

УДК 630*336:621.436.12:62-543.4

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ МОБІЛЬНИХ ЛІСОВИХ МАШИН МЕТОДОМ ВІДКЛЮЧЕННЯ РОБОЧИХ ЦИКЛІВ

Бешун О.А., кандидат технічних наук

(Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Стаття присвячена теоретичним дослідженням впливу регулювання потужності двигунів мобільних лісових машин методом відключення окремих робочих циклів на їх економічні, екологічні та динамічні показники. Обґрунтовано доцільність застосування запропонованого методу регулювання потужності на багатоциліндрових дизельних двигунах з метою покращення їх паливної економічності на режимах часткових навантажень і холостого ходу на 3...20 % при суттєвому зниженні токсичності і димності відпрацьованих газів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Дві глобальні проблеми, економія енергетичних ресурсів та зменшення навантаження на довкілля, на сьогоднішній день є найгострішими у світі. Очевидно, що актуальність пошуку шляхів вирішення цих проблем буде лише посилюватись з часом. Не виключенням у цьому відношенні є галузь лісового господарства, в якій задіяно велику кількість самохідних лісових машин (СЛМ), обладнаних, як правило, потужними багатоциліндровими дизельними двигунами. Останні, як відомо, є одним з найбільших забруднювачів довкілля і, як показує практика, далеко не вичерпали потенціалу вдосконалення, особливо на режимах неповних навантажень та холостого ходу (ХХ), на яких економічні та динамічні показники значно гірші, ніж на номінальному режимі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Відомо, що одним з резервів покращення експлуатаційної паливної економічності та зниження рівня шкідливих викидів багатоциліндрових двигунів є застосування методу регулювання потужності відключенням окремих робочих циклів [1, 2]. Найбільший ефект при застосуванні цього методу досягається на режимах ХХ і малих навантажень. Доцільність застосування цього методу на багатоциліндрових автомобільних двигунах доведена [1]. Це підтверджується також тим, що такі провідні автомобілебудівні фірми світу, як Mercedes-Bens, Toyota, Honda, Volkswagen, Audi та інші застосовують системи відключення циліндрів на серійних автомобілях, причому дві останні – навіть на 4 циліндрових двигунах

невеликого об'єму. Це свідчить про перспективність даного методу, який по суті є частинним випадком методу відключення циклів і має ряд суттєвих недоліків порівняно з ним, проте дещо простіший в реалізації на практиці, а тому він вже застосовується в серійному виробництві.

Науковцями Росії і України в період з 1980 до 2010 було виконано ряд дисертаційних досліджень, спрямованих на вивчення доцільності застосування відключення циліндрів і циклів на автотракторних двигунах, в т.ч. і на дизельних [1-5 та ін.]. Практично у всіх роботах було доведено можливість покращення експлуатаційної паливної економічності в межах 3...20 % залежно від способів і засобів реалізації методів з одночасним покращенням екологічних показників.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Очевидно, що метод відключення окремих робочих циклів може бути застосовано і на дизелях СЛМ. Проте, наскільки можна судити з аналізу літературних джерел, це питання є практично не досліджене. Тому воно є актуальним і потребує вивчення.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є дослідження впливу регулювання потужності двигунів мобільних лісових машин методом відключення окремих робочих циклів на їх економічні, екологічні та динамічні показники та обґрунтування доцільності застосування запропонованого методу на багатоциліндрових дизельних двигунах СЛМ.

Викладення основного матеріалу дослідження. Сутність методу регулювання потужності двигуна відключенням окремих робочих циклів полягає в тому, що в міру зменшення навантаження шляхом припинення подачі палива в циліндри двигуна відключається частина робочих циклів, що забезпечує отримання необхідного рівня потужності. Метод розглядається у поєднанні з системою паливоподачі з електронним управлінням відключення окремих робочих циклів, яка повинна задовольняти наступні вимоги: можливість відключення окремих робочих циклів; висока надійність та швидкодія; мінімальна витрата енергії на привод і керування системи. Таку систему достатньо просто реалізувати, наприклад, на базі акумуляторної системи паливоподачі типу Common Rail, яка, як відомо, через жорсткі екологічні вимоги стрімко витісняє класичні системи паливоподачі і дає змогу реалізувати притаманні їй переваги, а також порівняно просто вирішити питання припинення подачі палива в циліндри двигуна під час пропуску робочих циклів [6].

