

Ключевые слова: ветроколесо, ветер, потоки воздуха, скорость, мощность, коэффициент использования, лопасть, частота вращения, угол заклинивания.

MODEL OF WIND ENERGY CONVERSION BY IDEAL WINDWHEEL OF SLOW – SPEED WINDMILL

With the purpose of approaching the real windwheel, it is suggested that in the classical model at the ideal windwheel the slow loss before the windwheel should be taken into account and the dynamic pressure on the windwheel should be determined using the remaining velocity of the flow on blades. The model allows calculations of the optimum rotation frequency and rational angles of locking of the windwheel blades.

Key words: windwheel, wind, air flows, velocity, power, rotation frequency, blade, angle of locking, coefficient of utilization.

УДК 621.548, 631.311.24

РЕГУЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ВІТРОДВИГУНА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

В.І. Жоров, Р.В. Мельник, кандидати технічних наук
Д.В. Тимощук, інженер
ННЦ «ІМЕСГ»

Обгрунтовані електрична схема та конструкція силових кіл блока автоматичного керування режимом навантаження тихохідного вітродвигуна експериментальної вітроелектричної установки.

Ключові слова: вітродвигун, навантаження, регулювання, блок керування, конструкція, виробіток енергії.

Проблема. При нерегульованих лопатях та стабільному вітрі потужність, яку вітродвигун віддає навантаженню, залежить від величини навантаження. При надмірному навантаженні вітродвигун зупиняється, його корисна потужність дорівнює нулю. При відсутності навантаження він обертається з синхронною частотою, не виконуючи роботи. Між цими режимами існує безліч робочих режимів, серед

© В.І. Жоров, Р.В. Мельник, Д.В. Тимощук.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

яких лише один відрізняється найвищим коефіцієнтом використання енергії вітру. Цей режим характеризується так званою нормальною частотою обертання, або нормальною швидкохідністю вітроколеса. Із зміною швидкості вітру нормальна частота обертання вітроколеса теж змінюється. Задачею регулювання є створення такого навантаження на вітродвигун, при якому із зміною швидкості вітру вітроколесо змінює попередню нормальну частоту обертання на нормальну або близьку до неї наступну частоту обертання. Для регулювання частоти обертання вітроколеса розробляються відповідні блоки автоматичного керування. На сьогодні конструкція та електрична схема цих блоків не обгрунтовані.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Присадибні та фермерські вітроелектричні установки (ВЕУ) працюють, як правило, на електричні акумулятори, які дають можливість згладжувати нерівномірність надходження вітрової енергії та стабілізувати напругу на приєднаних до установки споживачах [1]. Незалежно від швидкості вітру процес зарядки розрядженої акумуляторної батареї розпочинається за однієї й тієї ж зарядної напруги, а значить за однакової відповідної частоти обертання вітроколеса. По мірі зарядки акумулятора зарядна напруга та частота обертання вітроколеса дещо підвищуються. Цим пояснюється те, що характеристики потужності акумуляторного навантаження зображаються в координатних осях „потужність – частота обертання вітроколеса” у вигляді вертикально розташованих стовпчиків, які перетинаються з горбоподібними характеристиками потужності вітродвигуна (рис. 1). Робочі точки знаходяться в місцях перетину характеристик потужності вітродвигуна та акумуляторів і показують залежність цієї потужності від частоти обертання вітроколеса.

В залежності від конструкційних параметрів електричного генератора та схеми з'єднання акумуляторів процес зарядки останніх може розпочинатися при меншій чи більшій частоті обертання вітроколеса. При однакових інших умовах генератор з більшою кількістю витків статора розпочинає зарядку акумуляторів при нижчій частоті обертання. Так, генератор експериментальної ВЕУ, виконаний на базі асинхронного електродвигуна АИР80В2 та приєднаний до вітроколеса через мультиплікатор, розпочинає зарядку акумуляторів при частоті обертання вітроколеса 12 об/хв (рис. 1, лівий заштрихований стовпчик). При цьому досить повно використовується вітер швидкістю 2 м/с та в меншій мірі – більш сильні вітри. Причому, з підвищенням швидкості вітру ступінь використання потужності вітродвигуна знижується.

При швидкості вітру 8 м/с вітродвигом виробляється і споживається акумуляторами близько 200 Вт потужності, хоча за нормальної частоти обертання вітроколеса могло б вироблятися близько 575 Вт (рис.1, правий заштрихований стовпчик).

