

## Мобільні і стаціонарні енергозасоби та їх елементи Mobile and stationary power units and their elements



УДК 629.083

### Підвищення енергетичної ефективності колісних машин методом відключення циліндрів в автотракторному двигуні

А.О. Молодан

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м.Харків, Україна)*

До питання про те, скільки найбільш вигідно відключити циліндрів двигуна, для ефективного використання потужності двигуна, для їх підтримки на колишньому рівні працюють циліндри необхідно збільшувати циклову подачу палива. При більшій цикловій подачі в працюючих циліндрах збільшується середня індикаторний тиск і поліпшується процес згоряння. При відключенні частини циліндрів двигуна в процесі його роботи індикаторна потужність двигуна зменшується, в результаті чого знижується частота обертання колінчастого валу і крутний момент двигуна.

Необхідність підвищення ефективності роботи двигуна в широкому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів сприяє як пошуку нових технічних рішень, так і розвитку раніше відомих, які добре себе зарекомендували. Це пов'язано в першу чергу з вимогами до паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів, а в ряді випадків з необхідністю поліпшення перехідних процесів у двигуні із збереженням інших характеристик на колишньому рівні чи навіть їх покращення.

Представлена енергетична діаграма колісної машини в номінальному режимі при русі з дизельним двигуном. Вона показує, що витрати на власні потреби  $P$  становлять 30-40 %. Потужність, що витрачається колісною машиною на власні потреби, оптимізована за рахунок застосування регульованого допоміжного приводу.

Отримана залежність ККД колісної машини від миттєвої реалізованої потужності шляхом обробки записів бортового реєстратора параметрів руху та побудована апроксимація отриманої дослідним шляхом залежно ККД автотракторного двигуна від коефіцієнта використання потужності методом найменших квадратів.

Запропоновано алгоритм вибору кількості відключених циліндрів в залежності від миттєвого значення потужності. При використанні запропонованого способу управління енергетичною ефективністю автотракторного двигуна при роботі з неповним навантаженням програма бортового комп'ютера з фактичної потужності, визначає необхідне для роботи двигуна мінімальне число працюючих циліндрів.

**Ключові слова:** колісна машина, енергетична ефективність, відключення циліндрів, автотракторний двигун, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт використання потужності.

#### Постановка проблеми та її актуальність.

Проблема раціонального використання доступної потужності автотракторного двигуна при легкому профілі шляху і невеликій швидкості руху для неповновагових і порожніх колісних машин неодноразово піднімалася у зв'язку з вантажними перевезеннями [1-5, 6, 8 та ін.].

Лише 4-5 % тривалості тягового режиму [7] реалізується з потужністю, близької до номінальної, 70-75 % – з навантаженнями 0,5-0,8 номінальної, решту часу використання сили тяги і потужності колісних машин не перевищує 0,5 номінальних значень. Таким чином, зростаюча потужність автотракторних двигунів посилює проблему

її повної реалізації в експлуатації, а отже, і проблему підвищення експлуатаційного ККД тягового режиму руху.

#### Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Було встановлено [3-7], що одним із способів підвищення енергетичної ефективності є часткове відключення циліндрів (або циклів) автотракторного двигуна в періоди роботи з явним перевищенням його сили тяги і потужності.

Одним з перших енергетичних підходів до оцінки ефективності автомобіля запропонував П.М. Гащук [1]. Цей підхід отримав свій розвиток в роботах П.П. Евсеева [2]. Слід зазначити також з іноземних джерел роботу Ю. Мацкерле [3].

Поява нових, альтернативних ДВЗ енергоустановок (електричні двигуни, водневі ДВЗ, гібридні енергоустановки і т. п.), джерел енергії (акумуляторів, маховиків) [4-6] призвела до необхідності розширення поняття (експлуатаційної властивості) «паливна економічність», включенням до нього витрат не тільки теплової енергії палива, а й енергії інших видів (електричної та механічної).

