

УДК 621.313

**В. П. ШАЙДА, Е. Ю. ЮРЬЕВА, Д. А. ГРИНЬ****АНАЛИЗ ПУТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДТН-45/27, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПРИВОДА РУДНИЧНОГО КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА**

Проведено порівняльний аналіз параметрів та конструкцій тягових двигунів постійного струму. Визначено технічні рішення, які дозволяють підвищити техніко-економічні показники тягового двигуна. Визначено переваги та вади конструкції та технології виготовлення тягових двигунів постійного струму. Запропоновано спосіб збільшення годинної потужності двигуна постійного струму типу ДТН-45/27. Запропоновано конструктивні рішення, які підвищують надійність двигуна при експлуатації в шахті.

**Ключові слова:** рудниковий контактний електровоз, тяговий двигун постійного струму, годинна потужність, клас нагрівостійкості ізоляції, вакуум-нагнітальне просочення якоря.

Проведен сравнительный анализ параметров и конструкций тяговых двигателей постоянного тока. Выявлены технические решения, позволяющие повысить технико-экономические показатели тягового двигателя. Выявлены преимущества и недостатки в конструкции и технологии производства тяговых двигателей постоянного тока. Предложен способ увеличения почасовой мощности двигателя постоянного тока типа ДТН-45/27. Предложены конструктивные решения, которые повышают надежность двигателя при эксплуатации в шахте.

**Ключевые слова:** рудничный контактный электровоз, тяговый двигатель постоянного тока, часовая мощность, класс нагревостойкости изоляции, вакуум-нагнетательная пропитка якоря.

**Purpose.** A comparative analysis of parameters and designs DC traction motors to identify technical solutions aimed at improving the technical and economic indicators. **Methodology.** On the basis of the comparative analysis revealed strengths and weaknesses in the design and manufacture technology of traction motors DC. **Results.** The situation was considered in the operation of technological transport of iron ore mines at the present time. The main directions of modernization of contact electric locomotive for mines especially K14 were identified. The analysis of the structure and parameters traction motor DC type DTH-45/27 and its analogs were done. A way to increase the hourly power traction motor DC type DST-45/2 was proposed. **Originality.** The novelty of the results was achieved by integration of the design and manufacture technology of traction motors DC type DTH-45/27. **Practical value.** Ways of increasing the power of traction motors DC in long-term and short-term work were proposed. We support the method of control, motor monitoring and protection against overheating.

**Keywords:** miner contact electric locomotive, traction motor DC, hourly power, insulation system, vacuum-injection steep armature.

**Введение.** В настоящее время на железорудных шахтах Украины основным технологическим транспортом являются рудничные контактные электровозы с двигателями постоянного тока [1].

Такая ситуация, с первого взгляда, кажется нелогичной, ведь за рубежом основную массу составляют электровозы с приводом от асинхронных двигателей. Мало того, необходимость перехода на привод от асинхронных двигателей уже давно обоснована нашими учеными не только для рудничного [2], но и железнодорожного, и городского электротранспорта. Даже более того, в Украине уже создан и прошел предварительные испытания в шахте отечественный рудничный электровоз с асинхронным электроприводом [3].

Однако экономический кризис и необходимость больших капитальных вложений не позволяют отказаться от существующего парка рудничных электровозов с двигателями постоянного тока, который составляет несколько тысяч штук [4]. Более того, проводятся работы по повышению надежности и модернизации существующего парка рудничных электровозов [2, 5].

В Украине широко используются рудничные электровозы типа К10 и К14 (и их модификации), производителями которых являются: ГП «НПК Електровозостроение» (г. Днепропетровск, Украина), ЧАО ПКФ «Амплитуда» (г. Донецк, Украина) и ОАО «Александровский машиностроительный завод» (г. Александровск, Россия).

Остановимся на рудничном электровозе К14, как наиболее перспективном для модернизации. Для привода электровоза используются два тяговых двигателя типа ДТН-45/27, выполненных с

последовательным возбуждением.