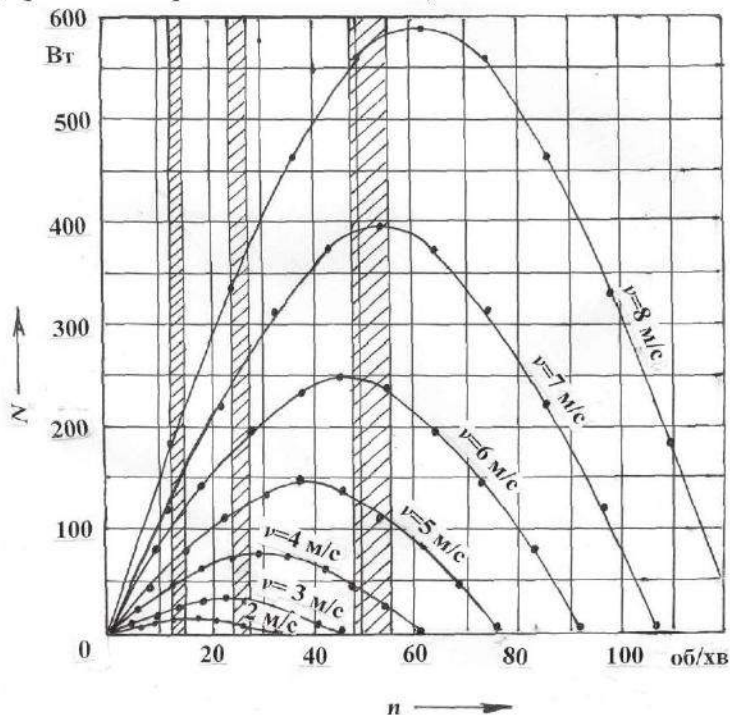


Рис. 1. Залежність потужності тиххідного вітродвигуна ТВ-2,5 та приведеної до вітроколеса потужності двох послідовно з'єднаних акумуляторних батарей 6СТ-190 (заштриховані стовпчики) експериментальної вітроелектричної установки від частоти обертання вітроколеса та швидкості вітру (N – потужність вітродвигуна та приведена потужність акумуляторних батарей; n – частота обертання вітроколеса; v – швидкість вітру; -·-·- розрахункові точки)

Для збільшення виробітку енергії запропоновано блок автоматичного керування режимом навантаження вітродвигуна, який при збільшенні швидкості вітру вище 4 м/с змінює схему випрямляча зарядного пристрою з мостової на трифазну з нульовою точкою (рис. 2, а) [2].

При цьому напруга на виході зарядного пристрою стає вдвічі ниж

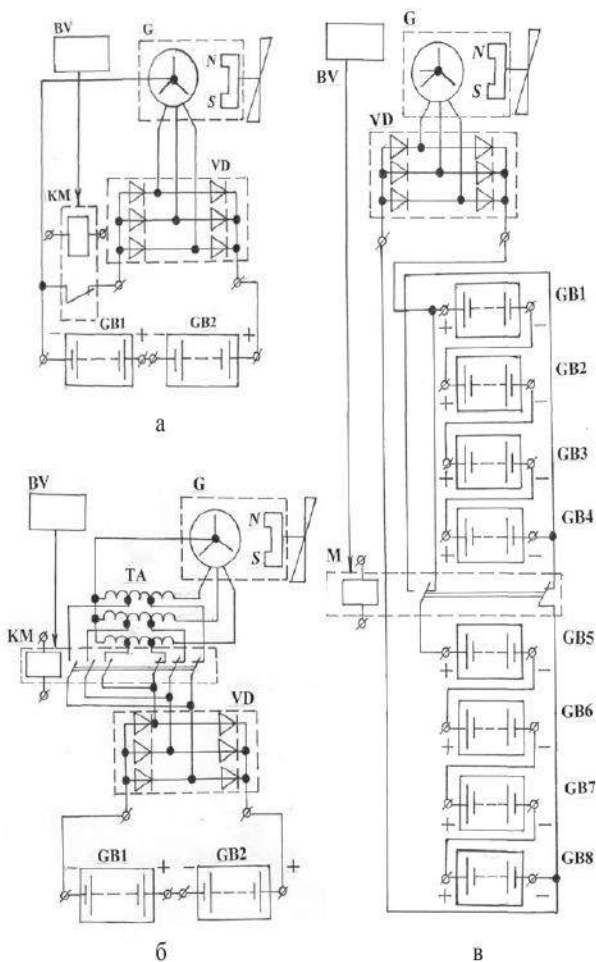


Рис. 2. Принципова електрична схема силових кіл експериментальної вітроелектричної установки з регульованою частотою обертання вітроколеса: а – регулювання шляхом зміни схеми з’єднання випрямляча зарядного пристрою; б – регулювання шляхом зміни схеми з’єднання акумуляторних батарей; в – регулювання шляхом застосування автотрансформатора з відгалуженнями обмотки; *N, S* – полюси індуктора; *BV* – датчик швидкості вітру; *G* – генератор; *GB* – акумуляторна батарея; *TA* – автотрансформатор; *KM* – проміжне реле; *VD* – випрямляч

