

В. Б. САМОРОДОВ, В. М. КРАСНОКУТСЬКИЙ, В. Ю. ТКАЧОВ

РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОТРАКТОРІВ В УКРАЇНІ

Щодня планета Земля піддається жахливому парниковому впливу газів, які виробляють двигуни внутрішнього згоряння, що знаходяться всередині кожного транспортного засобу. Програми більшості найбільших представників транспортної промисловості містять пункти, присвячені розробці, проектуванню та експлуатації електромобілів. Очікується, що ці безшумні, екологічно чисті та високопродуктивні транспортні засоби зроблять двигуни внутрішнього згоряння застарілими до 2025 року. Підвищена увага до відновлюваної енергії, турборежим в будівництві електромобілів, технологічні розробки та неймовірні прориви в науці все більш підживлюють обговорення між інженерами у вітчизняних і зарубіжних науково-технічних виданнях відродження ідеї тракторобудування із використанням електричного двигуна, що живиться від акумуляторних батарей. В роботі, спираючись на аналіз опублікованих статей по автомобілям і тракторам, що мають електричний привод, виконана оцінка сучасних напрямків розвитку електротракторів та необхідність продовження роботи над цією тематикою. Розглянуто дослідні колісні електротрактори, що харчуються за допомогою тролейного кабелю - трохи дивного вигляду трактори, котрі зустрічається на архівних фотографіях, продукт саме тієї епохи, епохи масштабної електрифікації сільськогосподарської галузі та всієї країни. В статті описаний досвід використання тракторів із електричним двигуном у порівнянні зі тракторами, що використовували теплові. Також проаналізовані сучасні розробки в Україні, приведені яскраві приклади втілення ідеї, та, разом з тим, розібрані позитивні і негативні сторони кожного із існуючих електротракторів в Україні. Зроблено висновок про виробництво тракторів з використанням електроприводу в Україні, розглянуто можливості перспектив подальшого розвитку будівництва, перспектив підзаряджати батареї від сонячних панелей (фотоелектричних модулів) або вітроелектричних установок.

Ключові слова: трактор, електротрактор, електричний привід, акумуляторні батареї, альтернативні джерела енергії, електричний двигун.

В. Б. САМОРОДОВ, В. Н. КРАСНОКУТСКИЙ, В. Ю. ТКАЧЕВ

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОТРАКТОРОВ В УКРАИНЕ

Ежедневно планета Земля подвергается ужасному парниковому воздействию газов, которые производят двигатели внутреннего сгорания, которые находятся внутри каждого транспортного средства. Программы большинства крупнейших представителей транспортной промышленности содержат пункты, посвященные разработке, проектированию и эксплуатации электромобилей. Ожидается, что эти бесшумные, экологически чистые и высокопроизводительные транспортные средства сделают двигатели внутреннего сгорания устаревшими до 2025 года. Повышенное внимание к возобновляемой энергии, турборежим в строительстве электромобилей, технологические разработки и невероятные прорывы в науке все более подпитывают обсуждения между инженерами в отечественных и зарубежных научно-технических изданиях возрождение идеи тракторостроения с использованием электрического двигателя, который питается от аккумуляторных батарей. В работе, опираясь на анализ опубликованных статей по автомобилям и тракторам, имеющие электрический привод, выполненная оценка современных направлений развития электротракторов и необходимость продолжения работы над этой тематикой. Рассмотрены исследовательские колесные электротракторы, питающихся с помощью троллейного кабеля - немного странного вида тракторы, которые встречается на архивных фотографиях, продукт именно той эпохи, эпохи масштабной электрификации сельскохозяйственной отрасли и всей страны. В статье описан опыт использования тракторов с электрическим двигателем по сравнению с тракторами, которые использовали тепловые. Также проанализированы современные разработки в Украине, приведены яркие примеры воплощения идеи, и, вместе с тем, разобраны положительные и отрицательные стороны каждого из существующих электротракторов в Украине. Сделан вывод о производстве тракторов с использованием электропривода в Украине, рассмотрены возможности перспектив дальнейшего развития строительства, перспектив подзарядки батареи от солнечных панелей (фотоэлектрических модулей) или ветроэлектрических установок.

