

В. О. ПИЛЬОВ, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;
О. М. КЛИМЕНКО, асп. НТУ «ХПІ»

ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСНОЇ МІЦНОСТІ ПОРШНЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЙОГО МАСЛЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

Проаналізовано можливості підвищення ресурсної міцності поршня автотракторного дизеля на основі застосування систем автоматичного регулювання його теплового стану. Розглянуто керування тепловим станом поршня за рахунок регулювання витрати масла через масляну галерею. За керуючий параметр при цьому прийнято температуру поршня; при цьому інтенсифікація масляного охолодження поршня здійснюється при досягненні критичної величини температури в одній з критичних зон (зони кромки камери згоряння, масляної галереї та верхнього поршневого кільця). Отримано залежності температур критичних зон поршня від рівня форсування двигуна при варіюванні коефіцієнта тепловіддачі від стінки масляної галереї в масло. Оцінено ресурсну міцність поршня при багатоступеневому регулюванні його теплового стану в порівнянні з традиційним масляним охолодженням поршня.

Ключові слова: ресурсна міцність, галерейне масляне охолодження, коефіцієнт тепловіддачі, накопичені пошкодження, регулювання.

Вступ. Сучасний стан розвитку двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) передбачає високий рівень їхньої ефективності, який досягається шляхом зростання абсолютної та питомої потужності останніх. Це призводить до підвищення навантаження на деталі камери згоряння (КЗ) та зумовлює погіршення показників надійності ДВЗ.

Однією з найбільш теплонапружених деталей КЗ ДВЗ являється поршень, ресурсна міцність якого обумовлена наступними факторами [1 – 4]:

- малоциклова термічна втома, яка визначається наявністю перехідних процесів аперіодичного навантаження двигуна;
- багатоциклова термічна втома, що обумовлена високочастотною періодичною зміною значень параметрів робочого тіла в циліндрі;
- процес повзучості матеріалу, який має місце на стаціонарних режимах та прискорюється внаслідок циклічного аперіодичного навантаження двигуна;
- релаксація термопружних напружень, що супроводжує процес повзучості за умов обмежень деформацій останньої.

Масляне охолодження широко застосовується для зниження температурного навантаження на поршень, що в свою чергу впливає на перераховані вище фактори, й тим самим покращує ресурсну міцність поршня [5].

Однак, масляне охолодження разом перевагами має і ряд недоліків. Основний з них – переохолодження поршнів при неномінальних навантаженнях, що може привести до погіршення сумішоутворення і збільшення відносних теплових втрат [6]. Крім того, надмірне охолодження поршня на часткових режимах призводить до зростання амплітуд перепадів

температур при скиданні або накиданні навантаження, що в значній мірі знижує надійність та довговічність поршня [7 – 9].

Тому актуальною є задача регулювання теплового стану поршнів (ТСП) високофорсованих дизелів в умовах експлуатації.

Дослідження процесу регулювання ТСП та способів його інтенсифікації [7, 9] свідчать про покращення показників паливної економічності та екологічності двигуна, ресурсної міцності поршня при застосуванні його регульованого масляного охолодження. Крім того, на основі аналізу дослідних робіт по керуванню ТСП [6] можна зробити висновки про необхідність підвищення температури поршня на часткових режимах роботи ДВЗ при незміненому рівні його температури на важких режимах.

В роботах [6, 10, 11] пропонується керування ТСП за рахунок регулювання витрати масла через порожнину охолодження поршня за різними керуючими параметрами.

Але ресурсна міцність поршнів при використанні регулювання ТСП практично не досліджувалася.

Метою роботи є оцінка резервів підвищення ресурсної міцності конструкції на основі застосування регульованого масляного охолодження.

Дослідження ефективності застосування автоматичного регулювання ТСП. Дослідження виконано на прикладі поршня дизеля 4ЧН12/14. Внаслідок високої складності та значної тривалості експериментальних випробувань в основу роботи покладено методи математичного моделювання.

Для досягнення заданої мети нами були отримані залежності температур критичних зон поршня (зони кромки КЗ, масляної галереї та верхнього поршневого кільця) від рівня форсування двигуна при варіюванні коефіцієнта тепловіддачі від стінки галереї в масло α_m .