чою. Зарядка акумуляторів припиняється, навантаження на вітро-
двигун зникає, його вітроколесо розбігається до вдвічі вищої частоти
обертання, формується нова характеристика потужності акумуля-
торів (рис. 1, середній заштрихований стовпчик). В новому режимі
навантаження енергетичні показники експериментальної ВЕУ по-
кращуються. За швидкості вітру 4 м/с виробляється і споживається
близько 75 Вт потужності, а за швидкості 8 м/с – 350 Вт. Проте при
швидкості вітру вище 5 м/с використання енергії вітру залишаєть-
ся незадовільним. Так, при швидкості вітру 8 м/с використовується
лише 60 % потенційних можливостей виробітку енергії (рис. 1, се-
редній та правий заштриховані стовпчики).

Мета досліджень. Обґрунтувати електричну схему та конст-
рукцію силових кіл блоку автоматичного керування навантаженням ві-
тродвигуна експериментальної вітроелектричної установки.

Результати досліджень. Характеристики потужності тихохідно-
го вітродвигуна ТВ–2,5 експериментальної вітроелектричної уста-
новки (рис. 1) отримано на основі характеристик потужності моделі
вітроколеса цього вітродвигуна, яку випробувано в аеродинамічній
трубі [3].

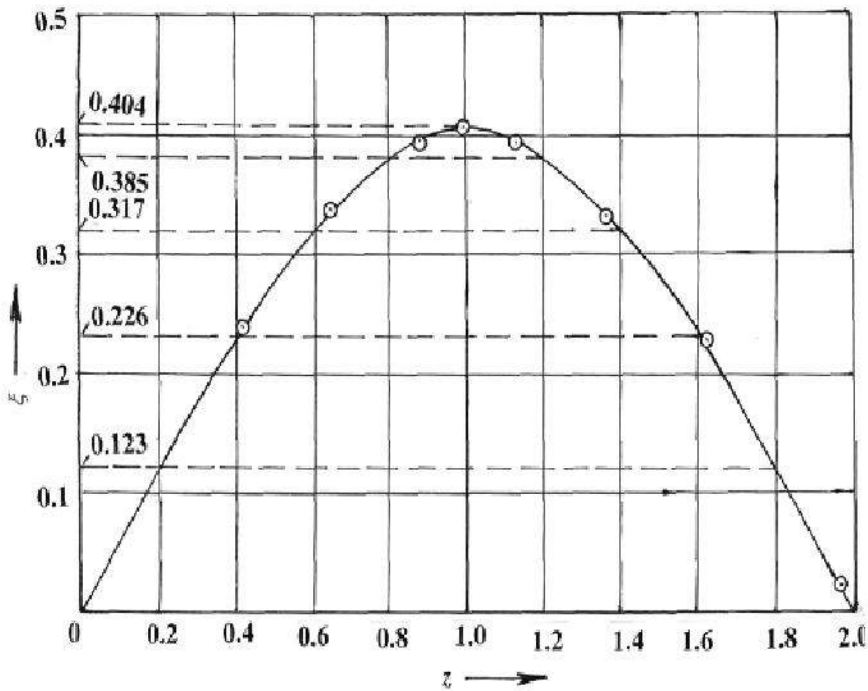
За результатами досліджень моделі побудовано безрозмірну ха-
рактеристику потужності цієї моделі (рис. 3), яка є справедливою для
всіх геометрично подібних вітроколес. При обробці безрозмірної ха-
рактеристики користувались такими формулами перерахунку [4]:

$$N_{ik} = 0,491 \cdot (D^2 - d^2) \cdot v_i^3 \cdot \zeta_k \quad (1)$$

та

$$n_{ik} = 60 \cdot v_i \cdot z_k / \pi D, \quad (2)$$

де N_{ik} – потужність вітродвигуна за i -тої швидкості вітру при k -тій
швидкохідності вітроколеса, Вт; D та d – зовнішній та внутрішній
(по кінцях махів) діаметр вітроколеса, м; $D=2,5$ м, $d=0,7$ м; v_i – i -та
швидкість вітру, м/с; $v_i = 2$ м/с, 3 м/с, 4 м/с, 5 м/с, 6 м/с, 7 м/с, 8 м/с;
 ζ_k – коефіцієнт використання енергії вітру при k -тій швидкохідності
вітроколеса (див. рис. 3); n_{ik} – частота обертання вітроколеса при
 i -тому вітрі та k -тій швидкохідності вітроколеса, об/хв; z_k – швид-
кохідність вітроколеса в точках дискретизації осі швидкохідностей
(див. рис. 3); $z_k = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0$ (див. та-
блицю); нормальна швидкохідність вітродвигуна експериментальної
вітроелектричної установки становить 1,0 (рис. 3).



