

***В. М. КРАСНОКУТСЬКИЙ, В. Ю. ТКАЧОВ, С. Г. СЕЛЕВИЧ***

### **АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛІСНИХ ЕЛЕКТРОТРАКТОРІВ ТЯГОВОГО КЛАСУ 0,6**

У статті проведено пошук та аналіз конструктивних параметрів колісного електротрактора, які забезпечують максимальну ефективність та економічність роботи у всьому діапазоні тягових зусиль електротрактора з метою підвищення тягово-енергетичних властивостей. Були, також, проаналізовані сучасні розробки нових електротракторів в Україні, приведені яскраві приклади, котрі на сьогодні розвиваються та модернізуються. Проаналізовано вибір компонування тракторів. Проаналізовані моделі тракторів з різним розважуванням по осях, розглянуто можливості перспектив подальшого розрахунку електротракторів за допомогою узагальнених математичних моделей, як моделі тягового електродвигуна, моделі роботи акумуляторної батареї, моделі системи керування електротрактора, визначення тягового моменту та для порівняння моделі ДВЗ і тягового розрахунку.

**Ключові слова:** електротрактор, трактор, електричний привід, акумуляторні батареї, альтернативні джерела енергії, компоновка, конструктивні параметри, електричний двигун.

***В. Н. КРАСНОКУТСКИЙ, В. Ю. ТКАЧЕВ, С. Г. СЕЛЕВИЧ***

### **АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЛЕСНЫХ ЭЛЕКТРОТРАКТОРОВ ТЯГОВОГО КЛАССА 0,6**

В статье проведен поиск и анализ конструктивных параметров колесного электротрактора, обеспечивающих максимальную эффективность и экономичность работы по всему диапазону тяговых усилий электротрактора с целью повышения тягово-энергетических свойств. Были также проанализированы современные разработки новых электротракторов в Украине, приведены яркие примеры, которые на сегодняшний день развиваются и модернизируются. Проанализирован выбор компоновки тракторов. Проанализированы модели тракторов с разным развесом по осям, рассмотрены возможности перспектив дальнейшего расчета электротракторов с помощью обобщенных математических моделей как модели тягового электродвигателя, модели работы аккумуляторной батареи, модели системы управления электротрактора, определения тягового момента и для сравнения модели ДВС и тягового расчета.

**Ключевые слова:** электротрактор, трактор, электрический привод, аккумуляторные батареи, альтернативные источники энергии, компоновка, конструктивные параметры, электрический двигатель.

***V. KRASNOKUTSKIY, V. TKACHOV, S. SELEVICH***

### **ANALYSIS OF WAYS OF INCREASE OF TRACTION AND ENERGY PROPERTIES OF WHEELED ELECTRIC TRACTORS OF TRACTION CLASS 0,6**

The article searches for and analyzes the design parameters of a wheeled electric tractor, which provide maximum efficiency and economy in the entire range of traction forces of the electric tractor in order to improve the traction and energy properties. Also, modern developments of new electric tractors in Ukraine were analyzed, bright examples are given, which are currently being developed and modernized. The choice of tractor layout is analyzed. Models of tractors with different axle speeds are analyzed, the possibilities of further calculation of electric tractors with the help of generalized mathematical models are considered, such as traction motor models, battery operation models, electric tractor control system models, traction torque determination and for comparison of ICE model and traction calculation.

**Keywords:** electric tractor, tractor, electric drive, batteries, alternative energy sources, layout, design parameters, electric motor.

**Вступ.** На сьогоднішній день аграрні господарства працюють у жорстких конкурентних умовах і стикаються з низкою питань, пов'язаних зі збільшенням продуктивності, скороченням постійних витрат та забезпеченням високої якості продукції. Проте рішення, що пропонуються постачальниками техніки, далеко не завжди відповідають реальним потребам агросектору.

Виробники техніки ще 7-10 років тому почали вирішувати завдання забезпечення високої якості сільськогосподарських операцій, що виробляються у великому обсязі у мінімальні

терміни. Сьогодні до послуг аграріїв - сучасні посівні комплекси, знаряддя для вертикальної обробки ґрунту, триплексні косарки, причіпні обприскувачі та інші системи. Незважаючи на так званий бум нових технологій в агросекторі, принципових змін конструктивних параметрів тракторів останнім часом не сталося.

