

УДК 621.43: 62-531.9: 62-544:001.3

ДЕАКТИВАЦІЯ ЦИЛІНДРІВ У ДВИГУНАХ: ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

Бешун О.А., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

Тел. (044) 527-88-95

Анотація – розглянуто історичні аспекти розвитку методу відключення циліндрів і циклів у двигунах внутрішнього згоряння, а також проблеми та перспективи застосування даного методу у багатоциліндрових дизельних двигунах з метою покращення їх економічних і екологічних показників на режимах часткових навантажень і холостого ходу.

Ключові слова – дизель, бензиновий двигун, економічність, режим, метод, регулювання, потужність, відключення, циліндр, цикл, історія, перспектива.

Постановка проблеми. Дві 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. Відомо, що одним з резервів покращення експлуатаційної паливної економічності та зниження рівня шкідливих викидів багатоциліндрових двигунів є застосування методу регулювання потужності відключенням циліндрів [1 – 12] і циклів [3 – 6]. Найбільший ефект при застосуванні цього методу досягається на режимах холостого ходу і малих навантажень.

Аналіз останніх досліджень. Історичні аспекти розвитку та окремі проблеми застосування методу відключення циліндрів і циклів у автомобільних бензинових двигунах розглянуті у праці [1]. Проте в даній роботі практично не приділено уваги дизельним двигунами, у робочих процесах яких є цілий ряд особливостей, а також відсутня інформація про метод відключення окремих робочих циклів, що також суттєво відрізняється від методу відключення циліндрів, і має порівняно з ним ряд переваг.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). На основі аналізу літературних джерел систематизувати інформацію про історію

розвитку методу покращення економічних і екологічних показників багатоподільних автотракторних, тепловозних і судових двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) шляхом деактивації циліндрів, виявити основні проблемні питання, які на сьогоднішній день залишаються недостатньо вивченими та перспективи подальших досліджень і впровадження у виробництво.

Основна частина. Ідея підвищення ефективності роботи поршневих бензинових двигунів шляхом відключення частини циліндрів вперше зародилася в США в 1905 р. [2], далі була розвинута в 1917 р. [1] та передбачала деактивацію половини циліндрів (6-ти на 12-циліндровому двигуні).

В колишньому СРСР метод відключення циліндрів як спосіб підвищення експлуатаційних якостей ДВЗ, вперше був запропонований академіком Є.О. Чудаковим (див. фото на рис. 1). Сутність цього методу, як випливає з його назви, полягає в тому, що на часткових режимах і особливо на холостому ході відключають подачу палива в частину циліндрів [2].

В СРСР і пострадянському просторі дослідження в галузі відключення циліндрів в різний час виконувалися в НАМІ (Росія), НТУ (Україна) і в інших організаціях (див. карту на рис. 2; цифра біля назви міста вказує на кількість установ і організацій, в яких проводили дослідження систем відключення циліндрів; відсутність цифр відповідає одній установі) [1 – 8].

Певні наукові і практичні результати були досягнуті в роботах ЦНДІ МФ, РУДН, МАДІ, ПО «Пенздизельмаш», УкрДАЗТ, СДУШС, ВАТ «НТЦ «КамАЗ»», ВАТ ЯМЗ, ТОВ «ЧТЗ-Уралтрак», НВО ЦНДТА, що знайшло відображення у наукових статтях достатньо великої кількості вчених, які працювали у наукових школах, очолюваних відомими провідними фахівцями в даній галузі (див. фото на рис. 1).

В Україні такі дослідження проводилися на автомобілі МАЗ-500 з V-подібним 6-циліндровим дизелем ЯМЗ-236 ще наприкінці 1970-х років, а також на дизелі Д-50 в Національному транспортному університеті та ДержавнотрансНДПроекті Мінтрансу. На двотактному Д-100 і чотиритактних тепловозних дизелях типу 6ЧН 31,8/33 (ПДГ1М), 12ЧН 14/14, 6ЧН 26/26, 8ЧН 26/26, 16ЧН 26/26, а також на тракторних дизелях 4Ч 12/14 (СМД-14) і 6ЧН 13/11,5 (СМД-62) – у Харківській державній академії залізничного транспорту спільно з ГСКБД та ОГК ПО «Пенздизельмаш». А на дизелях будівельних машин – у Київському національному університеті будівництва й архітектури, та в інших установах і організаціях [5].