Работы, проводимые по модернизации рудничного электровоза К14, можно разделить на два направления:

1) улучшение системы управления, что включает замену существующих резисторных систем управления тяговым двигателем постоянного тока (ТДПТ) на импульсные регуляторы [2];

2) модернизация самого ТДПТ с целью повышения его технико-экономических параметров и надежности [5, 6], что особенно актуально из-за частых поломок и выходов электрооборудования из строя.

Как уже писалось в [5], долгое время основным производителем ТДПТ типа ДТН-45/2 и систем управления к нему являлось ПАО «Электромашина» (г. Харьков, Украина), что было связано со специализацией заводов в СССР. Однако, после обретения Украиной независимости, ситуация изменилась – появились производители аналогичного электропривода как в Украине, так и в России. Естественно, что конкуренция между производителями подтолкнула их к проведению работ по улучшению (модернизации) данного электропривода. К тому же, в последнее время, потребители выдвигают требования к повышению мощности ТДПТ, как в длительном, так и в часовом режиме работы.

Поэтому задача модернизации ТДПТ типа ДТН-45/2 с целью повышения мощности в существующем габарите является актуальной.

**Цель работы.** Проведение сравнительного анализа параметров и конструкции ТДПТ типа ДТН-45/27 с его аналогами для выявления

технических решений, позволяющих повысить его технико-экономические показатели. Поиск путей повышения мощности ТДПТ в режиме работы S2 с 45 кВт до 60 кВт, с сохранением габаритов двигателя.

**Конструкция ТДПТ типа ДТН-45/27 и его аналогов.** Аналогами двигателя ДТН-45/27 являются двигатели: ДК-812, СТК-45 и ДТНР-45. Рассмотрим по порядку конструкцию и отличия указанных двигателей.

Внешний вид двигателя ДТН-45/27 производства ПАО «Электромашина» показан на рис.1.



Рис. 1 – Внешний вид ТДПТ типа ДТН-45/27

Двигатель имеет классическую конструкцию с явно выраженными полюсами, конструктивное исполнение: горизонтальное, защищенное (IP43, обеспечивается корпусом электровоза), с самовентиляцией (IC01), рудничное нормальное (РН1) и с одним выступающим концом вала конической формы. Это описание характерно и для аналогов данного двигателя.

Конструкция двигателя ДТН-45/27 показана на рис. 2. Магнитная система состоит из стального остова 5 цилиндрической формы, сверху остова размещена коробка выводов с четырьмя

сальниковыми вводами для подвода кабелей питания. С двух сторон корпус закрыт подшипниковыми щитами, которые вместе с крышками 2 и 20 образуют подшипниковые камеры.

В остове со стороны коллектора расположено окно для доступа к коллектору 3, траверсе 4 и щеткам, установленным в щеткодержателях 22. Со стороны привода предусмотрено вентиляционное окно и отверстие для слива смазки, закрытое пробкой 21. Коллекторное окно закрыто фильтром 6, а вентиляционное окно – крышкой-жалюзи.

К остову с помощью шпилек и болтов крепятся главные 13 и добавочные 12 полюса с насаженными на них катушками 14 и 9 соответственно. Сердечники главных полюсов шихтуются из листов электротехнической стали, сердечники добавочных полюсов выполнены из стальной поковки. Катушки полюсов изготавливаются из изолированного провода марки ПСДКТ – Л, изоляция которого выполнена по классу нагревостойкости Н.

Сердечник якоря 10 состоит из листов электротехнической стали марки 2212, которые нашихтованы на вал между нажимными кольцами 7 и 17. В пазы сердечника якоря укладывается обмотка якоря 16, которая выполнена из жестких секций и закреплена в пазовой части клиньями, а в лобовых – стеклобандажом. Обмотка якоря – волновая, система изоляции обмотки относится к классу нагревостойкости F. Коллектор 3 арочного типа закреплен на стальном корпусе.

Щеточный узел состоит из траверсы 4, которая установлена на подшипниковом щите. К траверсе крепятся два brackets, с двумя щеткодержателями на каждом, т.е. всего четыре щетки.

Вал якоря вращается в подшипниках качения: шарикоподшипнике 1 – со стороны коллектора и роликоподшипнике 19 – со стороны привода. Подшипники закрыты крышками 2 и 20 соответственно. Подшипниковый щит 18 имеет замок для посадки корпуса редуктора.