**Аналіз публікацій.** За останні декілька років практично у всіх розвинених країнах світу відмічається активна робота зі створення транспорту з електроприводним силовим агрегатом. У попередніх роботах [1, 2, 3, 4] науковців: Моїсєєв А. Н., Гончар А. С., Адамчук В.В., Мироненко В.Г., Клепиков В. Б., Семіков А. В., Третяк В.М., Мельник Р.В., Шидловский А.К., Величко С.А., Улексин В.А., та інших 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.

З 2015 року Харківський тракторний завод та ТОВ «AutoEnterprise» розробляють дві моделі легких електротракторів ХТЗ-2511 Electro та ХТЗ-3512 Edison. ХТЗ-2511 Electro обладнаний електродвигуном потужністю 27 л. (20 кВт) та АКБ ємністю 30 кВт·год. Цього вистачає на 6 годин роботи у полі. Транспортує причепа вагою двох тонн, при цьому розвиває швидкість до 26 км/год.

Новіша модель ХТЗ-3512 Edison обладнана електродвигуном на 35 л.с (25,7 кВт) з живленням від літій-іонної батареї ємністю 42 кВт·год. Швидкість повного заряджання акумуляторів становить від 2 до 4 годин. У транспортному положенні трактор безперервно може працювати до 8 годин, у силових роботах – до 4 годин. Перевозить причіпний вантаж вагою двох тонн, розвиваючи швидкість до 40 км/год. Техніка даного класу застосовується переважно у тваринницьких та тепличних господарствах [5].

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.

**Стан проблеми.** Сучасні розробки та наукові праці у галузі автомобіле- і тракторобудуванні дозволяють сьогодні створювати робочі зразки машин, які ґрунтуються на заміні традиційних джерел енергії (двигунів внутрішнього згоряння) на альтернативні, більш економічні. Вони потребують комплексного вивчення процесів, взаємозв'язків та впливу конструктивних параметрів електротрактора на формування його тягово-енергетичних показників для вибору найвигідніших складових, їх оптимальне компонування, що дозволить підвищити ефективність виконання робіт та збільшить темпи їх інтеграції, як приклад, у тепличні та у тваринницькі господарства.

Електротрактори готові конкурувати в більшості випадків з тракторами, оснащеними традиційною силовою установкою, що було підтверджено на виставці AGROPORT 2015 на полігоні Харківського тракторного заводу [6], та за результатами теоретичного тягового розрахунку електротрактор нічим не поступається дизельному аналогу, але ще існує ряд невирішених теоретичних і практичних проблем для серійного виготовлення та популяризації в господарствах.

**Основна частина.** Завдяки технологічним розробкам та розвитку технологій відновлюваної енергії сьогодні спостерігається стрімке відродження машинобудування з електричним приводом. 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 [7].

Основні конструктивні параметри трактора, які забезпечують його тягові властивості у реальних умовах експлуатації та ті, що задані у технічних умовах, визначають при тяговому розрахунку. Тому тяговий розрахунок, обґрунтування основних параметрів двигунів, трансмісії, ходової частини в теорії трактора займає особливе місце та дозволяє на практиці забезпечити їх ефективну та економічну роботу.

В нижче приведеній таблиці зауважимо, що деякі характеристики пов'язані не з одним, а з двома показниками. Між показниками і характеристиками енергетичних засобів існує, здебільшого, чітко виражена, залежність. Так, керованість енергетичного засобу і оглядовість з місця водія впливають на агротехнічні показники і на продуктивність. Від надійності залежить не тільки продуктивність, але і економічні показники технологічного процесу (вартість ремонту, втрати урожаю).