Попередня робота в цьому напрямку [12] передбачала 2 рівні α_m ($\alpha_m = 0,5 \text{ кВт/м}^2\text{К}$ та $\alpha_m = 4 \text{ кВт/м}^2\text{К}$). Дослідження ТСП тракторного дизеля при його форсуванні до 30 кВт/л при цьому виявило зниження максимального теплоперепаду по кромці КЗ в перехідному процесі накидання навантаження на 47 °С та зменшення величин накопичених пошкоджень на 8%.

В даній роботі нами оцінюється ресурсна міцність поршня при багатоступеневій зміні α_m ($\alpha_m = 0,5 \div 6 \text{ кВт/м}^2\text{К}$). Температура масла має лінійну залежність від літрової потужності двигуна та складає: на номінальному режимі $t_m = 110 \text{ °С}$, а на режимі, близькому до холостого ходу, $t_m = 80 \text{ °С}$.

Перехід на більш високий коефіцієнт тепловіддачі у галереї здійснюється тільки тоді, коли температура масла в одній з розглянутих критичних зон досягне критичної величини $t_m = 240 \text{ °С}$.

Розрахунки проведені з використанням методу скінчених елементів із застосуванням геометричної моделі поршня. Граничні умови для

моделювання ТСП отримані шляхом ідентифікації даних, отриманих експериментально.

Вищевказані залежності подано на рис. 1. та рис. 2.

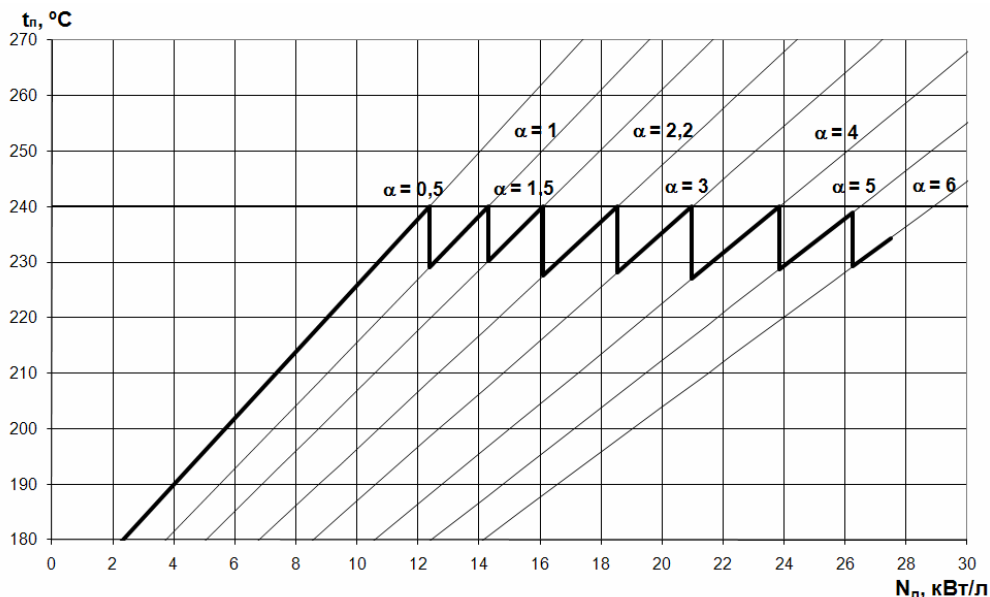


Рис. 1 – Залежність температури в зоні кільцевої галереї від рівня форсування двигуна