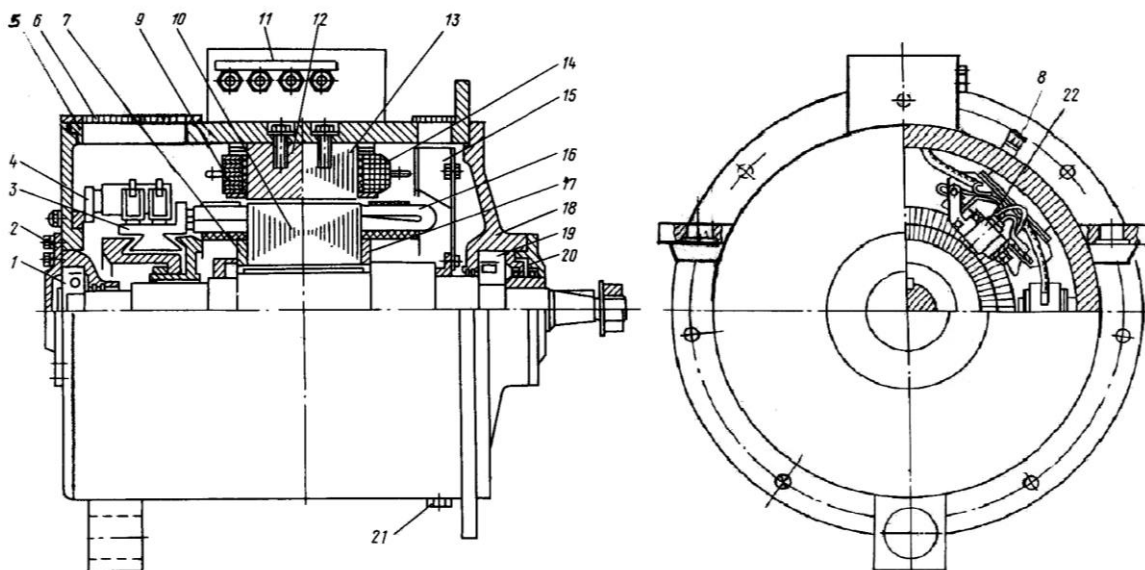


Рис 2 – Конструкция двигателя типа ДТН-45/27

Охлаждение двигателя осуществляется с помощью встроенного вентилятора, установленного внутри корпуса, на валу, со стороны привода. Охлаждающий воздух поступает в двигатель со стороны коллектора и выбрасывается со стороны привода через вентиляционные окна.

Появление конкуренции, повышение требований потребителей к параметрам и надежности двигателей привело к необходимости модернизации как двигателя ДТН-45/27 та и других выпускаемых двигателей на ПАО «Электромашина». Поэтому предприятие несколько лет назад приобрело установку вакуумной пропитки, а затем и вторую установку вакуум-нагнетательной пропитки. Это позволило перейти на изготовление всех обмоток машин постоянного тока с изоляцией класса нагревостойкости Н. Проведя комплекс мероприятий, предприятию удалось повысить длительную мощность двигателя с 27 кВт до 35 кВт, а часовую с 45 кВт до 50 кВт (однако в технических условиях на двигатель заявлено только об увеличении длительной мощности). Увеличение мощности обеспечено путем изменения класса нагревостойкости изоляции якоря с F на H и внедрением прогрессивного пропиточного компаунда «ЭЛПЛАСТ 180-ИД» для пропитки обмоток двигателя в вакуум-нагнетательной установке вместо лака КО-916к. Также был изменен вентилятор – увеличена длина его лопаток, что позволило существенно улучшить теплоотдачу от обмоток к корпусу.

Внешний вид двигателя ДК-812 показан на рис. 3. Двигатель ДК-812 производился на заводе «ДИНАМО» (г. Москва, Россия), сейчас завод уже не существует, но производством данного двигателя занимаются несколько российских предприятий [6].