**Мета і постановка задачі** Метою даного дослідження є визначення раціональної кількості відключення циліндрів в автотракторному двигуні для підвищення енергетичної ефективності колісних машин.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- представити енергетичну діаграму колісної машини в номінальному режимі при русі з дизельним двигуном;
- шляхом обробки записів бортового реєстратора параметрів руху отримати залежність ККД

колісної машини від миттєвої реалізованої потужності та побудувати її апроксимацію;

- запропонувати алгоритм вибору кількості відключених циліндрів в залежності від миттєвого значення потужності.

Визначення раціональної кількості відключення циліндрів в автотракторному двигуні для підвищення енергетичної ефективності колісних машин. Діапазон зміни ККД в режимі тяги охоплює значення від 0,2 до 0,42. Чисельні значення ККД (рис. 1) [9] функціонально залежать від значень дотичній сили тяги  $F$ , швидкості руху  $V$  та потужності  $P$ , що реалізується на обох рушійних колесах, яка дорівнює добутку сили тяги на швидкість. Із збільшенням сили тяги, швидкості і потужності підвищується ефективність перетворення енергії. Оптимальним за ККД є використання потужності в діапазоні від 0,35  $P$  до 0,40  $P$  тривалого режиму роботи колісної машини.

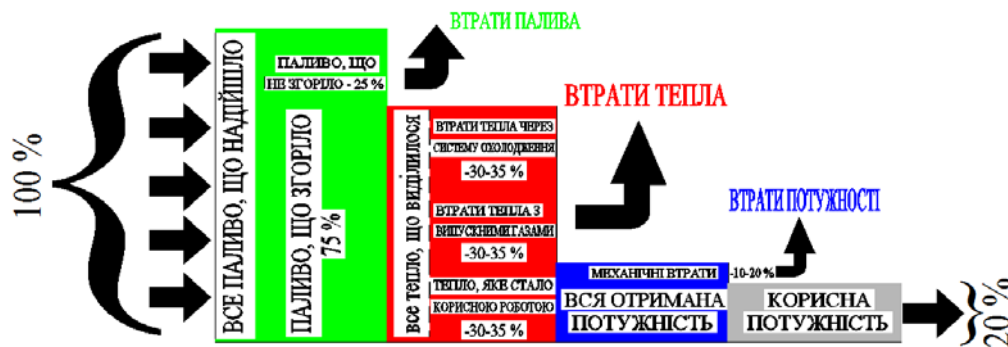


Рис. 1. Структура розподілу втрат в ДВЗ

ККД колісної машини може бути представлений як

$$\eta_{к.м.} = \frac{P_{кор}}{P_{вит}} = \frac{P_m}{P_m + P_{втр} + P_{вл. пот.}}, \quad (1)$$

де  $P_{кор}$  – корисна потужність;  $P_{вит}$  – витрачена потужність;  $P_m$  – потужність на тягу колісної машини;  $P_{втр}$  – потужність втрат;  $P_{вл. пот.}$  – потужність, що витрачається на власні потреби.

Потужність на тягу колісної машини  $P_m$ , кВт, дорівнює

$$P_m = F_k \cdot V_a, \quad (2)$$

де  $F_k$  – сила тяги на колесах колісної машини, кН;  $V_a$  – швидкість руху, м/с.

Енергетична діаграма колісної машини в номінальному режимі при русі з дизельним двигуном показана на рис. 2.

Видно, що витрати на власні потреби  $P$  становлять 30-40 %. Потужність, що витрачається

колісною машиною на власні потреби, оптимізована за рахунок застосування регульованого допоміжного приводу.

Потужність втрат  $P_{втр}$  складається з механічних, енергетичних і втрат на насосні ходи і привід допоміжного обладнання. Ці втрати оцінені з використанням технічної документації.

У результаті ККД автотракторного двигуна в номінальному режимі становить 25-40 %.

Шляхом обробки записів бортового реєстратора параметрів руху отримана залежність ККД колісної машини від миттєвої реалізованої потужності. На рис. 3 показана залежність ККД автотракторного двигуна від коефіцієнта використання потужності (КВП), рівного відношенню миттєвої потужності колісної машини до його номінальної потужності. Тут відображена робота всієї системи перетворення теплоенергії, механічні та втрати, а також витрати на власні потреби. Можна сказати, що це результат багаторазово повтореного натурального експерименту, умови якого визначені режимами експлуатації.