Ключевые слова: трактор, электротрактор, электрический привод, аккумуляторные батареи, альтернативные источники энергии, электрический двигатель.

V.B. SAMORODOV, V.M. KRASNOKUTSKIY, V. Y TKACHOV

DEVELOPMENT OF ELECTRIC TRACTORS IN UKRAINE

Every day, planet Earth is exposed to a terrible greenhouse gas, which is produced by internal combustion engines that are inside each vehicle. The programs of most of the largest representatives of the transport industry contain items on the development, design and operation of electric vehicles. It is expected that these silent, environmentally friendly and high-performance vehicles will make internal combustion engines obsolete until 2025.

Increased attention to renewable energy, turbo mode in the construction of electric vehicles, technological developments and incredible breakthroughs in science are increasingly fueling discussions between engineers in domestic and foreign scientific and technical publications about the revival of the idea of tractor construction using an electric motor that is powered by rechargeable batteries. In the work, relying on the analysis of published articles on cars and tractors with an electric drive, an assessment of current trends in the development of electric tractors and the need to continue working on this topic. Research wheel electric tractors powered by a trolley cable are considered - a slightly strange type of tractors that are found in archive photos, a product of that era, the era of large-scale electrification of the agricultural industry and the whole country. The article describes the experience of using tractors with an electric motor in comparison with tractors that used thermal ones. Also, modern developments in Ukraine are analyzed, vivid examples of the embodiment of the idea are given, and at the same time, the positive and negative sides of each of the existing electric tractors in Ukraine are analyzed. The conclusion is made about the production of tractors using an electric drive in Ukraine, the possibilities of prospects for the further development of construction, the prospects of recharging batteries from solar panels (photovoltaic modules) or wind power plants are considered.

Keywords: tractor, electric tractor, electric drive, batteries, alternative energy sources, electric motor.

Вступ. Сьогодні у світі відбуваються зміни у функціонування енергетичного сектору, в якому підходах до формування енергетичної політики домінували великі виробники, викопне паливо, держав: здійснюється перехід від застарілої моделі неефективні мережі, недосконала конкуренція на

ринках природного газу, електроенергії, вугілля – до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізується домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та/або шляхів постачання палива. Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії із відновлюваних та альтернативних джерел. Впровадження заходів із запобігання та адаптації до зміни клімату також є одним із пріоритетів глобального розвитку енергетики.

Зупинити науково-технічний прогрес, як вже знаємо, неможливо, навіть незважаючи на складну соціально-економічну ситуацію в країні, вітчизняні виробники, як і раніше, освоюють виробництво нових і наукомістких розробок. Застосування моторного вуглеводневого палива неминує супроводжується підвищенням викидом діоксиду вуглецю (CO₂), який регламентує технічний рівень сучасних колісних та гусеничних транспортних засобів. Зниження викидів CO₂ традиційними методами не забезпечує виконання жорстких екологічних вимог і є серйозною проблемою автомобіле- та тракторобудування.

Зростання цін на нафтові і газові ресурси, їх зростаючі екологічні проблеми частково зумовили чергову хвилю інтересу до електротранспорту, але головне вести господарство без застосування викопного палива - це вже реально і це ставить перед Україною нові економічні та технологічні виклики, але водночас відкриває нові можливості для пошуку та впровадження інноваційних розробок у галузі машинобудування.

Аналіз публікацій. За останні декілька років практично у всіх розвинених країнах світу відмічається активна робота зі створення електромобілів та електротракторів на електроакумуляторному приводі. У попередніх роботах [1, 2, 3, 4] науковців: Клепиков В. Б., Семіков А. В., Моїсєєв А. Н., Гончар А. С., Адамчук В.В., Мироненко В.Г., Третяк В.М., Мельник Р.В., Шидловський А.К., Величко С.А., Улексин В.А., фахівців Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Національного наукового центру "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" та ін. досліджені окремі питання роботи електротранспорту, вибору силового електроприводу, розробки принципових схем керування електроприводом, оцінки економічного, соціального та екологічного ефекту.