До одних з основних параметрів, що визначають тягово-енергетичні характеристики силової установки електротрактора можна віднести:

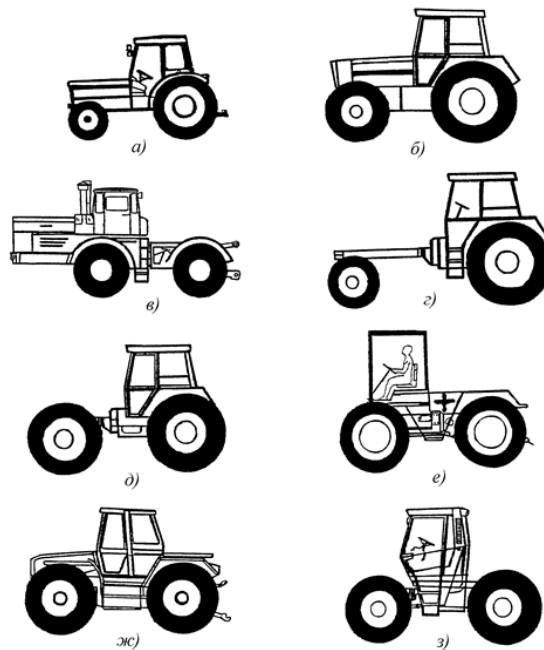
- необхідне тягове зусилля та момент на провідних колесах;
- частоту обертання провідних коліс;
- необхідний момент та частоту обертання валу силової установки;
- момент опору на валу силової установки.

Дані параметри залежать від характеристик транспортного засобу та умов його руху.

За допомогою компонування трактора можна досягти кращих конструктивних параметрів для підвищення тягово-енергетичних властивостей. Компонування підпорядковане функціональному призначенню трактора і характеризується розташуванням агрегатів та систем (агрегатованість), наявністю вільного простору для навішування машин, знарядь та встановлення технологічних ємностей, базою, величиною дорожнього та агротехнічного просвітів, координатами центру мас.

Таблиця 1 - Конструктивні параметри енергетичних засобів

Показники	Характеристики	Конструктивні параметри
Продуктивність	Номінальне тягове зусилля трактора	Вага трактора і потужність двигуна
	Номінальна потужність двигуна	
	Агрегатованість	Типи компоновок
	Технологічні можливості	
	Ергономіка	
Агротехніка	Надійність	Відповідність призначенню трактора двигуна, трансмісії, ходової системи, вибір шин, визначення подовжньої бази, радіусу повороту трактора
	Тиск на ґрунті, просвіт, абрис	
	Керованість	
	Оглядовість	
Вартість	Ціна трактора	Рівень автоматизації
	Надійність	
	Витрати енергії, або палива і мастила	



а – класична; б - покращена класична; в - із шарнірною рамою; г - тракторне самохідне шасі; д – трактор із вільним оглядом; е - несуче самохідне шасі; ж, з - інтегральні трактори  
Рис. 1 - Типи компоновок колісних сільськогосподарських тракторів/

Класичне компонування трактора з ДВЗ наступне: двигун розташований спереду, поздовжньо, над передньою віссю. До нього через зчеплення приєднується коробка передач, далі слідує роздавальна коробка і за нею - провідний міст. Між собою вали агрегатів з'єднуються за допомогою карданів та (або) муфт.

Класичне компонування довело свою життєздатність завдяки ряду переваг:

- відносна простота конструкції;
- Максимальне використання сили тягіння трактора при задньому провідному мості;
- хороша оглядовість причіпних або навішених ззаду знарядь;
- хороша маневреність завдяки можливості повороту передніх керованих коліс меншого розміру на великі кути;
- високий агротехнічний просвіт та ін.

Також внаслідок застосування на тракторах трансмісій нових типів відкриваються додаткові можливості компонування. Наприклад, використавши електромеханічну трансмісію на тракторі ДЕГ-250М, змогли встановити кабіну ближче до центру.

Принципово нова компоновочна схема виникає при перенесенні кабіни вперед, а двигуна назад. Однак при подібному компонуванні ускладнюється конструкція несучої системи та збільшується кількість з'єднань.

Компонування трактора незалежно від призначення має забезпечувати:

- відмінну поворотливість трактора, можливість маневрування на вузькій смузі та одночасно стійке збереження заданого напрямку руху;
- найкращі тягові якості при збереженні керованості та стійкості шляхом правильного розподілу тиску на опори ходової системи при роботі (з урахуванням перекидального моменту від тягового зусилля та від ваги навішеної зброї);
- простоту і легкість управління, зручну посадку тракториста, хорошу оглядовість шляху та робочої зброї;
- легкість з'єднання трактора з робочою машиною та можливість керування ними трактористом;
- простоту технічного обслуговування та мінімальний час на його проведення, можливість

механізації технічного обслуговування;

- легкість ремонту та одночасність його проведення за основними механізмами, можливість модернізації при ремонті.