Рис. 3 – Внешний вид ТДПТ типа ДК-812

Конструкция двигателя ДК-812 не имеет существенных отличий от модернизированного двигателя ДТН-45/27. Незначительные отличия – вместо крышки-жалюзи установлено две крышки с сетками со стороны коллектора, а встроенный вентилятор отливается из высокопрочного алюминиевого сплава (в ДТН-45/27 он стальной). Также в описании [6] указано, что передний

подшипниковый щит имеет возможность небольшого поворота для правильной установки щеткодержателей на нейтрали. Это говорит о том, что brackets жестко закреплены на подшипниковом щите, и установка нейтрали возможна только до монтажа двигателя на электровозе.

Двигатель СТК-45 производства «НПП «Смелянский электромеханический завод» (г.Смела, Украина) – недавняя разработка [7]. Внешний вид двигателя СТК-45 показан на рис. 4.



Рис. 4 – Внешний вид ТДПТ типа СТК-45

В двигателе СТК-45 также применена система изоляции класса нагревостойкости Н. Есть изменения в клеммной коробке и вместо трех добавочных полюсов установлено четыре, что улучшает условия коммутации двигателя. Однако есть и недостатки: вместо роликового двигателя установлен шариковый, увеличено количество окон для обслуживания коллектора, а также другие, которые подробно описаны в [5].

Двигатель ДТНР-45 производит ООО «Харьковский завод электрических машин» (г. Харьков, Украина) [8]. В конструкции этого двигателя тоже используется система изоляции класса нагревостойкости Н. Если рассматривать принципиально, то данный двигатель является клоном двигателя ДТН-45/27. Но в описании [8] указано, что применение современных материалов в электродвигателях позволило увеличить ресурс работы электродвигателей до 8000 часов, мощность в кратковременной нагрузке – в среднем на 3-5 кВт. Применение новых технологий точного литья корпусов позволило уменьшить вес корпусов, Вал изготавливается из покованной стали. Также в обмотку возбуждения двигателя устанавливаются датчики для контроля его температуры.

Анализируя конструкцию рассмотренных двигателей, можно сделать вывод, что все производители используют систему изоляции класса нагревостойкости Н как для магнитной системы, так и для якоря. Практически у всех двигателей увеличена длительная мощность до 35 кВт. Также вносятся изменения в расположение вентиляционных окон и конструкцию коробки выводов, однако они не всегда оправданы исходя из условий эксплуатации

двигателя.

**Анализ рекомендаций по модернизации.** Рассмотрим предложения, приведенные в работе [5], которые даны для повышения конструкционной надежности и долговечности двигателя ДТН-45/27, а именно:

1) разместить вентиляционные отверстия на вертикальных поверхностях с защитой их от брызг, как это показано на рис. 5;

2) улучшить уплотнение крышки клеммной коробки;

3) для повышения стойкости двигателя к вибрациям и технологическим ударам капсулировать лобовые части якорной обмотки эпоксидным компаундом;

4) для контроля текущего состояния электрических параметров тягового двигателя предложен способ бесконтактного контроля, мониторинга и защиты.

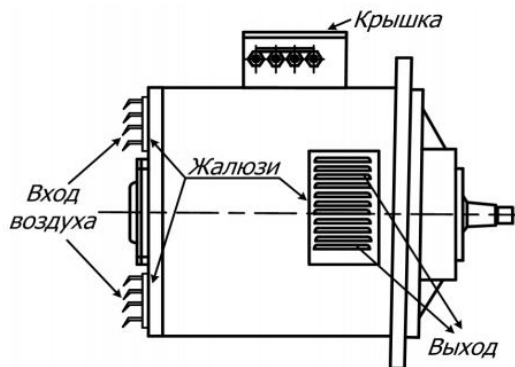


Рис. 5 – Вариант размещения вентиляционных окон в двигателе [5]

С размещением окон, показанным на рис. 5, трудно согласиться, т.к. электровоз зачастую проходит участки пути, где вода доходит до оси колесной пары, а это чревато попаданием влаги в двигатель, особенно для окна для входа воздуха, размещенного внизу подшипникового щита. К тому же все равно нельзя отказаться от окон со стороны коллектора, т.к. они необходимы для обслуживания щеточного узла.