Слід зауважити, що запропонований метод регулювання потужності, будучи близьким до методу відключення циліндрів, відрізняється від останнього тим, що циліндр періодично відключається на один чи декілька циклів, що створює ряд суттєвих переваг. Кожний циліндр відключається на незначний період часу, що практично не змінює температурного режиму окремих циліндрів. При відключенні ж частини циліндрів на тривалий час зниження їх теплового стану в певній мірі збільшує механічні втрати в них. Як наслідок, застосування методу відключення окремих робочих циклів може

призвести до збільшення механічного ККД і зменшення витрати палива. Крім того, застосування цього методу зменшить накопичення оливи в циліндрах, його наступне вигорання та ймовірність залягання кілець. Кількість відключених циклів може бути довільною, що дозволяє забезпечити роботу двигуна на оптимальному складі суміші в широкому діапазоні навантажень при значно меншій ступінчастості регулювання [1, 2] ніж при відключенні циліндрів.

Можливість зменшення витрати палива на режимах ХХ і часткових навантажень при регулюванні потужності дизеля як відключенням циліндрів, так і відключенням окремих робочих циклів залежить від виду характеристики $\eta_i = f(\alpha)$, де α – коефіцієнт надлишку повітря. Експериментальні дослідження чотиритактних дизелів різних типів, різної ступені форсованості і зносу показали, що просте виключення на тривалий час подачі палива у кількох циліндрах може привести як до зменшення, так і до збільшення витрати палива. На отримані результати суттєво впливають застосовувані засоби виключення циліндрів [1-5]. Іншим фактором, що впливає на зменшення витрати палива в цих умовах є підвищення стабільності паливоподачі в послідовності робочих циклів, а також рівномірності між працюючими циліндрами. Підвищення продуктивності секцій паливного насосу високого тиску працюючих циліндрів як правило зменшує і нестабільність від циклу до циклу, і нерівномірність подачі по циліндрам, а отже, підвищує η_i дизеля.

Отже, стабілізація процесів паливоподачі, викликана відключенням окремих робочих циклів, забезпечить можливість зменшення мінімально-стабільної частоти обертання, а як наслідок зменшить годинну витрату палива двигуном. Зменшенню мінімально-стійкої частоти обертання сприяє також підвищення фактору стійкості режиму роботи, пов'язаного, як правило, з більш високою ступінню корекції швидкісних характеристик паливної апаратури дизеля на режимах збільшення циклових подач.

Як показують проведені дослідження [1, 2, 6], найбільший ефект можна досягти при суміщенні відключення подачі палива і системи газообміну (тобто коли йдуть по шляху деякого підвищення індикаторного η_i і особливо механічного η_m ККД, коли разом із припиненням подачі палива одночасно закриваються впускні й випускні клапани відповідних циліндрів). Теоретично це можна пояснити наступним чином. Для того щоб покращити економічність двигуна, потрібно досягти зменшення питомої ефективної витрати палива, яка визначається за формулою:

$$g_e = \frac{1}{H_u \cdot \eta_e} = \frac{1}{H_u \cdot \eta_i \cdot \eta_m},$$

де g_e – питома ефективна витрата палива; H_u – нижча теплота згорання палива; η_e , η_i , η_m – відповідно ефективний, індикаторний і механічний ККД двигуна.

Як впливає з формули, для того щоб досягти зменшення питомої витрати палива за рахунок застосування системи, яка б дозволила реалізувати запропонований метод, необхідно збільшити індикаторний, і особливо

механічний ККД двигуна. Найбільший ефект можна отримати при одночасному збільшенні обох показників.

Складність конструктивної реалізації підсистеми синхронного припинення процесів газообміну дещо обмежує можливості використання цього шляху, особливо для швидкохідних двигунів. Проте в даний час вже відомі розробки газорозподільних механізмів з гідравлічним приводом і електронним керуванням, які дозволяють регулювати фази газорозподілу в т.ч. і хід клапана (наприклад, серійна система MultiAir концерну Fiat Group), які можуть бути використані для реалізації синхронного припинення процесів газообміну. З літературних джерел відомі також експериментальні розробки по застосуванню прямого електромагнітного приводу клапанів. Це система EVA (Electromagnetic Valve Actuator) та система електромагнітного приводу газорозподільних клапанів з регульованою ступінню відкриття фірми FEV-MT, яка встановлена на двигун BMW. Проте в серійному виробництві через ряд невирішених проблем (висока швидкість посадки клапана, шумність у роботі, великі витрати електричної енергії та ін.) вони поки що не застосовуються.