Відносне розміщення основних агрегатів на тракторі і робочого обладнання дозволяє використовувати трактор із найбільшою ефективністю, з оптимальною зчпною вагою, що відповідає його функціональному призначенню.

Найбільш поширені трактори мають стандартне розважування по осях 60х40, жорстке кріплення мостів та кабіну, розташовану ззаду. Ресурсів даної конструкції для розкриття потенціалу сучасних сільгосптехніки і, відповідно, бізнесу аграріїв загалом, вже недостатньо та вони потребують більш детального розгляду. Йдеться, зокрема, про моделі з розважуванням по осях 50х50 та підвіскою обох мостів, які забезпечують рівномірний тиск на ґрунт та здатні пересуватися дорогами загального користування зі швидкістю не менше 60 км/год.

Компанія ТОВ «AutoEnterprise» разом з вченими НТУ «ХПІ» продовжують роботу над трактором з електричним приводом [8]. За аналог було взято ХТЗ-3512, який призначений більше для роботи в садах, дрібних тваринницьких фермах, ділянках та в колективних підприємствах. Ця модель підійде для виконання робіт, де використовувати велику техніку не можна через обмеження з габаритів або технічних причин. При цьому великий спектр навісного сільськогосподарського та промислового обладнання дозволяє використовувати трактор з максимальною ефективністю у різноманітних галузях.

У ХТЗ-3512 встановлено двигун потужністю 35 л. Завдяки невеликій потужності витрата палива даного трактора становить 5-7 літрів на годину.

Маса трактора складає 2128 кг. ХТЗ-3512 оснащується 4-тактним 3-циліндровим дизельним агрегатом MMZ-3LD, який постачається білоруським підприємством ПРУП «ММЗ». Двигун MMZ-3LD призначений для монтажу в малогабаритних тракторах, а також в іншій подібній автотехніці. Також даний агрегат широко використовується для насосних або генераторних систем і навіть як головний пристрій у силових установках морського та річкового транспорту. Модель застосовна для сільськогосподарської, будівельної, дорожньої, комунальної сфер господарства для встановлення у невеликій техніці різного призначення. Вага двигуна MMZ-3LD складає 220 кг.

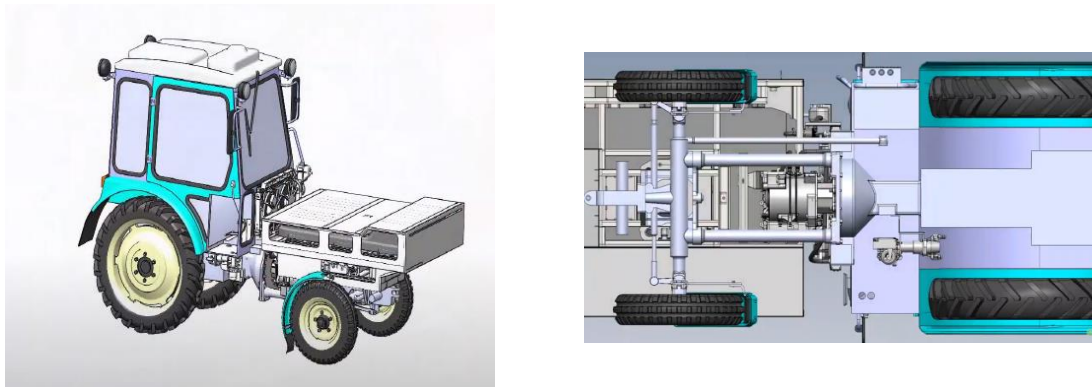


Рис. 2 - Компонування нового електротрактора ТОВ «AutoEnterprise»

Трактор агрегатується зі збірними та сільськогосподарськими машинами, призначеними для техніки тягового класу 0,6. Особливо ефективна зв'язка трактора з комунальним оснащенням (дорожньою щіткою та відвалом), що відмінно підходить для прибирання свіжого снігу і сипкого сміття. Радіус розвороту в 3,5 метра дозволяє використовувати трактор на невеликих майданчиках. ХТЗ-3512 здатний перевозити вантажі масою до 50% від власної ваги, а знову ж таки здійснювати вантажно-розвантажувальні роботи.