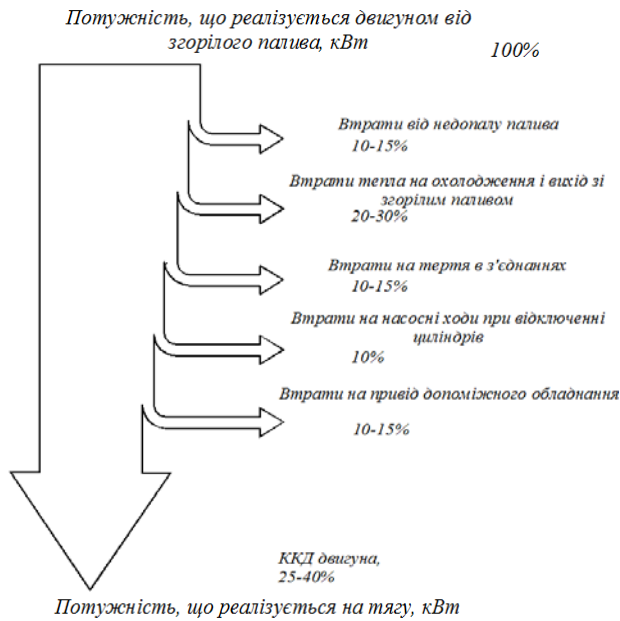


Рис. 2. Енергетична діаграма колісної машини в номінальному режимі при використанні дизельного двигуна

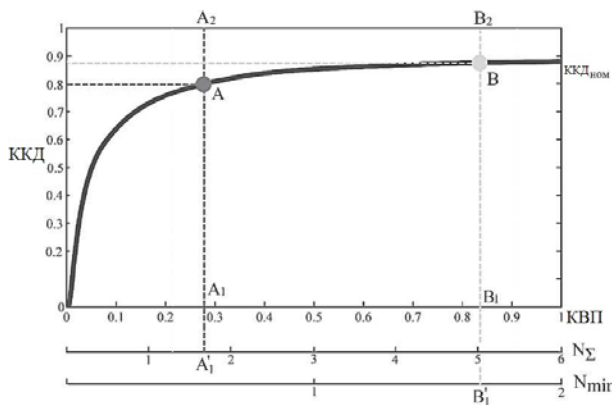


Рис. 3. ККД автотракторного двигуна в залежності від КВП в режимі тяги

Побудована апроксимація отриманої дослідним шляхом залежно ККД автотракторного двигуна  $\eta$  від коефіцієнта використання потужності методом найменших квадратів у вигляді

$$\eta = \frac{\gamma}{a\gamma + b} \quad (3)$$

Пропонується наступний алгоритм (рис. 4) вибору кількості відключених циліндрів в залежності від миттєвого значення потужності. Оскільки в автотракторному двигуні є можливість регулювання сили тяги, питання оперативного відключення/підключення одного або декількох циліндрів в автоматичному режимі може бути вирішено на верхньому рівні системи управління.

Двигун з відключеним циліндром можна використовувати для знаходження лінійної швидкості колісної машини, що збільшить ефективність роботи протибуксувальної системи і дозволить максимально реалізувати його тягові властивості за допомогою.