Сільське господарство вже в турборежимі освоює новий рівень електрифікації виробництва, тим самим підвищуючи ефективність, у тому числі, за допомогою переведення тракторів та автомобілів на електричну тягу. На сьогодні Україна має великі можливості та перспективи розвитку тракторів на електричному приводі.

Постановка задачі. В основу роботи поставлено розглянути перспективи підвищення екологічної та економічної ефективності електротрактора в повному життєвому циклі сучасного трактора за рахунок використання альтернативних джерел електроенергії.

Основна частина. Згідно з енергетичною стратегією України «безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» на період до 2035 року [5] метою енергетичної політики країни є збільшення українського виробництва як традиційних, так і альтернативних поновлюваних джерел енергії, ресурси яких невичерпні, а також максимально ефективно використання природних енергетичних ресурсів.

Україна є однією з найбільш перспективних країн світу з питань альтернативних поновлюваних джерел енергії [6]. Частка електроенергії, отриманої від енергії сонця і вітру, в 2030 рік має бути 15 %, сучасний вітроенергетичний потенціал України становить 30000 ГВт · год на рік [7].

Тому є велика імовірність освоєння нового рівня електрифікації виробництва, що є одним із чинників ефективності сільського господарства України. Важливим в цьому процесі займає і переведення транспорту, зокрема тракторів сільськогосподарського призначення на електричний привід.

Але, спочатку звернемося до історії. Радянський Союз в 1945 році ухвалив рішення «Про розвиток сільської електрифікації», тому була розгорнута не мала робота зі створення тракторів з електричними двигунами. Були побудовані дослідні колісні електричні трактори типу СХТЗ на базі «теплого» трактора ВАРЗ [9].

Була випущена перша дослідна партія тракторів протягом 1949-1954 років, які живилися електрикою за допомогою тролейного кабелю (схожого, що використовують тролейбуси). Понад 100 тис. га в перерахунку на м'яку оранку, обробили за 6 сезонів 30 електротракторних агрегатів. З мінусів можна назвати обмежену ширину заїнок, тому поле потребувало більшої кількості електротракторів, ніж стандартних на тепловому двигуні, та сам тролейний кабель. Однак якість оранки була дуже високою.



Рис. 1. Буксирування електротрактора, 1950 рік



Рис. 2. Трактор ХТЗ 12 в роботі на полі

З новим типом електротракторів марки ХТЗ-12 в 1951-у році були випробувані 5-корпусні оборотні плуги, керовані з електротрактора за допомогою гідроприводу. Серед основних переваг електро-трактора у порівнянні з трактором з тепловим двигуном: хороші тягові властивості та надійність роботи тягового електродвигуна; простота технічного обслуговування та легкість пуску, економія часу і робочої сили, а також заправки паливом та водою.

Недоліки: великі початкові капіталовкладення; дещо меншу маневрену здатність через кабель; недостатню довговічність роботи живильного кабелю, а також його високу вартість; транспортування електротрактора за допомогою додаткового трактора з тепловим двигуном поза польових електричних мереж; більшу вагу на 1-2 т через вагу конструкції барабанної групи, електроприводу для намотування кабелю і великої кількості роликів, необхідних для направлення кабелю на барабан. Підвищена вага електротрактора спричиняє більший тиск на ґрунт навантаження на трансмісію і ходову частину машини.



Рис. 3. Електротрактор на будівництві Північно-кримського каналу на Херсонщині, 1963 рік

Досвід використання електротракторів показав їхню принципову працездатність і ефективність, а також і економічність в порівнянні з «тепловим» трактором, однак поширення ці конструкції не отримали, бо їхня робота безпосередньо залежала від віддаленості ліній електропередач і спеціальних пересувних живильних підстанцій. І менше ніж за десятиліття через започаткування виробництва більш досконалих і потужних теплових тракторів потреба в продовженні випуску подібних машин зникла [9].

В Радянському Союзі від 1957 року почали працювати також потужні дизель-електротрактори ДЕТ-250М2, які виготовлялися на Челябінському тракторному заводі (їх припинили випускати лише 2014-го).