Новий електротрактор поки що сконструйований на базі ХТЗ-3512, є задньопривідним

агрегатом тягового класу 0.6. Дана модель оснащується електродвигунами виробництва Nissan Motors потужністю 80 кВт (109к.с), літій-іонними акумуляторами ємністю 24 кВт та механічною реверсивною трансмісією з 8 передачами переднього та 8 передачами заднього ходу. Потужний двигун дозволяє буксирувати різні причепа та напівпричепа масою до 2 тонн на швидкості до 40 км/год.

Електротрактор буде мати ширший корпус АКБ і більш рівномірно розподілену її вагу на передню вісь, що збільшить стійкість трактора. Місткість батареї - 24 кВт-год, а вага АКБ проектованого електротрактора до 300 кг.

Для врівноваження маси, наприклад, ковша на тракторі також застосовують металевий баласт та рідинне баластування, у нашому випадку за це потурбувалася АКБ. Так, баластування сільськогосподарських тракторів є поширеним способом збільшення ваги трактора і широко застосовується практично. Металеві баластові вантажі, маса кожного з яких не повинна перевищувати 20 кг, встановлюються на брус передньої осі трактора або диски провідних коліс. Сумарна маса баластних вантажів досягає 20...25% конструкційної маси трактора і встановлюється заводом-виробником з урахуванням міцності трактора. При нестачі зчпної ваги, крім установки вантажів, камери провідних коліс можуть бути заповнені на 3/4 об'єму водою у теплу пору року або 25% розчином хлористого кальцію в холодну пору.

Недоліки розглянутих способів статичного баластування трактора (трудомісткість установки та зняття баластних вантажів та заповнення шин рідким баластом та злив рідини) усуваються при більш досконалому динамічному способі збільшення зчпної ваги.

Всередині акумуляторного боксу знаходяться модулі вагою 4,5 кг. З них 500-600 г важить корпус. Кожен модуль має чотири акумуляторні батареї з літованого оксиду марганцю та кобальту плюс вуглець (анод виконаний з вуглецевмісного матеріалу, а катод – з LiMn2O4 та LiNiO2. вага кожної 800 г.

Навантажувальна вага на передню вісь збільшиться на 80-100 кг, що змінить розважування по вісям трактора. Маса по осях, що розподіляється в рівних пропорціях дозволяє зношувати шини рівномірно, а також підвищить тягово-зчпні якості та прохідність трактора шляхом раціонального розподілу їхньої маси по осях. До конструктивних параметрів також відноситься підбір шин для трактора та розрахунок їх впливу на тягово-енергетичні властивості, розрахунок експлуатаційної ваги трактора, статичну стійкість трактора та розрахунок потужності двигуна і вибір його параметрів.

Потужність, що використовується визначають виходячи з безпосередніх вимірів. Допускається визначати використовувану потужність двигуна із заданою достовірністю результатів на підставі даних вимірювань годинної витрати енергії та частоти обертання валу двигуна при виконанні сільськогосподарської операції.

Енергетичні параметри трактора для забезпечення роботи агрегатованої машини оцінюють за ступенем використання потужності двигуна  $\lambda$ , що визначається як

$$\lambda = \frac{N_{e_{\text{исп}}}}{N_{e_{\text{max}}}}$$

де  $N_{e_{\text{исп}}}$  - потужність, що використовується при виконанні сільськогосподарської операції;

$N_{e_{\text{max}}}$  - максимальна потужність двигуна.

Загальна прохідність трактора оцінюється агротехнічними властивостями та тягово-зчпними якостями. Підвищення прохідності досягається різними способами конструктивних рішень: збільшенням зчпної ваги, плями контакту ходової системи з опорною поверхнею, зменшенням кратності проходів по одному сліду, а також комбінацією цих способів.

Максимальна сила трактора обмежується буксуванням. Пневматичні шини на вологих, пухких та засніжених ґрунтах не розвивають достатнього зчеплення (буксують). В результаті зменшуються сила тяги та швидкість (погіршується прохідність трактора), а також зростають втрати потужності на пересування трактора та знижується економічність його роботи.

Способи підвищення тягово-зчіпних якостей умовно можна поділити на дві групи: перші збільшують зчеплення із ґрунтом або дорожнім покриттям; другі дозволяють збільшити зчіпну вагу трактора.

