

І. Г. ПОЖИДАЄВ, асп. НТУ «ХП»;

А. О. ПРОХОРЕНКО, д-р. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

ПРОЕКТУВАННЯ ПНВТ ДЛЯ АКУМУЛЯТОРНОЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ МАЛОЛІТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ НА БАЗІ ПАЛИВНОГО НАСОСА ДВИГУНА 2ДТ

З метою виконання жорстких вимог екологічності, яким повинен відповідати сучасний дизель вітчизняного виробництва, його необхідно оснастити акумуляторною паливною системою типу Common Rail. Однією з основних складових такої системи є паливний насос високого тиску, функція якого – нагнітання палива до гідроаккумулятора для підтримки у останньому необхідного для кожного режиму роботи двигуна рівня тиску. У даній роботі представлено конструкцію паливного насоса високого тиску для акумуляторної системи типу Common Rail на базі паливного насоса вітчизняного виробництва дизеля 2ДТ. Вирішено задачу внести ряд конструкційних доопрацювань до існуючого насоса, що зробить раціональним його застосування у складі акумуляторної паливної системи малолітражного дизеля та дозволить зменшити механічні втрати на привід паливного насоса. Наведено спосіб керування електронним регулятором (виконавчим механізмом) спроектованого паливного насоса високого тиску.

Ключові слова: паливний насос високого тиску, акумуляторна паливна система, дизель, регулятор, широтно-імпульсна модуляція.

Вступ. Серед вітчизняних дизельних двигунів, які сьогодні представлені на ринку України, є сімейство малолітражних дизелів на базі двигуна серії ДТА (ЧН8,8/8,2) виробництва КП ХКБД. На протязі багатьох років ведуться роботи по вдосконаленню конструкції, систем, технології виготовлення та підвищенню експлуатаційних характеристик дизелів даної серії [1, 10].

Зважаючи на досягнення іноземних виробників сучасних дизелів, складно не помітити, що велика увага приділяється розробленню та вдосконаленню акумуляторних паливних систем (АПС). Це пов'язано з тим, що параметри та конструктивні особливості паливної апаратури визначають такі важливі показники роботи двигуна, як паливна економічність та токсичність відпрацьованих газів, теплонапруженість деталей, динаміка процесу згоряння, максимальна потужність дизеля та ін. Саме тому суттєве вдосконалення дизеля без забезпечення оптимальних характеристик паливоподачі, є неможливим.

Важливим та складним елементом акумуляторної паливної системи дизеля є паливний насос високого тиску (ПНВТ). Його функція – нагнітання палива до гідроаккумулятора для підтримки у останньому необхідного для кожного режиму роботи двигуна рівня тиску.

Мета та задачі дослідження. Враховуючи вищезазначене метою даної роботи є розроблення конструкції ПНВТ для АПС типу Common Rail на базі паливного насоса вітчизняного виробництва дизеля 2ДТ. Поставлено задачу внести ряд конструкційних доопрацювань до існуючого насоса, що зробить раціональним його застосування у складі АПС малолітражного дизеля.

Вирішення задачі. ПНВТ відноситься до найбільш трудомістких у розробці та дорогих у створенні компонентів акумуляторних систем з

електронним керуванням типу Common Rail (CR). При вирішенні задачі створення та модернізації ПНВТ для АПС типу CR необхідно розв'язати ряд проблем, серед яких [2]:

- забезпечення наповнення плунжерної порожнини на високих частотах;
- забезпечення нерозривності кінематичних зв'язків приводу плунжера;
- забезпечення заданої продуктивності та тиску на усіх розрахункових режимах;
- забезпечення працездатності підшипників втулки ексцентрика;
- забезпечення ресурсу нагнітального клапана та температурних умов роботи ПНВТ.

Важливим параметром роботи насоса є його продуктивність, яку визначають на стадії обрання основних параметрів ПНВТ таким чином [3]:

$$V_{\text{ц}}^{\text{ПНВТ}} = \frac{N_e \cdot q_e \cdot n_{\text{ПНВТ}} \cdot 2}{\rho_T \cdot n \cdot z \cdot 60}, \quad (1)$$

- де N_e – ефективна потужність, кВт;
 q_e – ефективна витрата палива;
 $n_{\text{ПНВТ}}$ – частота обертання валу паливного насоса;
 ρ_T – густина дизельного палива;
 n – частота обертання колінчастого валу дизеля;
 z – кількість циліндрів двигуна.