—○—○— експериментально-розрахункові точки

Рис. 3. Залежність коефіцієнту використання енергії вітру моделі вітроколеса тихохідного вітродвигуна ТВ-2,5 експериментальної вітроелектричної установки від швидкохідності вітроколеса (ξ – коефіцієнт використання енергії вітру; z – швидкохідність вітроколеса)

Таблиця. Залежність коефіцієнту використання енергії вітру ξ вітродвигуна ТВ-2,5 експериментальної вітроелектричної установки від його швидкохідності z (див. рис. 3)

z_k	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
ξ_k	0	0,123	0,226	0,317	0,385	0,404	0,385	0,317	0,226	0,123	0

На основі характеристик потужності вітродвигуна ТВ-2,5 та приведених до вітроколеса характеристик потужності електричних акумуляторів 6СТ-190 (рис. 1) розглянуто співвідношення дійсних та допустимих потужностей навантаження електричного генератора при регулюванні навантаження вітродвигуна.

При мостовій схемі випрямляча (рис. 2, б) струм зарядки акумуляторів, допустимий за умовами нагрівання генератора, розраховується за такою формулою [5]:

$$I_{3,00n} = k_{cx i} I_n, \quad (3)$$

де $I_{3,00n}$ – допустимий зарядний струм, А; $k_{cx i}$ – коефіцієнт за струмом мостової схеми випрямляча, $k_{cx i} = 1,227$; I_n – номінальний струм статорної обмотки генератора, А; для статорної обмотки двигуна АИР80В2, на базі якого виконано генератор, $I_n = 4,6$ А.

У відповідності з виразом (3), допустимий зарядний струм при мостовій та „нульовій” схемах випрямляча зарядного пристрою дорівнює, відповідно, 5,64 А та 7,96 А.

Приведена до вітроколеса допустима потужність зарядки акумуляторних батарей розрахована за відомою формулою [5]:

$$P_{3,00n} = U_s I_{3,00n} / \eta_g \eta_z \eta_m, \quad (4)$$

де U_s – зарядна напруга, В; η_g , η_z та η_m – коефіцієнт корисної дії, відповідно, випрямляча ($\eta_g = 0,95$); електричного генератора ($\eta_z = 0,9$) та мультіплікатора; в якості мультіплікатора експериментальної ВЕУ застосовано двоступеневий планетарний редуктор ($\eta_m = 0,9$).

Згідно виразу (4) допустима потужність зарядки акумуляторних батарей експериментальної ВЕУ при мостовій та «нульовій» схемах з'єднання випрямляча зарядного пристрою дорівнює, відповідно, 183 Вт та 259 Вт при зарядній напрузі 25 В. Це більше ніж потужність вітродвигуна, відповідно, при швидкості вітру 4 м/с – близько 50 Вт (рис. 1, лівий заштрихований стовпчик), та його потужність при швидкості вітру, наприклад, 6,5 м/с – 230 Вт (рис. 1, середній заштрихований стовпчик). При цих та менших швидкостях вітру генератор експериментальної ВЕУ не перегрівається. Але при сильніших вітрах потужність вітродвигуна перевищує названу. Так, при швидкості вітру 8 м/с вона становить 375 Вт, що набагато більше допустимих 259 Вт. При цьому вітрі струм генератора більший від номінального, спрацьовує тепловий захист, зарядка акумуляторів припиняється. Таким чином, регулювання навантаження вітродвигуна ТВ–2,5 експериментальної вітроелектричної установки шляхом зміни схеми з'єднання випрямляча зарядного пристрою є неефективним через низьке використання енергії вітру та недостатню номінальну потужність генератора.

Окрім розглянутого, існують способи регулювання навантаження вітродвигуна шляхом зміни схеми з'єднання акумуляторів (рис. 2, б)

та шляхом застосування автотрансформаторного регулятора напруги (рис. 2, в).

Перший спосіб регулювання відрізняється тим, що напруга на споживачах різко змінюється. У зв'язку з цим, живлення від установки інших споживачів, крім акумуляторів, викликає проблеми. Це – недолік даного способу регулювання. Але в окремих випадках, наприклад, при заряджанні акумуляторних батарей для електромобільного агрегату на акумуляторній тязі, він може знайти застосування.