В Росії аналогічні дослідження виконувались: в Російському

університеті дружби народів (РУДН) ім. П. Лумумби [2] на дизель-генераторах та дизелях фірми “Перкінс” і “Сканія” спільно з Московським автомобільно-дорожнім інститутом та Національним інженерним університетом Перу (м. Ліма); в НТЦ “КамАЗ” спільно з РУДН – на дизелі КамАЗ-740; в ПО “ЯМЗ” спільно з РУДН – на дизелі ЯМЗ-238 та в НАТИ на дизелі 12Ч 15/18; у Воронежському лісотехнічному інституті – на дизелі ЯМЗ-740; в НАМІ – на дизелі 8Ч 13/14 та дизелі автобуса ЛиАЗ; у ВНІТІ спільно з МІІТ та Балаківським машинобудівним заводом ім. Ф. Дзержинського – на дизелі 6ЧН 21/21 маневрового тепловозу типу ТГМ-4; в Мурманському філіалі ЦНПМФ – на суднових дизелях Д100, 2Д100, 3Д100, 12Д70, 11Д45 та 6Д49, головному дизелі 9МН51 (9Д 51/55) криголама типу “Москва”, судновому допоміжному дизелі 2Ч 12,5/18 та серійних дизелях 10ДП 20,7/25,4×2; а також у Коломенському філіалі ВЗП.



Рис. 1. Керівники наукових шкіл і провідні науковці країн СНД, які досліджували метод відключення циліндрів і циклів

Аналіз вітчизняної та зарубіжної патентної документації також показав, що і в Україні, і в країнах близького та дальнього зарубіжжя існує достатньо велика кількість робіт, присвячених цьому напрямку [1-8, 12 та багато ін.].