Також важливим є вибір кількості робочих секцій ПНВТ. При обранні цього параметру необхідно зважати на дані аналізу доцільності застосування кількості секцій ПНВТ [3], які представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз доцільності застосування кількості секцій ПНВТ

Кількість секцій	Переваги	Недоліки
1	+ найбільша надійність клапанів; + зручність відведення палива; + простота ексцентрикового приведення; + жорсткість валу; + найбільший коефіцієнт подачі.	– висока нерівномірність подачі та моменту; – високі навантаження на приведення плунжерів; – вібрації від незрівноваженості.
2	+ надійність клапанів; + простота ексцентрикового приведення;	– нерівномірність подачі та моменту.
3..4	+ рівномірність подачі; + зниження навантажень на приведення плунжерів.	– відсутність уніфікації обертових втулок середніх секцій; – низька загальна надійність; – послаблення валу; – зменшення коефіцієнту подачі.

Використання у якості ПНВТ для систем CR традиційного рядного насоса безпосередньої дії має ряд недоліків серед яких:

- кулачковий привід;
- архаїчний спосіб регулювання продуктивності;

- низька загальна надійність та зайва складність конструкції.

Але треба відмітити, що рядний насос має зручну для компоновки форму, короткі зєднувальні канали, малу кількість стиків, які потребують герметизації у складі лінії високого тиску, можливість використання традиційного обладнання при впровадженні у виробництво. Частину цих переваг має ПНВТ дизельного двигуна 2-ДТ загальний вигляд якого наведено на рис.1. Враховуючи дані табл.1, цей насос має оптимальну кількість секцій - 2.

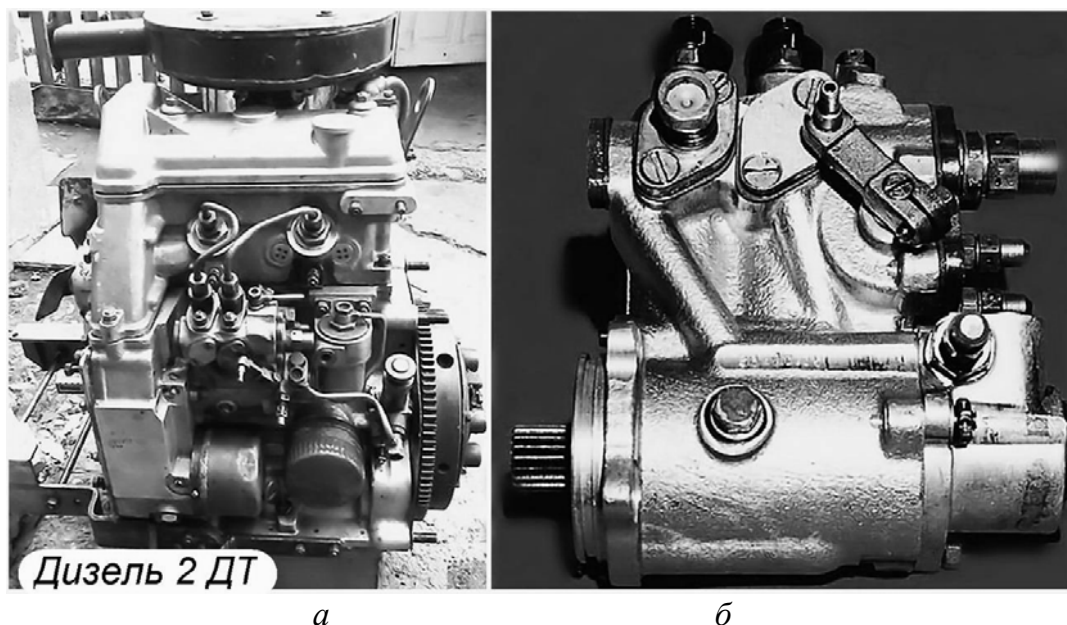


Рис. 1 – ПНВТ дизельного двигуна 2-ДТ:

а – встановлений на двигуні; *б* – загальний вигляд ПНВТ 2ДТ.

Конструктивні особливості розробленого ПНВТ.