Стосовно експериментальної ВЕУ, реалізація цього способу регулювання потребує наявності двох груп акумуляторних батарей, які, в залежності від швидкості вітру, вмикаються паралельно або послідовно. В свою чергу кожна із груп батарей містить одну або кілька паралельно з'єднаних віток з чотирьох послідовно з'єднаних акумуляторних батарей кожна. За цих умов зарядка паралельно ввімкнених груп батарей розпочинається при частоті обертання вітроколеса 24 об/хв. (рис. 1, середній заштрихований стовпчик). При підвищенні швидкості вітру до 5 м/с схема з'єднання змінюється на послідовну. Навантаження на вітродвигун зникає, в результаті чого вітроколесо розбігається до частоти обертання 48 об/хв. При цій частоті обертання знову формується характеристика навантаження на вітродвигун (рис. 1, правий заштрихований стовпчик). Потужність вітродвигуна при паралельному та послідовному з'єднанні груп акумуляторів не перевищує, відповідно, 125 Вт та 580 Вт (див. рис. 1), а допустима зарядна потужність є більшою – відповідно, 366 Вт та 732 Вт при зарядній напрузі, відповідно, 50 В та 100 В. Отже, номінальна потужність генератора знаходиться у відповідності з потужністю вітроколеса вітродвигуна ТВ–25. Крім того досягається майже повне використання потенційних можливостей виробітку енергії – робоча точка розміщується на вершинах горбоподібних кривих потужності вітроколеса (рис. 1, середній та правий заштриховані стовпчики). Таким чином, експериментальна вітроелектрична установка з регулюванням навантаження вітродвигуна шляхом зміни схеми з'єднання груп акумуляторних батарей є ефективною у всьому діапазоні швидкостей робочого вітру. Але вона придатна для живлення тільки акумуляторних батарей.

При спільному живленні акумуляторів та інших споживачів електроенергії напруга на споживачах повинна бути постійною. Ця вимога задовольняється при застосуванні автотрансформатора, ввімкненого між генератором та випрямлячем зарядного пристрою (рис.2, в). При збільшенні швидкості вітру до розрахункового значення спрацьовує

реле КМ, яке від'єднує випрямляч зарядного пристрою від першої групи відгалужень обмотки автотрансформатора та приєднує до другої групи. Навантаження на вітродвигун зникає і його вітроколесо переходить у зону більш ефективних частот обертання.

Автотрансформатор експериментальної ВЕУ повинен мати дві групи відгалужень обмотки. При швидкості вітру нижче 5 м/с випрямляч зарядного пристрою приєднаний до відгалужень з коефіцієнтом трансформації 2, а при швидкості 5 м/с та вище – до відгалужень з коефіцієнтом трансформації 4. В першому випадку зарядка акумуляторів розпочинається при частоті обертання вітроколеса 24 об/хв. (рис. 1, середній заштрихований стовпчик), в другому – при частоті обертання 48 об/хв. (рис. 1, правий заштрихований стовпчик). Тобто, матимемо таке ж ефективне використання енергії вітру та номінальної потужності генератора, що й при регулюванні шляхом зміни схеми з'єднання груп акумуляторних батарей (рис. 2, б). Допустимий зарядний струм установки при приєднанні випрямляча до першої та другої груп відгалужень автотрансформатора більший у 2 та 4 рази, ніж при прямому приєднанні до генератора. У стільки ж разів вищою є допустима зарядна потужність – відповідно, 366 Вт та 732 Вт при зарядній напрузі 25 В. Ця потужність значно більша ніж в цих же режимах у вітродвигуна ТВ-2,5 – 125 Вт та 580 Вт. Отже генератор експериментальної ВЕУ не перегріватиметься у всьому діапазоні використовуваних вітрів.

Висновки. Раціональним способом регулювання навантаження вітродвигуна вітроелектричної установки, призначеної для зарядки акумуляторних батарей, є зміна схеми з'єднання груп акумуляторних батарей з паралельної на послідовну і в зворотному напрямі. Цей спосіб регулювання вигідно відрізняється високим ступенем використання енергії вітру, невисокою номінальною потужністю електричного генератора, простотою електричної схеми блока автоматичного керування навантаженням вітродвигуна.