Переход на вакуум-нагнетательную пропитку якоря в компаунде «ЭЛПЛАСТ 180-ИД» решает проблему повышения стойкости двигателя к вибрациям и технологическим ударам. Уплотнение крышки клеммной коробки действительно повысит эксплуатационную надежность двигателя в целом. При последующем производстве в двигателях в базовой комплектации должна предусматриваться аппаратура бесконтактного контроля.

В настоящее время заказчик предложил ПАО «Электромашина» повысить часовую мощность двигателя ДТН-45/27 с 45 кВт до 60 кВт без изменения габарита. Поэтому авторами статьи, в сотрудничестве с СКБ предприятия, намечены пути достижения этой цели и план исследований.

**Выводы.** 1. Рассмотрена ситуация, сложившаяся в настоящее время, в эксплуатации технологического транспорта железорудных шахт. Рассмотрены

основные направления модернизации рудничных контактных электровозов, в частности электровоза К14.

2. Выполнен анализ конструкции и параметров ТДПТ типа ДТН-45/27 и его аналогов, в результате которого выделены основные направления его развития (модернизации). Также рассмотрены предложения по модернизации ТДПТ типа ДТН-45/27 предложенные в работе [5]. В частности мы не согласны с переносом отверстий для входа охлаждающего воздуха на подшипниковый щит, особенно если эти проемы располагаются ниже оси вала двигателя. В тоже время поддерживаем предложенный способ контроля, мониторинга и защиты двигателя от перегрева.

3. Предложен путь повышения часовой мощности ТДПТ типа ДТН-45/2.

#### Список литературы

1. Бутт Ю. Ф. Шахтный подземный транспорт: справочное издание: в 2-х т. / Ю. Ф. Бутт, В. Б. Грядущий, В. Л. Дебелый [и др.]. Под общ. ред. Б. А. Грядущего. – Т. 1. – Донецк: «ВИК», 2009. – 481 с.
2. Синчук И. О. К вопросу выбора типа и системы управления тяговым электроприводом рудничных электровозов / И. О. Синчук, К. П. Ляпота, Э. С. Гузов, О. Е. Мельник // *Електротехнічні і енергозберігаючі системи.* – Вип. 1/2007 (1). – 2007. – С. 27–31.
3. Синчук О. Н. Синергетический тяговый асинхронный электротехнический привод для контактно-аккумуляторного двухосного электровоза / О. Н. Синчук, Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа, Э. С. Гузов, Ф. И. Караманец // *Електротехнічні і енергозберігаючі системи.* – Вип. 4/2011 (16). – 2011. – С. 65–68.
4. Дебелый В. Л. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта / В. Л. Дебелый, Л. Л. Дебелый, С. А. Мельник // *Уголь Украины.* – № 6. – 2006. – С. 30–31.
5. Синчук О. Н. Вопросы повышения надежности системы мониторинга температурных режимов тяговых электрических двигателей рудничных электровозов / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, Д. О. Кальмус, В. О. Чорная // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.* – Вип. 4/2014 (87). – 2014. – С. 44–50.
6. Официальный сайт ООО «Первая горная компания». – Режим доступа: <http://www.1gc.ru/oborudovanie-dlya-rudnichnyh-elektrovozov/elektrodvigatel-dk-812>. – Дата обращения: 20 сентября 2016.
7. Официальный сайт «НПП «Смелянский электромеханический завод». – Режим доступа: <http://www.semz.info/ru/catalog/stk45.html>. – Дата обращения: 20 сентября 2016.
8. Официальный сайт ООО «Харьковский завод электрических машин». – Режим доступа: <http://hzem.biz/elektrodvigateli-dlya-kontaktnyh-el>. – Дата обращения: 20 сентября 2016.

#### References (transliterated)

1. Butt Yu. F., Gryaduschiy V. B., Debelyiy V. L., Koval' A. N., Furman A. L., Schuka V. M., Yatsenko V. A. *Shahtnyiy podzemnyiy transport: spravochnoe izdanie: v 2-h t.* [Mine underground transport: a reference book: in 2 vol., Vol. 1, Donetsk: «VIK», 2009, 481 p.
2. Sinchuk I. O., Ljapota K. P., Guзов Je. S., Mel'nik O. E. K voprosu vybora tipa i sistemy upravlenija t'jagovym jelektroprivodom rudnichnyh jelektrovozov [On the question of the choice of the type and control system electric traction miner electric locomotives]. *Elektromehanichni i energozberigayuchi sistemi – Electromechanical and energy saving systems.* Release 1/2007 (1), 2007, p. 27–31.
3. Sinchuk O. N., Shokarev D. A., Skapa E. I., Guзов Je. S., Karamanec F. I. Sinergeticheskij t'jagovij asinhronnij jelektrotehnikeskij privod dlja kontaktno-akkumuljatornogo dvuhosnogo elektrovoza [Synergetic asynchronous traction drive