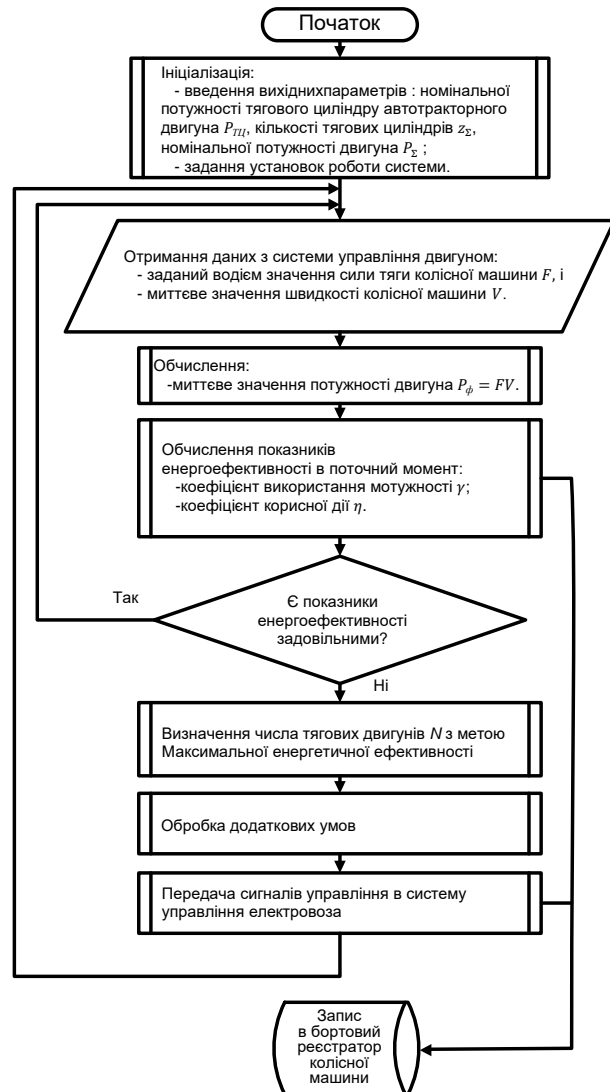


Рис. 4. Алгоритм регулювання потужності і числа відключених циліндрів

Число циліндрів автотракторного двигуна в загальному випадку позначимо як  $z_{\Sigma}$  (рис. 3), в даному випадку  $z_{\Sigma} = 8$ . Номінальну потужність одного тягового циліндра позначимо як  $P_{ТЦ}$ , приймемо  $P_{ТЦ} = 19,3$  кВт.

Тоді повна номінальна потужність двигуна складе  $P_{\Sigma} = z_{\Sigma} \cdot P_{ТЦ} = 8 \cdot 19,3 = 154,5$  кВт.

Припустимо, що в деякий момент часу потужність, фактично витрачається автотракторним двигуном на тягу при роботі всіх циліндрів,

становить  $P_\phi$ , наприклад,  $P_\phi = 43$  кВт. У цьому випадку КВП колісної машиною складе

$$\gamma_{\Sigma} = OA_1 = \frac{P_\phi}{P_{\Sigma}} = \frac{43}{154,5} = 0,278 \quad (4)$$

цьому режиму відповідає експлуатаційний ККД автотракторного двигуна (рис. 3).

При використанні запропонованого способу управління енергетичною ефективністю автотракторного двигуна при роботі з неповним навантаженням програма бортового комп'ютера з фактичної потужності  $P_\phi$  визначає необхідне для роботи двигуна мінімальне число працюючих циліндрів  $z_{min}$ , в даному випадку це число дорівнює двом (мінімально можливе),  $z_{min}$ , і відключає інші тягові циліндри. У цьому випадку потужність двигуна складе  $P_{min} = z_{min} P_{TC} = 3 \cdot 19,3 = 57,9$  кВт.

Значення КВП в даному режимі – при роботі двох тягових циліндрів – складе

$$\gamma_{min} = OB_1 = \frac{P_\phi}{P_{min}} = \frac{43}{57,9} = 0,742. \quad (5)$$

Таким чином, при визначенні коефіцієнта використання потужності можемо судити про значення ККД автотракторного двигуна.

#### Висновки:

1. Представлена енергетична діаграма колісної машини в номінальному режимі при русі з дизельним двигуном. Вона показує, що витрати на власні потреби  $P$  становлять 30-40 %. Потужність, що витрачається колісною машиною на власні потреби, оптимізована за рахунок застосування регульованого допоміжного приводу.

2. Отримана залежність ККД колісної машини від миттєвої реалізованої потужності шляхом обробки записів бортового реєстратора параметрів руху та побудована апроксимація отриманої дослідним шляхом залежно ККД автотракторного двигуна від коефіцієнта використання потужності методом найменших квадратів.

3. Запропоновано алгоритм вибору кількості відключених циліндрів в залежності від миттєвого значення потужності. При використанні запропонованого способу управління енергетичною ефективністю автотракторного двигуна при роботі з неповним навантаженням програма бортового комп'ютера з фактичної потужності, визначає необхідне для роботи двигуна мінімальне число працюючих циліндрів.

#### Література

1. Гащук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П.Н. Гащук. – Львов: Свет, 1992. – 208 с.