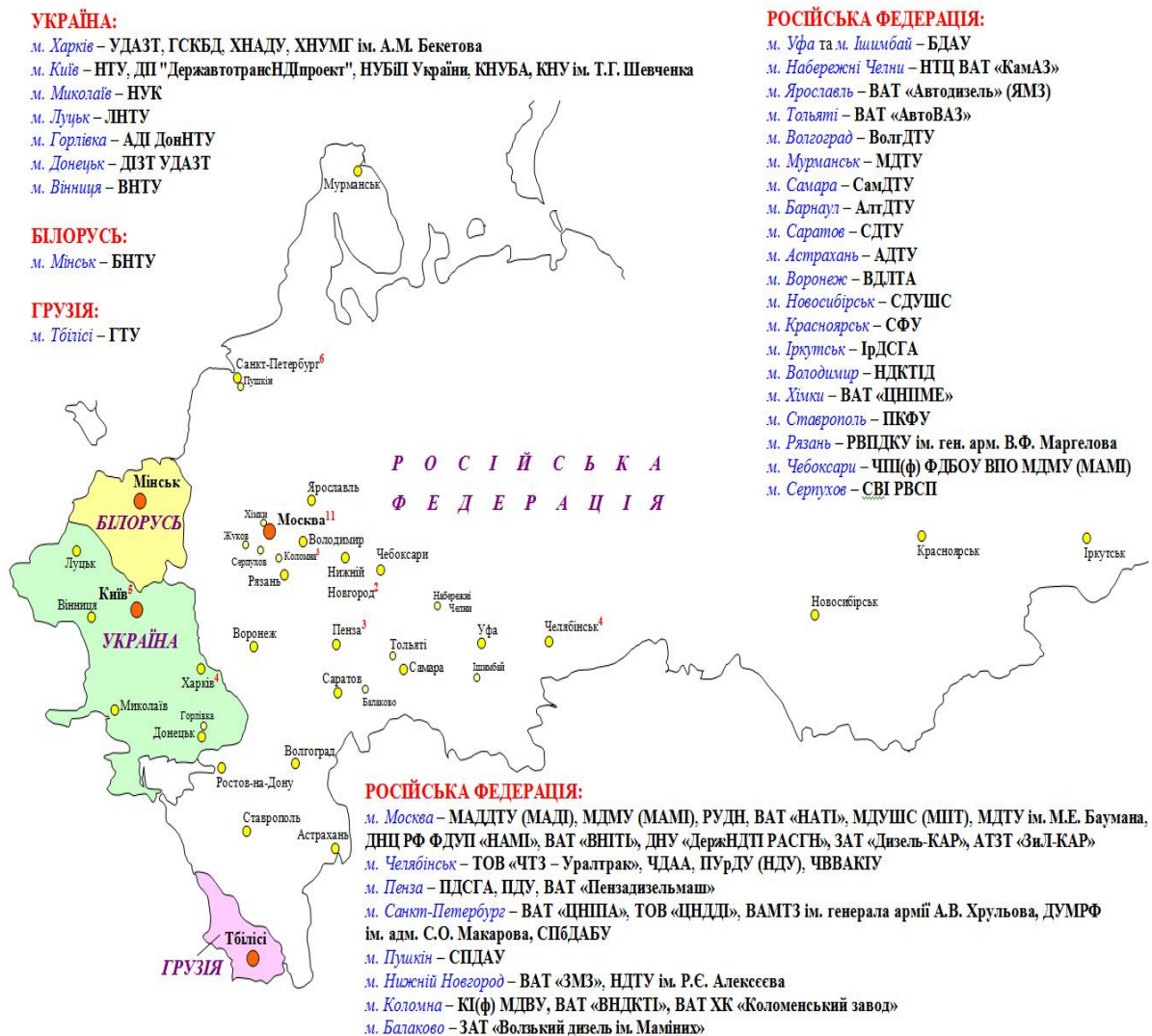


Рис. 2. Географія експериментальних, теоретичних і патентних досліджень методу покращення експлуатаційної паливної економічності та зниження шкідливих викидів багаточиліндрових ДВЗ шляхом регулювання потужності відключенням чиліндрів і циклів в країнах СНД

Загальну динаміку публікацій, присвячених методу деактивації чиліндрів у ДВЗ, представлено на рис. 3. Хоча автор даної статті не претендує на абсолютну висчерпність даних, але аналіз рис. 3 дає підстави зробити висновок, що науковий інтерес до даного методу покращення економічних і екологічних показників роботи ДВЗ з часом значно зростає. Деяке падіння на графіку в 2013, 2014 і особливо 2015 р. можна пояснити затримкою в надходженні інформації та її опрацюванні.

Кількість публікацій

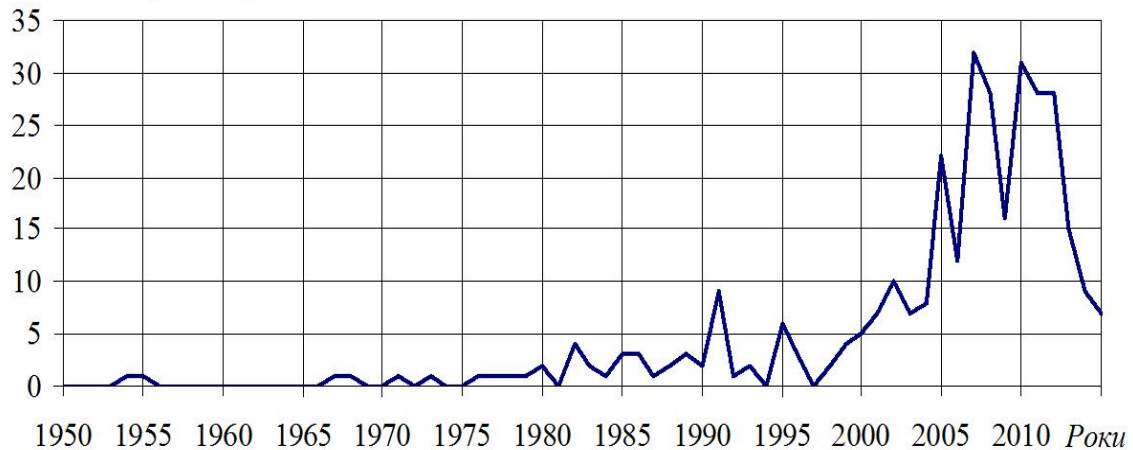


Рис. 3. Загальна динаміка публікацій,
присвячених методу деактивації циліндрів у ДВЗ