При спільному живленні акумуляторних батарей та інших споживачів електроенергії, доцільним способом регулювання навантаження вітродвигуна вітроелектричної установки є зміна напруги на вході випрямляча зарядного пристрою за допомогою автотрансформаторного регулятора напруги. При цьому забезпечуються такі ж високі показники використання енергії вітру та потужності електричного генератора, що й при регулюванні переключенням груп акумуляторних батарей.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Жарков В.Я., Жоров В.І., Жоров С.В., Тимощук Д.В.* Аналіз роботи вітроелектричного зарядного агрегату [Електронний ресурс]. Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 2. Т. 1. – С. 152 – 158.
2. *Патент 92844 Україна, МПК (2009) F03D7/06, F03D3/00.* Вітроелектричний зарядний агрегат / *В.І. Жоров, С.В. Жоров, Д.В. Тимощук.* – Опубл. 10.12.2010. – Бюл. №23.
3. *Жарков В.Я., Жоров В.І., Жоров С.В.* Визначення верхньої межі коефіцієнта використання енергії вітру тихохідного вітроколеса. В зб.: *Праці Таврійського держ. агротехн-го унів-тету.* Вип. 9. Т. 2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – С. 90-95.
4. *Козирський В.В.* Обґрунтування регулювальних якостей вітроелектричного зарядного агрегату / *В.В. Козирський та ін.* В зб. *Механізація та електрифікація сільського господарства.* Вип. 94. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2010. – С. 364–576.
5. *Электротехнический справочник: в 3-х т. Т. 2. Электротехнические устройства / Под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др.* – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 640 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Обоснованы электрическая схема и конструкция силовых цепей блока автоматического управления режимом нагрузки тихоходного ветродвигателя экспериментальной ветроэлектрической установки.

Ключевые слова: *ветродвигатель, нагрузка, регулирование, блок управления, конструкция, выработка энергии.*

CONTROL OF WINDMILL UTILIZATION OF EXPERIMENTAL WIND- TURBINE ELECTRIC PLANT

Substantiated are an electric circuit and structure of power circuits of an automatic check of the load duty of the slow-speed windmill of a experimental wind-turbine electric plant.

Key words: *windmill, load, control, automatic check, structure, energy production.*

УДК 517.968

МОЩНОСТЬ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОГО ТРАКТОРА НА ТЯГОВЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Димитр Иринчев, докт. техн. наук, проф.

*Болгарский аграрный университет
(технический факультет в Пловдиве)*

Потужність тракторного двигуна визначається в основному видом тягової операції. В статті аналізується, яка споживається трактором потужність при ґрунтообробці.

Ключові слова: потужність трактора, тягове зусилля.

Проблема. Земледельческий трактор преимущественно предназначен для тяговых работ. Самыми энергоемкими операциями являются почвообрабатывающие операции. Потребляемая мощность зависит от специфичного сопротивления рабочих органов, которые используются для осуществления операции. Так как обрабатываемые грунты разнообразные, в виду этого они группируются в четырех группах – легкие, средние, тяжелые и очень тяжелые. Выбор соответствующего энергетического средства для почвообработки сводится до определения нужной тяговой силы и технологичной скорости, а следовательно до тяговой мощности трактора. Полная эффективная мощность трактора включает, кроме тяговой и потери мощности на передвижение машинно-тракторного агрегата. Осуществить экспериментальное определение полной мощности трудно. Поэтому, ее можно установить теоретически, пользуясь приближенными данными из литературных источников.

Представленная работа имеет цель подсчитать ориентировочно необходимую тяговую силу для некоторых земледельческих операций, преимущественно почвообрабатывающих и соответствующую эффективную мощность тракторного двигателя.

Результати исследований. Специфичное сопротивление на пахоте для почв измеряется в kN/m^2 . По литературным данным для легких почв оно около 20 kN/m^2 , для средних – 40 kN/m^2 , для тяжелых – 60 kN/m^2 и для очень тяжелых – 80 kN/m^2 . Специфичное сопротивление при поверхностной обработке почв измеряется в kN/m . Для сра-

© Димитр Иринчев.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

внимости между пахотой и поверхностной обработкой почвы, специфичное сопротивление пахоты при разных глубинах пересчитанно относительно единицы рабочей ширины – kN/m . Исходные данные исследования и пересчитанные величины тяговой мощности представлены в таблице.