Принцип роботи: дизельний двигун запускав генератор електричної енергії, від якого живився тяговий електричний двигун. ДЕТ-250 (рис. 4) дотепер залишається єдиним у світі (поряд зі своїми новішими моделями ДЕТ-320 і ДЕТ-400) трактором з електромеханічною трансмісією. Це пояснюється тим, що виробники тракторів в США і Японії вже в 1950-і роки віддавали перевагу гідромеханічній трансмісії. Водночас застосування механічної трансмісії для трактора потужністю 200 к.с. і вище було визнано недоцільним, було вирішено застосовувати на тракторі

електромеханічну трансмісію, що зумовило низку особливостей трактора: велику вагу, низький ККД, необхідність застосування складної системи охолодження електричних машин. Та при експлуатації трактора електромеханічна трансмісія при експлуатації трактора в холодну пору має переваги перед гідромеханічною [9].



Рис. 4. Трактор ДЗТ-250

Сьогодні ми спостерігаємо за стрімким турборежимом відродження електричного машинобудування завдяки технологічним розробкам та підвищенню уваги до відновлюваної енергії.

Існує величезний попит на електричні транспортні засоби, але інженерів та підприємств, які зацікавилися розробкою чи почали обмінюватися технічними напрацюваннями у цій галузі дуже мало. Наприклад, за кордоном, у тому числі в США та Європейському Союзі були запроваджені урядові стимули для заохочення використання електротранспорту, але в Україні, на жаль, зміни в сільському господарстві проходять повільно, а про перехід на електричний привід тракторів вважають, навіть, недоцільним [10].

Незважаючи на це, розробки електричних тракторів в Україні також існують. Одна з них — модель Edison (рис. 5) групи Одеських інженерів і техніків EcoFactor, котрі раніше створили електромобіль на базі «Запорожця». Витрати на технічне обслуговування трактора Edison набагато нижчі, ніж у дизельного аналога: свічок накалу, фільтрів, масла і т.п. у нього просто немає. Замість сотні деталей, що труться - всього два підшипники. Презентація трактора відбулася у Харкові на міжнародному форумі «Aggropart-2015». Розробки передані до Харківського тракторного заводу.



Рис. 5. ХТЗ Edison на базі шасі ХТЗ 3512 та оснащений 24-кіловатними літій-іонними батареями

Трактор ХТЗ Edison має привод на задні колеса та базується на шасі трактора ХТЗ-3512, оснащений 24-кіловатними літій-іонними батареями і електродвигуном Nissan Motors/Electric Motor потужністю 35 к.с. та оснащений системою управління трансмісією розробленою компанією «АвтоЕнтерпрайз». Для повної зарядки акумуляторів знадобиться 2-4 години від зарядного пристрою та 8-10 годин від електромережі 220 В. У транспортному положенні Edison може безперервно працювати до 8 годин, в силових роботах - до 4 годин. Трактор має можливість транспортувати причепа та напівпричепа загальною масою до 2 тонн зі швидкістю до 40 км / ч. Ціна базової моделі за приблизними оцінками розробників, була в межах \$15 тис.

Також був розроблений перший в Україні міні-електротрактор фахівцями Таврійського державного агротехнологічного університету ім. Дмитра Моторного (рис. 6). За тяговими показниками його можна віднести до тракторів тягового класу 0,2. Він обладнаний двигуном постійного струму, має шарнірно-зчленовану раму з колесами однакового розміру.

Особливістю цього міні електротрактора (рис. 6) є безступінчаста трансмісія. І це дуже важлива обставина, оскільки такий трактор може функціонувати на потенційній тяговій характеристиці. Іншими словами, за такої трансмісії рівень навантаження його двигуна буде завжди оптимальним. А це саме те, що потрібно для економічного використання акумулятора. З мінусів можна назвати обмежену тривалість безперервної роботи трактора, але для роботи в умовах тепличних господарств даний міні-електротрактор може отримувати живлення від стаціонарної електричної мережі. Це саме та перспектива, заперечення якої практично неможливе. А за умови створення достатньо ємних акумуляторів використання подібного міні-електротрактора буде ефективним і у польових умовах.