Збільшення навантаження на працюючі циліндри сприяє зменшенню валового викиду з відпрацьованими газами (ВГ) незгорілих вуглеводнів, моно оксиду вуглецю, зниженню димності та зменшенню їх неприємного запаху. Зміна викидів оксидів азоту не має однозначної залежності від інтенсивності відключенням циклів, тобто їх викид при відключенні циклів може як збільшитись, так і зменшитись [2].

Відомо, що практично всі СЛМ в т.ч. і одноопераційні (лісонавантажувачі, лісовози, трелювальні, звалювальні, корувальні, розкрязувальні, подрібнювальні, сучкозрізувальні) і багатоопераційні (звалювально-пакетувальні, звалювально-трелювальні, звалювально-транспортувальні, звалювально-подрібнювальні, звалювально-сучкозрізувальні, сучкозрізувально-пакетувальні, сучкозрізувально-розкрязувальні, звалювально-сучкозрізувально-пакетувальні, звалювально-сучкозрізувально-розкрязувально-пакетувальні, звалювально-сучкозрізувально-раскрязувально-транспортувальні) працюють в умовах часто змінних швидкісних і, особливо, навантажувальних режимів роботи двигуна. Ця особливість проявляється як при виконанні технологічних операцій, так і при технологічних переїздах мобільних лісових машин [7-10] і характерна для всього діапазону можливих навантажень (від режиму ХХ і малих навантажень до короткочасного глибокого перевантаження).

Вивченню динаміки лісосічних машин присвячено значна кількість опублікованих робіт. В той же час ступінь завантаженості і структура режимів роботи двигуна СЛМ досліджувалася не достатньо. Очевидно, що режими роботи автомобільних лісовозів, мало відрізняються від режимів роботи вантажних автомобілів, а трелювальних тракторів – від сільськогосподарських.

З відомих на сьогоднішній день наукових праць можна зробити висновок, що процес очищення стовбурів від сучків супроводжується високим рівнем динамічного навантаження як в пружних зв'язках СЛМ так і в силовій

установці, який істотно залежність від параметрів оброблюваних дерев (породи і об'єму, відстані між мутовками, діаметра сучків і їх кількості в мутовці) і в той же час від параметрів СЛМ (вильоту маніпулятора, швидкості протягування стовбура, швидкості руху машини при виведенні дерева та ін.). Зі зростанням об'єму дерев навантаження зростають, оскільки збільшуються діаметри сучків.

Рух СЛМ з деревом в захоплювачі (сучкозрізувально-розкрязувальній головці) супроводжується також високим рівнем динамічного навантаження, яке в основному залежить від об'єму дерева, що виводиться і висоти перешкод, по яких рухається машина.

Процес навантаження технологічного обладнання СЛМ циклічної дії також характеризується високою динамічністю. Так, наприклад, коефіцієнт динамічності K_d при зрізуванні сучків з дерев діаметром до 0,5 м складає: для ялини – 1,30; для берези – 1,49; при витяганні дерева з пачки штабелю і при врізанні ножів в деревину оброблюваного стовбура K_d досягає значення 3,05.

Високий рівень додаткових динамічних моментів на силову установку характерний і для звалювально-пакетувальної машини в режимах гальмування в процесі переміщення дерева стрілою маніпулятора або поворотом платформи. При цьому ці моменти зростають до значень, близьких до номінального моменту двигуна, або, навіть, перевищують його.

Режими гальмування звалювально-трелювальних машин характеризуються менш значними динамічними навантаженнями на силову установку. В найсприятливіших випадках (при часі гальмування 0,25 с) додаткові динамічні моменти не перевищують 6,5...10,5 % від номінального моменту.

При пакетуванні дерев великих об'ємів (2,0...3,0 м³), коли двигун завантажений максимальним статичним моментом опору, наростання моменту в приводі до максимального значення в процесі гальмування відбувається таким чином, що початкова швидкість приводу не встигає істотно змінитися.

Рівень динамічних навантажень на силові установки звалювально-трелювальних і звалювально-пакетувальних машин в режимах розгону значно нижчий в порівнянні з рівнем в режимах гальмування, проте вони супроводжуються значним зниженням частоти обертання колінчатого валу.