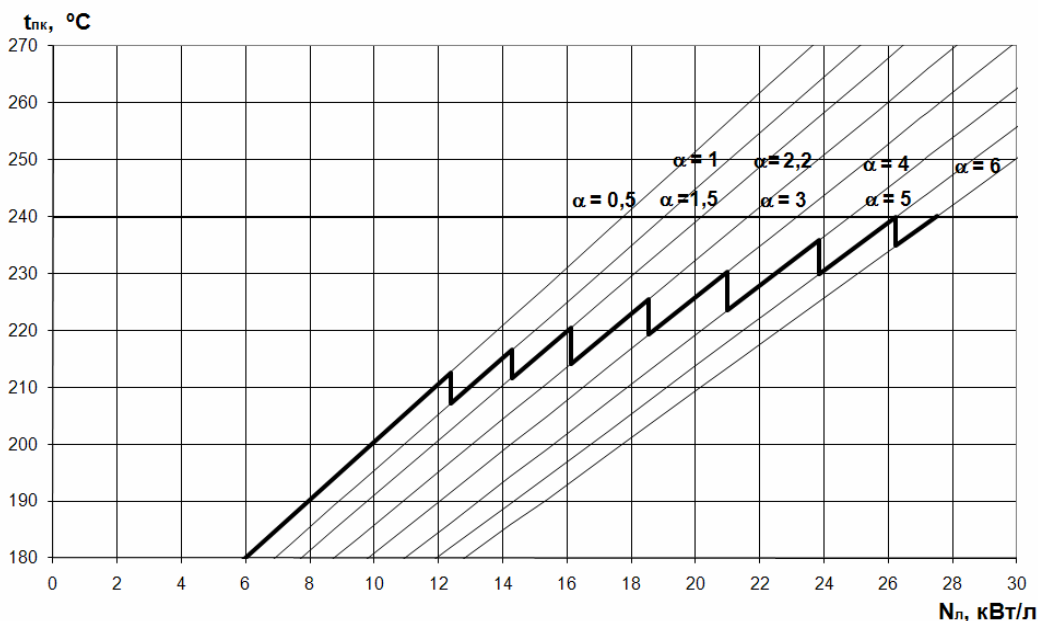


Рис. 2 – Залежність температури в зоні верхнього поршневого кільця від рівня форсування двигуна

З рисунків видно, що до рівня форсування двигуна $N_n = 26$ кВт/л, критичною зоною виступала кільцева галерея, а після – зона верхнього поршневого кільця.

Враховуючи ці обмеження залежність температурного стану кромки КЗ від рівня форсування двигуна наведено на рис. 3.