Таблица. Данные о тяговой сельскохозяйственной операции и пересчитанная тяговая мощность на их осуществление

Операция	Вид почвы, спец. сопротивление, МПа	Глубина, м	Специфичное сопротивление, k , kN/m	Технологическая рабочая скорость, V_p , m/s	Специфическая тяговая мощность, P_T , kW/m
Пахота	Легкие, 0,02	0,18	3,6	2,8	10
		0,25	5,0	2,8	14
		0,35	7,0	2,8	19
	Средние, 0,04	0,18	7,2	2,8	20
		0,25	10,0	2,8	28
		0,35	14,0	2,8	39
	Тяжелые, 0,06	0,18	10,8	1,4	15
		0,25	15,0	1,4	21
		0,35	21,0	1,4	30
	Очень тяжелые, 0,08	0,18	14,4	1,4	20
		0,25	20,0	1,4	28
		0,35	28,0	1,4	39
Дискование	–	0,15	2,2	2,8	7
Культивация	–	0,10	2,5	3,4	9
Боронование	–	0,06	0,6	2,8	2
Фрезерование	–	0,12	12,0	1,8	21,6
Посев	–	0,06	1,4	3,9	6
Уборка	–	–	2,0	2,0	4
Скашивание	–	–	2,8	2,8	2

Основные тяговые сельскохозяйственные операции в практике осуществляются с определенными технологическими скоростями [3]. Эти скорости являются исходными для пересчета тяговой мощности. Для

легких и средних почв принимается рабочая скорость $V_p - 10$ km/h, а для тяжелых и очень тяжелых – 5 km/h. Тяговую мощность P_T , соответствующую единице рабочей ширины, можно назвать специфичной тяговой мощностью. Она находится из выражения:

$$P_T = k V_p \quad (1)$$

где k – это специфичное сопротивление обработки почвы, (kN/m); V_p – рабочая скорость тяговой операции, (m/s).

Мощностный баланс при равномерном движении трактора представляется уравнением, [1], [2]:

$$P_E = P_\eta + P_f + P_\delta + P_T + P_\alpha + P_M, \quad (2)$$

где P_E – это эффективная мощность тракторного двигателя; P_η – расход мощности в передаточной системе трактора; P_f – мощность на самопередвижение трактора по полю; P_δ – мощность, потерянная трактором на буксование; P_T – тяговая мощность; P_α – мощность на преодоление подъема; P_M – мощность для передачи движения машинам, имеющим активные рабочие органы.

Потери мощности в трансмиссии трактора:

$$P_\eta = P_E (1 - \eta), \quad (3)$$

где η – это механический КПД трансмиссии.

При мощности двигателя P_E , близкой к номинальной, коэффициент η принимается 0,9. При этом до тракторных колес подводится мощность $0,9P_E$.

Необходимая мощность на самопередвижение трактора:

$$P_f = f \cdot G_T \cos \alpha V_p, \quad (4)$$

где G_T – это вес трактора; f – коэффициент сопротивления передвижению; V_p – рабочая скорость.

Потеря мощности на буксование P_δ выражается формулой:

$$P_\delta = (T + f) G_T \cos \alpha V_p \delta / (1 - \delta), \quad (5)$$

где T – это тяговый фактор [1], [2]; δ – коэффициент буксования при данном тяговом факторе.

Необходимая мощность на преодоление уклона:

$$P_\alpha = G_T \sin \alpha V_p \quad (6)$$

Тяговая мощность, при полном сцепном весе трактора:

$$P_T = T G_T \cos \alpha V_p \tag{7}$$

Расходуемая мощность к механизму отбора мощности P_M варьирует с 0 до 80 % от P_E , в зависимости от состава агрегата.

Расчетные данные

Необходимая тяговая мощность (kW/m) для операции, рассчитана для рекомендованной технологической рабочей скорости V_p [3]. По расчетным данным (таблица) построен график - рисунок.

Для определения нужной эффективной мощности тракторного двигателя по формуле (2) приняты следующие выходные данные: движение колесного трактора происходит по ровному полю, по стерне с уклоном $\alpha = 5^\circ$, $\eta = 0,9$, $f = 0,1$, оптимальный тяговый фактор $T = 0,4$, буксование $\delta = 0,05$. Приблизительно принимается $\cos \alpha = 1$.

Согласно формулы (3), потеря мощности в трансмиссии:

$$P_\eta = 0,1 P_E$$

Согласно формулы (4), потеря мощности на самопередвижении:

$$P_f = 0,1 G_T V_p$$

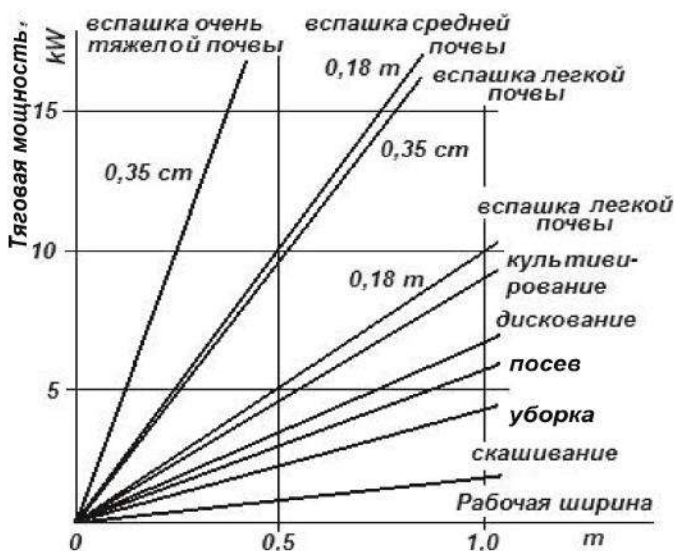


Рис. График тяговой мощности при некоторых операциях, в зависимости от рабочей ширины