2. Евсеев П.П. Некоторые вопросы энергетики автомобиля / П.П. Евсеев. – К.: Вкол, 2006. – 236 с.

3. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Ю. Мацкерле: пер. с чешск. В.Б. Иванова: под. ред. А.Р. Бендикова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

4. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О. В. Бажинов, О. П. Смирнов, С. А. Серіков, та ін. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.

5. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, та ін. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 327 с.

6. Подригало М.А. Энергетическая экономичность автомобиля и критерии её оценки / М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, Ю.В. Тарасов, В.М. Ефимчук // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – №40 (1119), 2015. – С. 28-37.

7. Молодан А.А. Теоретические расчеты относительного дополнительного расхода топлива при отключении цилиндров / А.А. Молодан, А.С. Полянский // Науковий журнал «Інженерія природокористування». – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. – №2 (10), 2018. – С. 14-18.

8. Подригало М.А. Оценка дополнительных энергетических потер при установившемся режиме движения транспортно-тяговых машин / М.А. Подригало, Н.П. Артёмов, Д.В. Абрамов, М.Л. Шуляк // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 9 (1118), 2015. – С. 98-107.

9. Kolpahchyan P.G. Study of the asynchronous traction drive's operating modes by computer simulation. P. 1 : Problem formulation and computer model / P. G. Kolpahchyan, A. A. Zarifyan (Jr) // Transp. Prob. Int. Sci. J. – 2015. – Vol. 10, Is. 2. – P. 125-136.

#### Reference

1. Gashuk P.N. 1992. Jenergeticheskaia jeffektivnost' avtomobilja / P.N. Gashuk // L'vov: Svet, 208.

2. Evseev P.P. 2006. Nekotorye voprosy jenergetiki avtomobilja / P.P. Evseev // K.: Vikol, 236.

3. Mackerle Ju. 1987. Sovremennyj jekonomichnyj avtomobil' / [Ju. Mackerle: per. s cheshsk. V.B. Iva-nova: pod. red. A.R. Bendikova]. – М.: Mashinostroenie, 320.

4. **Bazhynov O.V. 2011.** Synergetychnyj avtomobil'. Teorija i praktyka / O. V. Bazhynov, O. P. Smyrnov, S. A. Sjerikov, ta in // H.: HNADU, 236.

5. **Bazhynov O.V. 2008.** Gibrydni avtomobili / O.V. Bazhynov, O.P. Smyrnov, S.A. Sjerikov, ta in // H.: HNADU, 327.

6. **Podrigalo M.A. 2015.** Jenergeticheska ja jekonomichnost' avtomobilja i kriterii ejo ocenki / M.A. Podrigalo, D.V. Abramov, Ju.V. Tarasov, V.M. Efimchuk // Visnyk nacional'nogo tehničnogo universytetu «HPI». Zbirnyk naukovyh prac'. Serija: Avtomobile- ta traktorobuduvannja. №40 (1119). 28-37.

7. **Molodan A.A. 2018.** Teoreticheskie raschety odnositel'nogo dopolnitel'nogo rashoda topliva pri otključenii cilindrov / A.A. Molodan, A.S. Poljanskij // Naukovyj zhurnal «Inzhenerija pryrodokorystuvannja»

// Harkivs'kyj nacional'nyj tehničnyj universytet sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka. – №2 (10). 14-18.

8. **Podrigalo M.A. 2015.** Ocenka dopolnitel'nyh jenergetičeskikh poter pri ustanovivshemsja rezhime dvizhenija transportno-tjagovyh mashin / M.A. Podrigalo, N.P. Artjomov, D.V. Abramov, M.L. Shuljak // Visnyk nacional'nogo tehničnogo universytetu «HPI». Zbirnyk naukovyh prac'. Serija: Avtomobile- ta traktorobuduvannja. – № 9 (1118). 98-107.

9. **Kolpahchyan P.G. 2015.** Study of the asynchronous traction drive's operating modes by computer simulation. P. 1 : Problem formulation and computer model / P. G. Kolpahchyan, A. A. Zarifyan (Jr) // Transp. Prob. Int. Sci. J. – Vol. 10, Is. 2. 125-136.