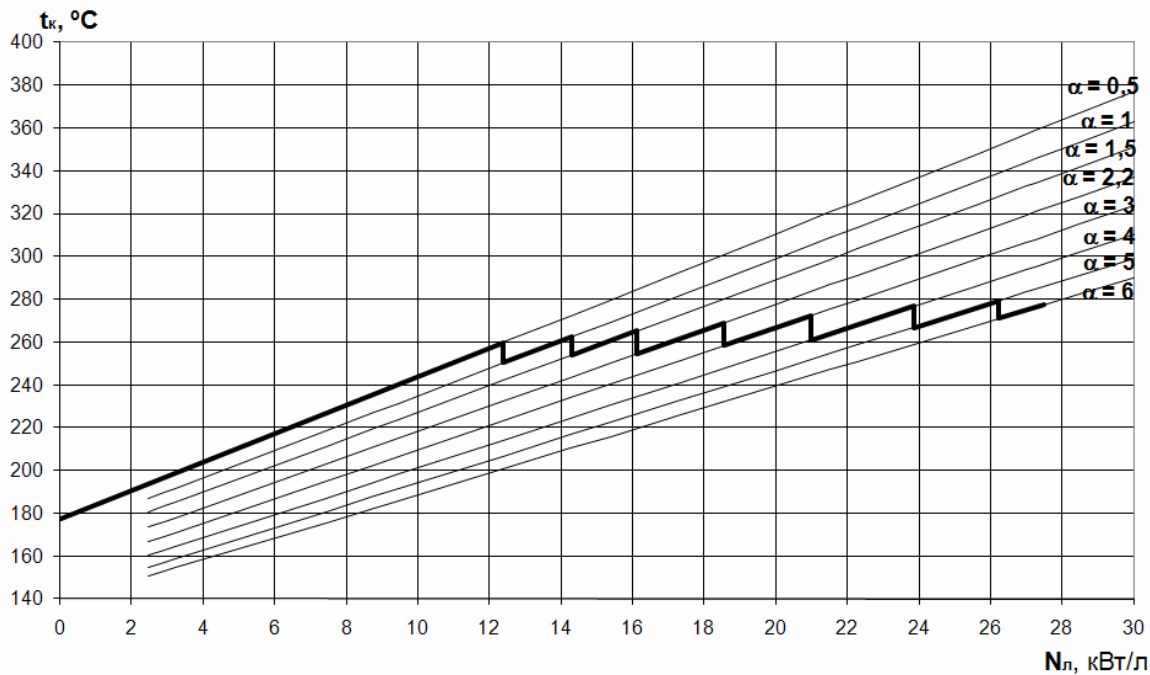


Рис. 3 – Залежність температурного стану кромки КЗ від рівня форсування двигуна

Розрахунки ТСП показують, що за відсутністю масляного охолодження в розглянутому діапазоні навантаження перепад температур по кромці КЗ складав би 170°C , при $\alpha_m = 2,2 \text{ кВт/м}^2\text{К}$ цей перепад зменшиться до 150°C . При інтенсивному охолодженні в галереї $\alpha_m = 6 \text{ кВт/м}^2\text{К}$ перепад би склав 130°C при зменшенні максимальної температури поршня. При запропонованому регульованому охолодженні перепад температури зменшується до 90°C при додатковому зростанні мінімальної температури. При цьому на режимах навантаження, що перевищують величину $N_{л} = 12 \text{ кВт/л}$ перепад температури в зоні кромки КЗ складає всього 20°C . Ці дані дозволяють прогнозувати підвищення ресурсної міцності конструкції при застосуванні системи автоматизованого регулювання (САР) ТСП.

З урахуванням отриманих результатів проведено оцінку ресурсної міцності поршнів за методикою [4], в ході чого поршень з традиційним галерейним масляним охолодження ($\alpha_m = 2,2 \text{ кВт/м}^2\text{К}$) порівнювався з наступними варіантами:

- галерейне масляне охолодження з САР ТСП ($\alpha_m = 0,5 \dots 2,2 \text{ кВт/м}^2\text{К}$);
- інтенсифіковане галерейне масляне охолодження ($\alpha_m = 4 \text{ кВт/м}^2\text{К}$);
- інтенсифіковане галерейне масляне охолодження з САР ТСП ($\alpha_m = 0,5 \dots 4 \text{ кВт/м}^2\text{К}$);
- інтенсифіковане галерейне масляне охолодження ($\alpha_m = 5 \text{ кВт/м}^2\text{К}$);
- інтенсифіковане галерейне масляне охолодження з САР ТСП ($\alpha_m = 0,5 \dots 5 \text{ кВт/м}^2\text{К}$).

Порівняння виконувалось для двигуна трактора сільськогосподарського призначення (модель експлуатації прийнято за даними [13]). Усі цикли навантаження поршня приймалися 6 хв. Результати розрахунків для розрахункової бази 10000 годин подано на рисунку 4.

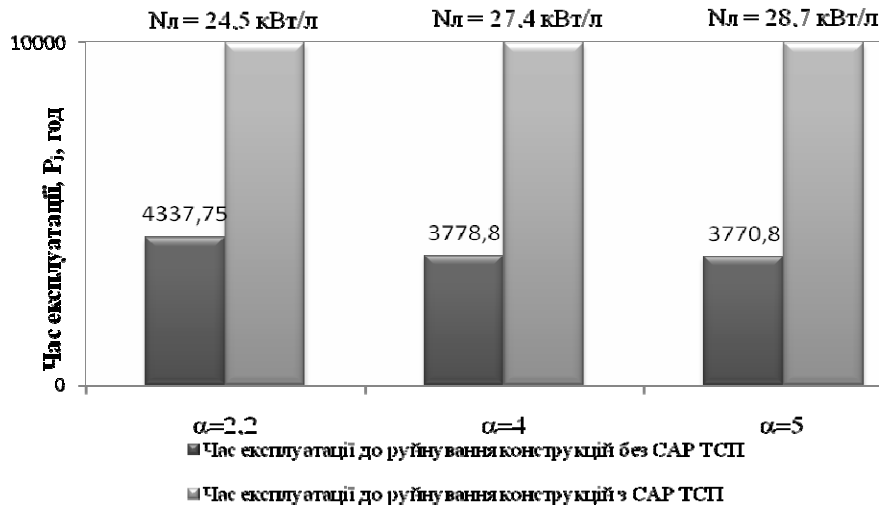


Рис. 4. Час експлуатації поршнів до руйнування

На рис. 4 видно, що, згідно розрахунків, застосування регульованого масляного охолодження поршня може забезпечити значне зростання ресурсу поршня (до 164,6 % при $\alpha_m = 4$ кВт/м²К) при високих рівнях форсування двигуна.