У роботах [1-8, 12 та багато ін.] вивчалися як найпростіші способи відключення циліндрів – припиненням подачі палива, так і більш складні: поряд із припиненням подачі палива здійснювалось примусове закриття або відкриття клапанів цих циліндрів і живлення непрацюючих циліндрів відпрацьованими газами працюючих.

В період з 1970-х років до теперішнього часу науковцями Росії і України було виконано ряд дисертаційних досліджень, спрямованих на вивчення доцільності застосування відключення циліндрів і циклів у ДВЗ. Всього станом на початок 2015 р. в СРСР і країнах СНД захищено 49 дисертаційних робіт, які більшою чи меншою мірою стосувалися дослідження даного методу, з яких – 11 докторські дисертації.

В країнах далекого зарубіжжя подібні дослідження виконували такі вчені, як Bemman Y.-J., Bowles P., Batteh J., Douglas K.J., Falkowski A., McElwee M., Bonne M., Fukui T., Howard G., Jost K., Kreuter P., Leone T.G., Pozar M., Moskwa J., Mangun D., Lemke A., Lahti J., Pischinger M., Sandford H., Allen J., Tudor R., Vinodh B., Univ A., Watanabe E., Fueutani I., Zheng Q., Zmudka Z., Postrzednik S., Ciesiolkiewicz A., Zammit J.P., McGhee M.J., Shayler P.J., Zammit J.-P., McGhee M.J., Shayler P.J., Pegg I., Mo H., Huang Y., Mao X., Zhuo B., Yang J., Quan L., Yang Y., Xin Q. (H.), Manna S., Foudzisava Hideya, Bergman N., Netman R., Sougasava F., Camleytner E., Sanaca Y. та інші.

Практично у всіх роботах було доведено можливість покращення експлуатаційної паливної економічності в межах 3...25 % залежно від способів і засобів реалізації методів з одночасним покращенням екологічних показників. На режимі холостого ходу економія палива сягала в окремих випадках 45 %.

Доцільність застосування цього методу на багатоциліндрових автомобільних бензинових двигунах підтверджується також тим, що з

початку 80-х років минулого сторіччя такі провідні автомобілебудівні фірми світу, як Cadillac, General Motors, Mercedes-Benz, Honda, Toyota, Chrysler, Audi, Volkswagen та інші застосовують системи відключення циліндрів на серійних автомобілях, причому дві останні – навіть на 4-циліндрових двигунах невеликого об'єму (1,4 л) та потужності (103 кВт) [7].

В більшості випадків, це системи відключення груп (як правило, половини) циліндрів на серійних легкових автомобілях з V-подібними багатоциліндровими бензиновими двигунами. Зокрема це системи: Active Cylinder Control (ACC) фірм Daimler AG і Mercedes-Benz; Active Fuel Management (AFM) і Displacement on Demand (D.O.D.) фірми General Motors; Dynamic Skip Fire (DSF) фірми GMC і Tula Technology; Variable Cylinder Management (VCM) фірми Honda; Cylinder on Demand System (CDS) фірми Audi; Multi-Displacement System (MDS) фірми Chrysler; Active Cylinder Management (ACT) фірми Volkswagen та інші. Відомі також дослідження системи відключення циліндрів з припиненням руху поршнів у трициліндровому двигуні з можливістю зміни ступеню стиснення Scalzo Piston Deactivation 3-cylinder Engine PDE with Variable Compression Ratio.

Вище зазначена інформація 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, через що він і застосовується в серійному виробництві.

Метод регулювання потужності відключенням окремих робочих циклів вперше був запропонований в 1966 р. проф. Андрусенком П.І. [3] і детально досліджений в НТУ проф. Філіпповим А.З. [4] відносно багатоциліндрових бензинових поршневих та роторно-поршневих двигунів. Відносно дизелів, даний метод досліджувався в НУБіП України [5] і НУК імені адмірала Макарова [6], але він потребує більш поглибленого вивчення, що обумовлено широким застосуванням останнім часом акумуляторних систем паливоподачі, які значно спрощують питання реалізації методу на практиці.