Рис. 6. Міні-електротрактор Таврійського державного агротехнологічного університету ім. Дмитра Моторного

Теж, був розроблений трактор ХТЗ-2511Е (рис. 7), де на місці дизельного двигуна та відповідних ДВС-деталей встановили електродвигун з акумуляторами. Проте в «серію» планували запустити дещо іншу модель, попередньо, під кодовою назвою Едісон, вищеописану. На одній зарядці трактор ХТЗ-2511Е може пропрацювати в транспортному режимі до 5 год, а з навантаженням при виконанні силових операцій - 2 год. Час для повної зарядки акумуляторів - близько 10 год.

Застосування літій-іонних батарей значно підвищує як час роботи трактора без підзарядки, так і ресурс батарей.

Для електротракторів питання підзарядки акумуляторів вирішується дещо простіше, ніж для автомобілів. І це пов'язано, насамперед, з обмеженістю території, на якій працює трактор.



Рис. 7. Загальний вигляд електротрактора ХТЗ-2511Е

Перше, це використання електротрактора у фермерських господарствах, де є можливість швидкої заміни батарей для продовження роботи, і також, щоб мінімізувати затрати на електроенергію, є перспектива підзаряджати батареї від сонячних панелей (фотоелектричних модулів) або вітроелектричних установок.

Друге, коли трактор в полі підзарядка можлива шляхом створення зарядних пересувних чи стаціонарних станцій швидкої заміни батарей та оптимізації плану виробничих завдань, де може бути досягнута практично безперервна робота електротрактора протягом всієї робочої зміни [6]. Кожну станцію можливо обладнати однією з можливих джерел енергії: централізованої електромережі, вітроелектричних пристроїв, фотоелектричних модулів. Саме альтернативні джерела енергії, котрі є невичерпні, принесуть користь як фермеру, так і навколишньому середовищу.

Висновки. Через високий рівень забруднення довкілля весь світ займається розробками більш нових, більш екологічних джерел електроенергії, тому сама область електроенергетики швидко прогресує, майже щомісяця анонсують про випробування та створення більш містких акумуляторів, що є величезним плюсом для розвитку електротракторів,

адже з розвитком акумуляторів вони стануть набагато дешевше та доступніше. Електротрактори вже через 2-3 роки стануть в пріоритеті в Україні, так як вже є перспективним напрямком розвитку транспорту в світі. На цьому фоні, сподіваємося і українські розробники звернуть увагу на перспективність розвитку та екологічність, економічність електротранспорту.

Список літератури

1. Клепиков В. Б. Исследование режима работы асинхронного генератора с самовозбуждением при ненасыщенной магнитной цепи / В. Б. Клепиков, А. Н. Моисеев, А. В. Семиков // *Електротехнічні та комп'ютерні системи* = *Electrotechnic and Computer Systems*. – 2011. – № 03 (79). – С. 286-288.
2. Адамчук В. Електрифікація як фактор створення сільськогосподарської техніки нового покоління / В. Адамчук, В. Мироненко, В. Третяк, Р. Мельник // *Техніка і технології АПК*. – 2013. – № 12. – С. 12-15.
3. Мельник Р.В. 2015. Ефективність роботи мобільних електрифікованих засобів сільськогосподарського призначення. Збірник наукових праць Кіровоградського Національного технічного університету, техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 27. Кіровоград.
4. Клепиков В. Б., Семиков А. В., Моисеев А. Н., Гончар А. С. и др. Из опыта создания электропривода электромотоцикла с супер-конденсаторным накопителем энергии. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ», 2015, Вип. 112 (1121). С. 195-198.
5. Енергетична стратегія України на період до 2035 року URL: <https://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?curDir=50358> (дата звернення: 20.10.2019)
6. Режим доступу: Слободян В. М. Розвиток електрифікованих мобільних енергетичних засобів / Мироненко В. Г., Мельник Р. В., Тимошук Д. В., Слободян В. М. // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК, 2014. – Вип. 194 – С. 33-38.
7. IRENA (2015), REmap 2030 Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні, IRENA, Абу-Дабі. URL: <https://www.irena.org/remap> (дата звернення: 20.10.2019)
8. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами): навч.-метод. посіб. для магістрантів / С.А. Величко; наук. ред. проф. І.Г.Черваньов. – Харків: Харків. нац. ун-т ім. В.Н.Каразіна, 2003. – 52 с.