Для визначення основних параметрів необхідно сформулювати узагальнену математичну модель, що складається з:

- моделі тягового електродвигуна;
- моделі акумуляторної батареї;
- моделі системи керування, що дозволяє здійснювати задані режими руху;
- моделі трактора для визначення тягового моменту;
- моделі ДВЗ та тяговий розрахунок.

Підхід до проектування електротракторів за допомогою математичного та комп'ютерного моделювання дозволяє дати рекомендації щодо вибору конструктивних параметрів електрообладнання для проектних зразків електротрактора, встановити характер зміни різних показників у тих чи інших умовах руху, оптимізувати роботу та сформулювати алгоритми оптимального управління, визначити техніко-економічні показники, серед яких слід виділити значення витрати електричної енергії, споживання вуглеводневого палива, масу викидів токсичних речовин, пробіг тощо.

**Висновки.** Підвищення тягово-енергетичних параметрів колісних електротракторів може бути досягнуто: вибором компонування; раціональним підбором типу шин та тиску в них; здвоюванням та модифікованою будовою провідних коліс; для електротракторів також використання коробки передач та підбір оптимального передаточного числа.

Сільгоспвиробникам також потрібні машини нового покоління. Йдеться, зокрема, про моделі з розважуванням по осях 50x50, які забезпечують рівномірний тиск на ґрунт та здатні пересуватися дорогами загального користування зі швидкістю не менше 60 км/год.

#### Список літератури:

1. Адамчук В. Електрифікація як фактор створення сільськогосподарської техніки нового покоління / Техніка і технології АПК. - 2013. - № 12. - С. 12-15.
2. 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.
3. Клепиков В. Б., Семиков А. В., Моисеев А. Н., Гончар А. С. и др. Из опыта создания электропривода электромобиля с супер- конденсаторным накопителем энергии. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ», 2015, Вип. 112 (1121). С. 195-198.
4. 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.
5. Розвиток електротракторів в Україні / В. Б. Самородов, В. М. Краснокутський, В. Ю. Ткачов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Автомобіле- та тракторобудування = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Automobile and Tractor Construction : зб. наук. пр. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – № 2. – С. 19-23.
6. Битва електротрактора ХТЗ против ХТЗ-2511 URL: <https://kzhome.info/crone/y5Vvg2aRdWyqin0/bitva-lectrotraktora-htz-protiv-htz-2511> (дата звернення: 20.01.2022)
7. Новый трактор с электродвигателем Edison от ХТЗ <http://nova-shina.com.ua/novyyiy-traktor-edison-ot-htz> (дата звернення: 21.01.2022)

**References (transliterated):**

1. Adamchuk V. Electricity as a factor in the development of new generation technology / Technique and technology AIC. - 2013. - No. 12. - p. 12-15.
2. 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.
3. 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.
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. Development of electric tractors in Ukraine / VB Samorodov, VM Krasnokutsky, V. Yu. Tkachev // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Automobile and Tractor Construction: zb. Science. pr. - Kharkiv: NTU "KhPI", 2020. - № 2. - P. 19-23.
6. Battle of HTZ electric tractor against HTZ-2511 URL: <https://kzhome.info/crone/y5Vvg2aRdWyqin0/bitva-lektrotraktora-htz-protiv-htz-2511> (access date: 20.01.2022)
7. New tractor with the Edison electric motor from HTZ <http://nova-shina.com.ua/novyyi-tractor-edison-ot-htz> (access date: 21.01.2022)

*Надійшла (received) 27.10.2021 р.*

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

**Краснокутський Володимир Миколайович (Краснокутский Владимир Николаевич, Krasnokutsky Vladimir)** – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3457-0995>; e-mail: [ntu.kpi.at@gmail.com](mailto:ntu.kpi.at@gmail.com)

**Ткачов Вячеслав Юрійович (Ткачев Вячеслав Юрьевич, Tkachov Viacheslav)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автомобіле- і тракторобудування»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4619-5758>; e-mail: [viacheslav\\_tkachov@yahoo.com](mailto:viacheslav_tkachov@yahoo.com)

**Селевич Сергій Геннадійович (Селевич Сергей Геннадьевич, Selevich Sergey)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автомобіле- і тракторобудування»; e-mail: [ntu.kpi.at@gmail.com](mailto:ntu.kpi.at@gmail.com)