattery.com. – URL: <https://www.trojanbattery.com/products/27tmx-12v-flooded-battery> (дата обращения: 11.03.2026).
7. chipdip.by. – URL: <https://www.chipdip.by/product/rcc38s6-g2m2f-1024bm-dc8-26v-inkrementalnyy-kipia-ru-8014373748> (дата обращения: 11.03.2026).
8. micsig.com. – URL: <https://www.micsig.com/product10> (дата обращения: 11.03.2026).
9. hikmicrotech.com. – URL: <https://www.hikmicrotech.com/en/industrial-products/b-series-handheld-thermal-imager> (дата обращения: 11.03.2026).
10. chipdip.by. – URL: <https://www.chipdip.by/product/shunt-50a-75mv-analog-shsm-klass-tochnosti-0-5-ruichi-8007167402> (дата обращения: 11.03.2026).
11. mglksi.by. – URL: https://mglksi.by/catalog/kirpich_silikatnyi/kirpich-silikatnyy-polnotelyy (дата обращения: 11.03.2026).
12. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия : ГОСТ 379–2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 22 с.
13. i-on.by. – URL: <https://i-on.by/scales/napolnye-vesy-galaxy-gl4808> (дата обращения: 11.03.2026).

Статья сдана в редакцию 14 апреля 2026 года

Контакты:

emos_mogilev@rambler.ru (Леневский Геннадий Сергеевич);

snhip@mail.ru (Шнип Денис Викторович).

G. S. LENEVSKY, D. V. SHNIP

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF TRACTION DRIVE
CHARACTERISTICS OF A MILK TAXI**

Abstract

The paper explores various aspects involved in the experimental determination of traction electric drive characteristics for a milk taxi. The main state vector coordinates of the traction drive system used have been defined, along with the methodology for their evaluation. A mobile milk taxi platform prototype has been developed and assembled to research the electric drive characteristics of the milk taxi.

Keywords:

traction electric drive of a milk taxi, state vector of traction electric drive, characteristics study.

For citation:

Lenevsky, G. S. Experimental determination of traction drive characteristics of a milk taxi / G. S. Lenevsky, D. V. Shnip // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2026. – № 3 (92). – P. 109–120.