9. Електротрактори та електромобілі – історія довжиною у майже 200 років. URL: www.agroprofi.com.ua/statti/1720-200 (дата звернення: 20.10.2019)
10. В Харькове отказались от электротрактора. URL: https://www.sq.com.ua/rus/news/novosti/18.12.2017/v_harkove_otkazalis_ot_elektrotraktora/ (дата звернення: 20.10.2019)

References (transliterated)

1. Klepikov V. B. Study of the operating mode of an asynchronous generator with self-excitation with an unsaturated magnetic circuit / V. B. Klepikov, A. N. Moiseev, A. V. Semikov // *Electrical and computer systems* = *Electrotechnic and Computer Systems*. – 2011. – No. 03 (79). – p. 286-288.
2. Adamchuk V. Electricity as a factor in the development of new generation technology / V. Adamchuk, V. Mironenko, V. Tretyak, R. Melnik // *Technique and technology AIC*. – 2013. – No. 12. – p. 12-15.
3. Melnik R.V. 2015. Efficiency of the robots of mobile electrical communications. Zbirnik naukovykh prac Kirovogradskogo National Technical University, technical school in the city of viral education, Galuzev machine, automation. Vip. 27. Kirovograd.
4. Klepikov V. B., Semikov A. V., Moiseev A. N., Gonchar A. S. et al. From the experience of creating an electric drive of an electric car with a super-condenser energy storage. Newsletter of the National Technical University "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, VIP. 112 (1121). p. 195-198.
5. Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035 rock URL: <https://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?curDir=50358> (accessed 20.10.2019).
6. Slobodian V. M. Rozvitok elektrifikovanyh mobile energeticheskie zobiv / Mironenko V.G., Melnik R.V., Timoshchuk D.V., Slobodian V.M. // *Science News of the National University of Natural Resources and Natural Resources of Ukraine. Seriya: technology and energy agribusiness*, 2014. – VIP. 194 – p. 33-38.
7. IRENA (2015), REmap 2030 Prospect for the development of renewed energy in Ukraine, IRENA, Abu Dhabi. [Electronic resource]. Access Mode: <https://www.irena.org/remap>
8. Velichko S.A. Energetics of a mid-range medium of Ukraine (with electronic cards): Navch.-method. pos_b. for magistrantiv / S.A. Velichko; sciences. ed. prof. I.G. Chervanov. - Kharkiv: Kharkiv. nat. un-t im. V.N.Karazina, 2003. -- 52 p.
9. Electric tractors and electric vehicles - history with a life of at least 200 rockies URL: www.agroprofi.com.ua/statti/1720-200 (accessed 20.10.2019).
10. In Kharkov, abandoned the electric tractor URL: https://www.sq.com.ua/eng/news/novosti/12/18/2017/v_harkove_otkazalis_ot_elektrotraktora (accessed 20.10.2019).

Надійшло(received) 30.10.2020

Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors

Самородов Вадим Борисович (Самородов Вадим Борисович, Samorodov Vadim Borisovich) – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор, завідувач кафедри «Автомобіле-і тракторобудування», тел.: (057) 707 – 64 – 64; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2965-5460>; e-mail: samorodovvadimat@gmail.com

Краснокутський Володимир Миколайович (Краснокутский Владимир Николаевич, Krasnokutskiy Volodymyr Mykolaiovych) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автомобіле-і тракторобудування»; тел.: (057) 707-64-64; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3457-0995>; e-mail: ntu.kpi.at@gmail.com

Ткачов Вячеслав Юрійович (Ткачев Вячеслав Юрьевич, Tkachov Viacheslav Yuriiovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; тел.: (099) 632-43-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4619-5758>; e-mail: tkachov@live.ru