## Аннотация

### Повышение энергетической эффективности колесных машин методом отключения цилиндров в автотракторном двигателе

**А.А. Молодан**

К вопросу о том, сколько наиболее выгодно отключить цилиндров двигателя, для эффективного использования мощности двигателя, для их поддержания на прежнем уровне работают цилиндры необходимо увеличивать цикловую подачу топлива. При большей цикловой подаче в работающих цилиндрах увеличивается среднее индикаторное давление и улучшается процесс сгорания. При отключении части цилиндров двигателя в процессе его работы индикаторная мощность двигателя уменьшается, в результате чего снижается частота вращения коленчатого вала и крутящий момент двигателя.

Необходимость повышения эффективности работы двигателя в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов способствует как поиску новых технических решений, так и развития ранее известных, хорошо зарекомендовавших себя. Это связано в первую очередь с требованиями к топливной экономичности и токсичности отработавших газов, а в ряде случаев с необходимостью улучшения переходных процессов в двигателе с сохранением других характеристик на прежнем уровне или даже их улучшение.

Представлена энергетическая диаграмма колесной машины в номинальном режиме при движении с дизельным двигателем. Она показывает, что расходы на собственные нужды составляют 30-40 %. Мощность, расходуемая колесной машиной на собственные нужды, оптимизирована за счет применения регулируемого вспомогательного привода.

Получена зависимость КПД колесной машины от мгновенной реализованной мощности путем обработки записей бортового регистратора параметров движения и построена аппроксимация полученной опытным путем зависимости КПД автотракторного двигателя от коэффициента использования мощности методом наименьших квадратов.

Предложен алгоритм выбора количества отключенных цилиндров в зависимости от мгновенного значения мощности. При использовании предлагаемого способа управления энергетической эффективностью автотракторного двигателя при работе с неполной нагрузкой программа бортового компьютера из фактической мощности, определяет необходимое для работы двигателя минимальное число работающих цилиндров.

**Ключевые слова:** колесная машина, энергетическая эффективность, отключение цилиндров, автотракторный двигатель, коэффициент полезного действия, коэффициент использования мощности.

---

**Abstract****Improving the energy efficiency of wheeled cars by the method of disconnecting cylinders in a automobile and tractor engine****A.A. Molodan**

On the question of how much it is most beneficial to turn off the engine cylinders, in order to use the engine power effectively, to keep them running at the same level, the cylinders need to increase the fuel cycle. With a greater cyclic flow in the working cylinders increases the average indicator pressure and improves the combustion process. When you turn off part of the engine cylinders during its operation, the indicated engine power decreases, as a result of which the crankshaft speed and engine torque decrease.

The need to improve the efficiency of the engine in a wide range of speed and load modes contributes both to the search for new technical solutions and the development of previously known, well-established ones. This is primarily due to the requirements for fuel efficiency and toxicity of exhaust gases, and in some cases with the need to improve transients in the engine while maintaining other characteristics at the same level or even improving them.

The energy diagram of the wheeled vehicle in the nominal mode when driving with a diesel engine is presented. It shows that the cost of own needs is 30-40%. The power consumed by the wheeled vehicle for its own needs is optimized through the use of an adjustable auxiliary drive.

The dependence of the efficiency of the wheeled vehicle on the instantaneous realized power is obtained by processing the records of the onboard recorder of motion parameters and an approximation is constructed of the experimentally obtained dependence of the efficiency of the automobile and tractor engine on the power utilization ratio using the least squares method.

An algorithm for selecting the number of disabled cylinders depending on the instantaneous power value is proposed. When using the proposed method of controlling the energy efficiency of an automobile and tractor engine when operating at partial load, the on-board computer program from the actual power determines the minimum number of working cylinders required for engine operation.

**Keywords:** *wheeled vehicle, energy efficiency, cylinder shutdown, automobile and tractor engine, efficiency, power utilization factor.*

---

**Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard**

Molodan, A. (2019). Improving the energy efficiency of wheeled cars by the method of disconnecting cylinders in a automobile and tractor engine. *Engineering of nature management*, 3(13), pp. 24 - 29

---

*Подано до редакції / Received: 02.11.2018*