Сутність цього методу полягає в тому, що зміна навантаження здійснюється зменшенням (або збільшенням) кількості навантажувальних робочих циклів шляхом припинення подачі палива в циліндри двигуна.

Пошукові дослідження відносно дизелів, що проводились протягом понад 15 років і охопили понад 5000 джерел інформації показали, що за винятком тракторів Т-100М з двигуном Д-108 [9, с. 95-102] і Т-130М з двигуном Д-160 [10, с. 54-58] та автомобіля IFA W50LA з двигуном 4VD 14,5/12-1SRW [11] (див. рис. 4), в серійному виробництві метод відключення циліндрів не застосовувався. Слід відмітити,

що на зазначених вище машинах даний метод застосовувався, в основному, з метою зменшення закоксування розпилювачів форсунок на холостому ході, а також для зниження витрати палива на цьому режимі.

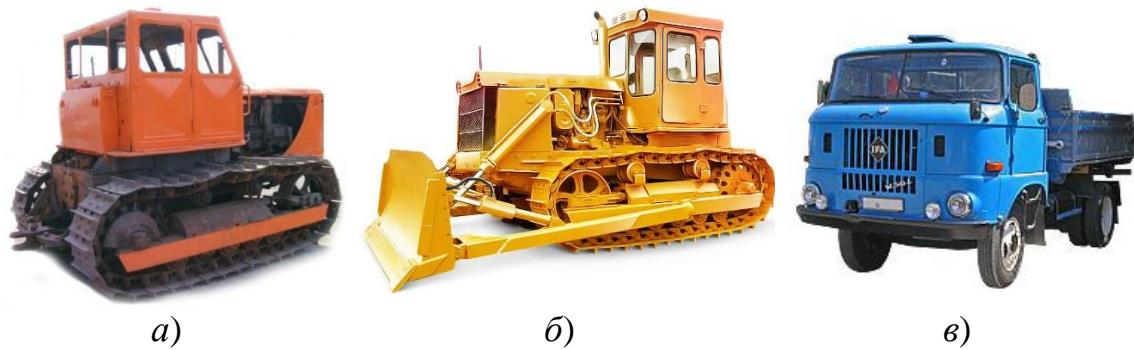


Рис. 4. Серійні машини, на яких застосовувався метод відключення половини циліндрів при роботі двигуна на режимі холостого ходу: а) трактор Т-100М; б) трактор Т-130М; в) автомобіль IFA W50LA

Стрімкий розвиток систем живлення і механізмів газорозподілу [8] створює широкі можливості для реалізації методу відключення окремих робочих циклів без внесення значних змін у конструкції двигунів. Забезпечити оптимальні параметри робочого процесу в цих умовах практично не можливо при застосуванні традиційних систем і механізмів. Проте, застосовуючи метод відключення окремих робочих циклів, який у порівнянні з методом відключення циліндрів має ряд суттєвих переваг, в поєднанні з акумуляторною системою паливоподачі типу Common Rail та альтернативними газорозподільними механізмами, можна забезпечити найоптимальніші параметри робочого циклу дизеля, а регулювання його потужності при цьому здійснювати не зміною кількості впорскуваного в циліндр палива, а зміною частоти робочих циклів.

Висновки. Таким чином, не дивлячись на тривалий період досліджень і велику кількість наукових публікацій по проблемі відключення циліндрів у ДВЗ, на сьогоднішній день залишається ряд питань, які потребують більш глибокого вивчення. Насамперед, це питання доцільності застосування методу відключення окремих робочих циклів на багатоциліндрових дизельних ДВЗ, обладнаних акумуляторними системами паливоподачі типу Common Rail і альтернативними механізмами газорозподілу, що дозволяють реалізувати синхронне припинення процесів газообміну, питання доцільності застосування даного методу на тракторах у складі МТА і особливо самохідних лісових машинах (харвестерах, форвардерах, процесорах, скідерах і т.п.), вивчення впливу обох методів на зміну показників ресурсу ДВЗ і його вібрації, що, як відомо, є одним

з недоліків цих методів [4, 5, 12] та інші важливі для практики питання.