Висновки. Отримані результати свідчать про можливість застосувати САР температурного стану поршня, що забезпечує підвищення ресурсної міцності кромки КЗ поршня в експлуатації. При цьому надійна робота інших критичних зон поршня теж забезпечується використанням САР ТСП

У зв'язку з отриманими результатами подальший напрям робіт пов'язаний з урахуванням динаміки прогріву поршня та частоти змін експлуатаційних режимів навантаження дизеля, оптимізації положення масляної галереї в поршні.

Список літератури. 1. Чайнов Н. Д. Оценка усталостной долговечности поршня транспортного дизеля при циклическом нагружении / Н. Д. Чайнов, А. В. Тимохин, А. Б. Иванченко // Двигателестроение : –1991.– №11.– С. 14-15. 2. Чайнов Н. Д. Оценка долговечности поршней с учетом ползучести и усталости / Н. Д. Чайнов, А. В. Тимохин, А. А. Сущинин // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. – 1993. С.95-104. 3. Абрамчук Ф. И. Основы повышения термоусталостной и длительной прочности поршней быстроходных форсированных дизелей : Дис. докт. техн. наук : 05.04.02 Харьков, 1990. – 317 с. 4. Пильов В. О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності : Монографія. – Харків : Видавничий центр НТУ «ХПІ». : 2001. – 332 с. 5. Чайнов М. Д. Вплив масляного охолодження на тепловий стан поршнів ДВЗ / М. Д. Чайнов, Л. Л. Мягков, А. В. Кареньков // Двигуни внутрішнього згорання. – 2005. – № 2. – С. 66-70. 6. Минак А. Ф. Улучшение показателей форсированного тракторного дизеля путем регулирования масляного охлаждения поршней : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.04.02 Харьков, 1982. – 21с. 7. Розенблит Г. Б. Теплопередача в дизелях / Г. Б. Розенблит. – М. :

Машиностроение, 1977. – 216 с. **8. Матвеев В. В.** Влияние регулируемого струйного масляного охлаждения поршня на ресурсную прочность кромки его камеры сгорания / В. В. Матвеев, В. Т. Турчин, В. А. Пылев, В. Т. Коваленко, С. В. Обозный, И. А. Нестеренко // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів». - Харків : НТУ «ХПІ». – 2011. №21. – С. 29-33. **9. Hidehiko Kajiwara** An analytical approach for prediction of piston temperature distribution in diesel engines / Hidehiko Kajiwara, Yukihiro Fujioka, Tatsuya Suzuki, Hideo Negishi // – 2002. №23. – p. 429 – 434. **10.** Пат. 2174612 РФ, МПК R01M1/00. Смазочная система двигателя внутреннего сгорания / Ильин Б. В., Кремнев Ю. К. – №2000112819/06; Заявл. 24.05.2000; Опубл. 10.10.2001 – 4с. **11.** А.с. 1382982 СССР, МКИ R 02R3/22, A 0133/10. Двигатель внутреннего сгорания с масляным охлаждением поршней / Косырев С. П.; Машиностроительный завод им. Дзержинского. - № 3971675/25-06 : заявл. 30.10.85; опубл. в Б.И.,1988, Бюл. № 11. **12. Матвеев В. В.** Оценка влияния двухступенчатого масляного охлаждения поршня на его ресурсную прочность / В. В. Матвеев, В. А. Пылев, В. Т. Коваленко, И. А. Нестеренко // Решения энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе : науч-техн. конф. 5 - е Луканинские чтения, 14 марта, 2011 г. : тезисы докл. - М. : МАДИ, 2011. - С. 137. **13. Азиппо Н. А.** Прогнозирование долговечности подшипников скольжения тракторных двигателей на стадии их проектирования / Н. А. Азиппо, Б. К. Балюк // Двигателестроение. – 1985. – №8. – С. 17 – 20.