- for electrical contact battery two-axle locomotive]. *Elektromechanichni i energozberigayuchi sistemi – Electromechanical and energy saving systems*. Release. 4/2011 (16), 2011, p. 65–68.
4. Debelyj V. L., Debelyj L. L., Mel'nik S. A. Osnovnye napravleniya razvitiya shahtnogo lokomotivnogo transporta [The main directions of development of the mine locomotive transport.]. *Ugol' Ukrainy – Ukraine Coal*. 2006, no. 6, p. 30–31.
  5. Sinchuk O. N., Guzov Je. S., Sinchuk I. O., Kal'mus D. O., Chornaja V. O. Voprosy povysheniya nadezhnosti sistemy monitoringa temperaturnyh rezhimov tjagovyh jelektricheskikh dvigatelej rudnichnyh elektrovozov [Questions of increase of reliability of the monitoring system of temperature modes of traction electric motors mine electric locomotives]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhajla Ostrohrads'koho – Bulletin of Kremenchuk National University named Mykhailo Ostrogradsky*. Release. 4/2014 (87), 2014, p. 44–50.
  6. Official site «ООО «Pervaja gornaja kompanija». – Available at: <http://www.1gc.ru/oborudovanie-dlya-rudnichnyh-elektrovozov/elektrodvigatel-dk-812>. (accessed 20.09.2016).
  7. Official site «NPP «Smeljanskij jelektricheskij zavod». – Available at: <http://www.semz.info/ru/catalog/stk45.html>. (accessed 20.09.2016).
  8. Official site «ООО «Har'kovskij zavod jelektricheskikh mashin». – Available at: <http://hzem.biz/elektrodvigateli-dlya-kontaktnyh-el>. (accessed 20.09.2016).

Поступила (received) 02.10.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Аналіз шляхів модернізації тягового двигуна постійного струму ДТН-45/27, призначеного для привода рудникового контактної електровоза / В. П. Шайда, О. Ю. Юр'єва, Д. О. Гринь // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 32 (1204). – С. 53–57. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-3944.**

**Анализ путей модернизации тягового двигателя постоянного тока ДТН-45/27, предназначенного для привода рудничного контактного электровоза / В. П. Шайда, Е. Ю. Юрьева, Д. А. Гринь // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 32 (1204). – С. 53–57. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-3944.**

**Analysis of ways to modernize the traction motor DC DTH-45/27 for the drive of miner contact electric locomotive / V. P. Shayda, O. Yu. Yurieva, D. O. Hryn' // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – No. 32 (1204). – P. 53–57. – Bibliogr: 8. – ISSN 2079-3944.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Шайда Віктор Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, тел. (057) 707-68-44; e-mail: viktor-shayda@ukr.net.

**Шайда Виктор Петрович** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры электрических машин, тел. (057) 707-68-44; e-mail: viktor-shayda@ukr.net.

**Shaida Viktor Petrovich** – Ph.D., Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor of the Department of Electrical machines, tel. +38 (057) 707-68-44; e-mail: viktor-shayda@ukr.net.

**Юр'єва Олена Юрївна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, тел. (057) 707-68-44; e-mail: ele6780@gmail.com.

**Юрьева Елена Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры электрических машин, тел. (057) 707-68-44; e-mail: ele6780@gmail.com.

**Yurieva Olena Yuriyivna** – Ph.D., Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor of the Department of Electrical machines, tel. +38 (057) 707-68-44; e-mail: ele6780@gmail.com.

**Гринь Дмитро Олександрович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент.

**Гринь Дмитрий Александрович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент

**Hryn` Dmytro Oleksandrovych** – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», student.