Література:

1. *Мищенко Н.И.* Автомобильные двигатели с отключением цилиндров. Конструкции, анализ / *Н.И. Мищенко* [и др.] // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Вип. 122. – Севастополь, 2011. – С. 163-166.

2. *Патрахальцев Н.Н.* Изменение числа работающих цилиндров дизеля – вариант повышения экономичности его режимов малых нагрузок / *Н.Н. Патрахальцев* [и др.] // Автомобильная промышленность, 2012. – №2. – С. 11-13.

3. *Андрусенко П.И.* Теория и исследование новой системы топливоподачи для тракторных двигателей: Дис... д-ра техн. наук / *П.И. Андрусенко*. – К., 1954.

4. *Филиппов А.З.* Повышение экономических и экологических показателей ДВЗ отключением отдельных рабочих циклов: Дис... д-ра техн. наук: 05.04.02 / *А.З. Филиппов*. – К., 1996. – 460 с.

5. *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 / *О.А. Бешун*. – К., 2006. – 282 с.

6. *Мошенцев Ю.Л.* Моделирование рабочего цикла дизельного двигателя с системой периодического отключения работы цилиндров [Электронный ресурс] / *Ю.Л. Мошенцев* // Электронне видання «Вісник НУК», 2012. – №3-4. – С. 77-83. – Режим доступу: <http://jn.nuos.edu.ua/ru/material;jsessionid=79a4c4fde4d12eec05ac806e08ca?Publication Id=19068> .

7. Программа самообучения 510 (Volkswagen): Система отключения цилиндров (АСТ) на двигателе 1,4 л 103 кВт TSI: Устройство и принцип действия [Электронный ресурс]. – Б. г. – 34 с. – Режим доступу: http://vwts.ru/engine/cpta/pp510_syst_otkl_cyl_act_1_4_tsi_cpty_rus.pdf.

8. *Балабин В.Н.* Научные основы создания регулируемых приводов газораспределения локомотивных двигателей внутреннего сгорания нового поколения: Дис... д-ра техн. наук: 05.02.02 / *В.Н. Балабин*. – М., 2010. – 292 с.

9. *Лазарев А.А.* Двигатели Д-108 и КДМ-100 / *А.А. Лазарев, М.А. Ефимов*. – М.: Машиностроение, 1971. – 300 с.

10. *Злотник М.И.* Трактор Т-130М / *М.И. Злотник* [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 200 с.

11. *Степанов В.* IFA W50L: предшественники и потомки [Электронный ресурс] / *В. Степанов* // Грузовик Пресс. – 2008. – №1. – Режим доступу: <http://www.gruzovikpress.ru/article/2313-ifa-w50l-predshestvenniki-i-potomki> .

12. *Peters G.* Cylinder deactivation on 4-cylinder engines. A torsional vibration analysis : DCT 2007-11 [Електронний ресурс] / *G. Peters*; Eindhoven University of Technology. - February 15, 2007. – VII; 75 p. – Режим доступу: <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/7849.pdf> .

ДЕАКТИВАЦИЯ ЦИЛИНДРОВ В ДВИГАТЕЛЯХ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Бешун А.А.

Аннотация – рассмотрены исторические аспекты развития метода отключения цилиндров и циклов в двигателях внутреннего сгорания, а также проблемы и перспективы применения данного метода в многоцилиндровых дизельных двигателях с целью улучшения их экономических и экологических показателей на режимах малых нагрузок и холостого хода.

CYLINDER DEACTIVATION IN ENGINES: HISTORY OF THE DEVELOPMENT, PROBLEMS AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION

O. Beshune

Summary

A paper considers historical aspects of the development of a method of the cylinder deactivation and separate working cycle switching-off in internal combustion engines, also problems and prospects of application of this method in multicylinder diesel engines for improvements of economical and ecological parameters on small loading and idling modes.