Bibliography (transliterated): **1. Chajnov N. D.** Ocenka ustalostnoj dolgovechnosti porshnja transportnogo dizelja pri ciklicheskom nagruženii / N. D. Chajnov, A. V. Timohin, A. B. Ivanchenko // Dvigatelistroenie.: – 1991. – №11.– S. 14-15. **2. Chajnov N. D.** Ocenka dolgovechnosti porshnej s uchetom polzuchesti i ustalosti / N. D. Chajnov, A. V. Timohin, A. A. Sushhinin // Vestnik MGTU. Ser. Mashinostroenie. – 1993. S.95-104. **3. Abramchuk F. I.** Osnovy povyshenija termoustalostnoj i dlitelnoj prochnosti porshnej bystrohodnyh forsirovannyh dizeljev: Dis. dokt. tehn. nauk: 05.04.02 Harkov, 1990. – 317 s. **4. Pilov V. O.** Avtomatizovane proektuvannja porshniv shvidkohidnih dizeliv iz zadanim rivnem trivaloi micnosti: Monografija. – Harkiv: Vidavnichij centr NTU «HPI».; 2001. – 332 s. **5. Chajnov M. D.** Vpliv masljanogo oholozhennja na teplovij stan porshniv DVZ / M. D. Chajnov, L. L. Mjagkov, A. V. Karenkov // Dviguni vnutrishnogo zgorjannja. – 2005. – № 2. – S. 66-70. **6. Minak A. F.** Uluchshenie pokazatelej forsirovannogo traktornogo dizelja putem regulirovanija masljanogo ohlazhdenija porshnej: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.04.02 Harkov, 1982. – 21s. **7. Rozenblit G. B.** Teploperedacha v dizeljah / G. B. Rozenblit. – M. : Mashinostroenie, 1977. – 216 s. **8. Matveenko V. V.** Vlijanie reguliruемого strujnogo masljanogo ohlazhdenija porshnja na resursnuju prochnost kromki ego kamery sgoranija / V. V. Matveenko, V. T. Turchin, V. A. Pylev, V. T. Kovalenko, S. V. Oboznyj, I. A. Nesterenko // Visnik nacionalnogo tehničnogo universitetu «Harkivskij politehničnij institut». Zbirnik naukovih prac. Tematichnij vipusk «Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv». - Harkiv: NTU «HPI». – 2011. №21. – S. 29-33. **9. Hidehiko Kajiwara** An analytical approach for prediction of piston temperature distribution in diesel engines / Hidehiko Kajiwara, Yukihiro Fujioka, Tatsuya Suzuki, Hideo Negishi // – 2002. №23. – p. 429–434. **10.** Pat. 2174612 RF, MPK R01M1/00. Смазочная система двигателя внутреннего сгорания / Ilin B. V., Kremnev Ju. K. - №2000112819/06; Заявл. 24.05.2000; Опубл. 10.10.2001 -4с. **11.** А.с. 1382982 SSSR, МКИ R 02RZ/22, A 0133/10. Двигатель внутреннего сгорания с масляным охлаждением поршней / Kosyrev S. P.; Машиностроительный завод им. Дзержинского. - № 3971675/25-06: заявл. 30.10.85; опубл. в Б.И.,1988, Бюл. № 11. **12. Matveenko V. V.** Оценка влияния двухступенчатого масляного охлаждения поршня на его ресурсную прочность / V. V. Matveenko, V. A. Pylev, V. T. Kovalenko, I. A. Nesterenko // Решения энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе: науч-техн. конф. 5 - е Луканинские чтения, 14 марта, 2011 г.: тезисы докл. - М.:МАДИ, 2011. -С. 137. **13. Azhippo N. A.** Прогнозирование долговечности подшипников скольжения тракторных двигателей на стадии их проектирования / N. A. Azhippo, B. K. Baljuk // Dvigatelistroenie. - 1985. - №8. - S. 17-20.

Надійшла (received) 27.03.2014