Таким чином, забезпечити оптимальні параметри робочого процесу дизеля в цих умовах важко, або практично не можливо при застосуванні штатних систем і механізмів. Проте, застосовуючи метод відключення окремих робочих циклів можна забезпечити найоптимальніші параметри робочого циклу дизеля, а регулювання потужності двигуна при цьому здійснювати не зміною кількості впорскуваного в циліндр палива, а зміною частоти робочих циклів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Отже, виконаний аналіз дає змогу зробити висновок про потенційну можливість застосування методу відключення циклів на багатоциліндрових дизелях мобільних лісових машин, які значну частину часу працюють на режимах часткових навантажень і ХХ, з метою покращення їх паливної економічності та зниження токсичності і димності ВГ. Стрімкий розвиток систем живлення і механізмів газорозподілу створює широкі

можливості для реалізації методу відключення окремих робочих циклів без внесення значних змін у конструкції двигунів.

Для встановлення кількісних показників ефективності застосування запропонованого методу в перспективі в першу чергу необхідно виконати поглиблені дослідження режимів роботи двигунів самохідних лісових машин, зосередивши основну увагу на структурі часу роботи машин на окремих режимах.

Список літератури

1. *Филиппов А.З.* Повышение экономических и экологических показателей ДВС отключением отдельных рабочих циклов: Дис. д-ра техн. наук: 05.04.02. К., 1996. – 460 с.
2. *Бешун О.А.* Вплив регулювання потужності дизеля відключенням окремих робочих циклів на його економічні, екологічні та динамічні показники: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – К., 2006. – 282 с.
3. *Андрес В.Р.* Повышение экономических и экологических качеств дизеля методом отключения цилиндров и циклов: Дис. ... канд. техн. наук : 11.00.11. – М., 1995. – 161 с.
4. *Олесов И.Ю.* Повышение экономических, эффективных и экологических качеств автотракторного дизеля использованием метода отключения-включения цилиндров и циклов: Дис... канд. техн. наук: 05.04.02. – М., 2005. – 201 с.
5. *Медведев А.Н.* Повышение топливной экономичности автомобильных дизелей отключением части цилиндров: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. – Челябинск, 2008. – 138 с.
6. Пат. 79657 С2 Україна, (2006) F 02 D 17/00, F 02 D 13/06. Система автоматичного регулювання потужності багатocyліндрового дизеля / А.З. Філіппов, О.А. Бешун (Україна). – № а 2005 06190. Заявл. 22.06.2005; Опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10.
7. *Мурычев Б.В.* Нагружённость силовых установок валочно-трелевочных и валочно-пакетирующих машин в режимах разгона и стопорения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – С.-Пб.: ЛТА, 2000. – 18 с.
8. *Александров В.А., Мосеев И.Г., Перельман А.Я.* Влияние динамических нагрузок на работу двигателя // Проблемы машиноведения и машиностроения. Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 24. – С.-Пб.: СЗТУ, 2001. – С. 98-103.
9. *Антипин В.П.* Определение затрат мощности двигателя при работе лесотранспортной машины на неустановившихся режимах // Известия. – Вып. №163. – С.-Пб.: ЛТА, 1997. – С. 61-68.
10. *Снопок Д.Н.* Нагружённость силовой установки валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин в процессе очистки деревьев от сучьев: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.21.01. – Ухта, 2008. – 123 с.

Аннотация

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН МЕТОДОМ ОТКЛЮЧЕНИЕМ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ

Бешун А.А.

Статья посвящена теоретическим исследованием влияния регулирования мощности двигателей мобильных лесных машин методом отключения отдельных рабочих циклов на их экономические, экологические и динамические показатели. Обосновано целесообразность применения предложенного метода регулирования мощности на многоцилиндровых дизельных двигателях с целью улучшения их топливной экономичности на режимах частичных нагрузок и холостого хода на 3...20 % при существенном снижении токсичности и дымности отработавших газов.

Abstract

GROUND OF THE EXPEDIENCE OF MOBILE FOREST MACHINES ENGINES POWER REGULATION BY MEANS OF WORKING CYCLES SWICHING-OFF

O. Beshun

The article presents theoretical investigations of influencing on economic, ecological and dynamic indicators of mobile forest machines engines power regulation by means of separate working cycles swiching-off. The expedience of application of this method is grounded on multicylinder diesel engines with the purpose of improvement of their fuel economy on the partial loading and idling modes on 3...20 % at the substantial decline of engine emission toxicity.