Принимается, что трактор работает максимальным тяговым КПД. Тогда для колесного трактора, оптимальный тяговый фактор имеет величину, близкую к $T = 0,4$, [4].

По формуле (5) потери мощности на буксование при этой величине T составляют:

$$P_{\delta} = (0,4 + 0,1)G_T V_p 0,05 / (1 - 0,05) \approx 0,026 G_T V_p$$

По формуле (6) потери мощности на преодоление наклона $\alpha = 5^\circ$:

$$P_{\alpha} \approx 0,1 G_T V_p$$

Согласно формуле (7) оптимальная тяговая мощность, при $T = 0,4$, составит:

$$P_T = 0,4 G_T V_p$$

После замены выражения (3), (4), (5), (6) и (7) с найденными соотношениями - в уравнении баланса мощностей (2) - получается:

$$P_E = 0,1P_E + (0,1G_T V_p)^{Pr} + (0,026G_T V_p)^{P\delta} + (0,1G_T V_p)^{P\alpha} + (0,4G_T V_p)^{Pr} + P_M \quad (8)$$

Уравнение (8) дает количественное соотношение компонентов мощности, как частей величиной $G_T V_p$, при оптимальном тяговом режиме. После суммирования мощностей сопротивление - $P_{с\text{ьп}r}$ при движении трактора, при $P_M = 0$, уравнение принимает вид:

$$0,9P_E = (0,226 G_T V_p)^{P_{с\text{ьп}r}} + (0,4 G_T V_p)^{Pr}$$

$$\text{или } P_E = (0,25 G_T V_p)^{P_{с\text{ьп}r}} + (0,45 G_T V_p)^{Pr} \quad (9)$$

Выражение (9) показывает относительную долю мощности на сопротивление и полезную тяговую мощность как долю произведения $G_T V_p$. Через соотношение (9) определяется, что мощность сопротивления $P_{с\text{ьп}r}$ составляет 35 %, а тяговая мощность P_T - 65 % - эффективной мощности трактора P_E . Следовательно, зная это соотношение, после определения потребной тяговой мощности P_T из рис., по формуле (9) можно найти полную эффективную мощность тракторного двигателя P_E .

В случае, если расход мощности для активных рабочих органов P_M , то он добавляется к высчитанной эффективной мощности.

Выводы. 1. Построен график, позволяющий определить тяговую мощность P_T трактора для данной сельскохозяйственной операции, при данной рабочей ширине машинно-тракторного агрегата.

2. Для основных тяговых сельскохозяйственных операций, на стерне с продольным наклоном до 5° , оптимальная тяговая мощность P_T колесного трактора составляет около 65% полной эффективной мощности P_E трактора.

БИБЛІОГРАФІЯ

1. Велев Н. Теория и расчет трактора и автомобиля, Земиздат, София, 1984.
2. Димитров Й. Теория автомобиля, трактора и кары, София, 1991.
3. Палевски П. Методическое руководство по курсовому проектированию по эксплуатации машинно-тракторного парка, Земиздат, София, 1990.
4. Иринчев Д. Тяговая сила и тяговый КПД на сельскохозяйственном тракторе, Journal of the Technical University Sofia, branch Plovdiv, "Fundamental Sciences and Applications", Vol. 16, 2011.

МОЩНОСТЬ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОГО ТРАКТОРА НА ТЯГОВЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Мощность тракторного двигателя определяется в основном видом тяговой операции. В статье анализируется необходимая мощность при почвообработке. Теоретически установлено, что мощность на крюке трактора составляет приблизительно 65% расходуемой мощности двигателя.

Ключевые слова: мощность трактора, тяговое усилие трактора.

THE POWER OF FARM TRACTOR BY TRACTION OPERATIONS

Tractor engine is defined by the type of tractor operation in general. The article analyses the necessary power mainly needed in soil treatment. It has been theoretically found out that the traction power at the hitch of the tractor is approximately 65% of the total need engine power.

Key words: Traction farm operations, tractor power.