Розроблений ПНВТ з електронним регулятором наведено на рис. 2. На відміну від ПНВТ дизеля 2ДТ безпосередньої дії з механічним регулятором у розробленій конструкції насоса рух плунжера 3 забезпечено обертанням ексцентрика 2, який встановлено на валу 1. Цей захід зумовлено рядом переваг, серед яких необхідно відмітити: зменшення кута тиску, зниження максимального контактного напруження та максимального крутного моменту на валу ПНВТ [3]. Крім того, ексцентрик більш технологічний за кулачок.

У якості найбільш навантаженого підшипника втулки ексцентрика може бути використаний підшипник ковзання або голчатий. Використання голчатого підшипника у механізмі приведення плунжера ПНВТ АПС СР має ряд переваг [2]:

- можливість роботи при високих частотах обертання (до 8000 хв^{-1});
- висока радіальна вантажопідйомність при малих розмірах та без використання дорогих матеріалів;
- знижені витрати мастильних матеріалів, простота змащування;

- можливість роботи під час високих навантажень на малих частотах;
- мала чутливість до вязкості мастила;
- простота виготовлення та відносно низька вартість.

Враховуючи зазначені переваги ексцентрик встановлено на валу з використанням голчатих підшипників.

Насосні секції мають дезаксаж, що дозволяє знизити момент, який перекошує плунжер 3 у втулці 4 та як наслідок запобігає його заклиненню.

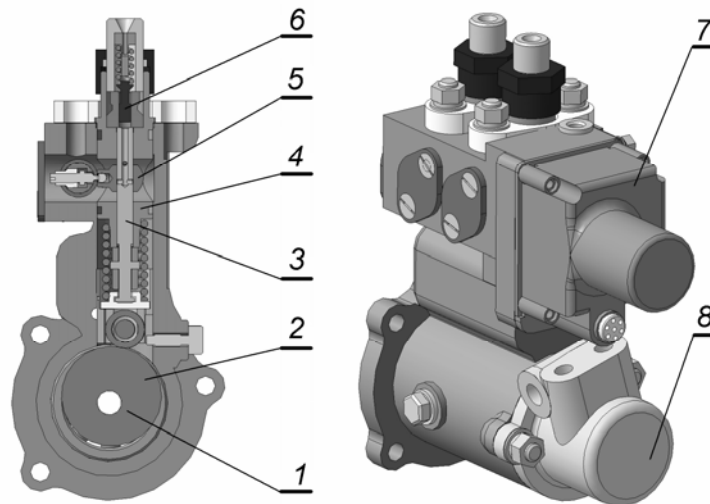


Рис. 2 – Рядний, двосекційний ПНВТ з електронним регулятором для акумуляторної системи малолітражного дизеля: 1 – ексцентриковий вал; 2 – ексцентрик; 3 – плунжер; 4 – втулка плунжера; 5 – дозатор; 6 – нагнітальний клапан; 7 – електронний регулятор; 8 – паливопідкачуючий насос.

У ПНВТ CR використовують різноманітні види нагнітальних клапанів, але в будь якому випадку у їх конструкції поясок розвантаження повинен бути відсутнім. До базової конструкції нагнітальних клапанів ПНВТ 2ДТ входить такий поясок, тому при проектуванні прийнято рішення встановити малогабаритний клапан 6 грибкового типу без пояска розвантаження. Зміна початку нагнітання відбувається за допомогою електронного регулятора 7, який визначає положення дозатора 5.

Регулювання продуктивності ПНВТ відбувається за допомогою зміни початку активного ходу плунжера в залежності від режиму роботи дизеля, це дозволяє знизити втрати на привід ПНВТ [4,5]. На відміну від базової конструкції, насос укомплектовано електронним регулятором, замість механічного. Виконавчий електронний механізм наведено на рис. 3. Його закріплено безпосередньо на корпусі ПНВТ. Керування відбувається за допомогою електронного блока, який отримує сигнали відповідних датчиків, розташованих на дизелі, та опрацьовує їх відповідно до заданої програми.

Величина циклової подачі палива визначається, як і у рядних ПНВТ з механічним регулюванням - положенням рейки насоса. Для визначення переміщення рейки, до складу електронного регулятора включено датчик ходу рейки ПНВТ 5.

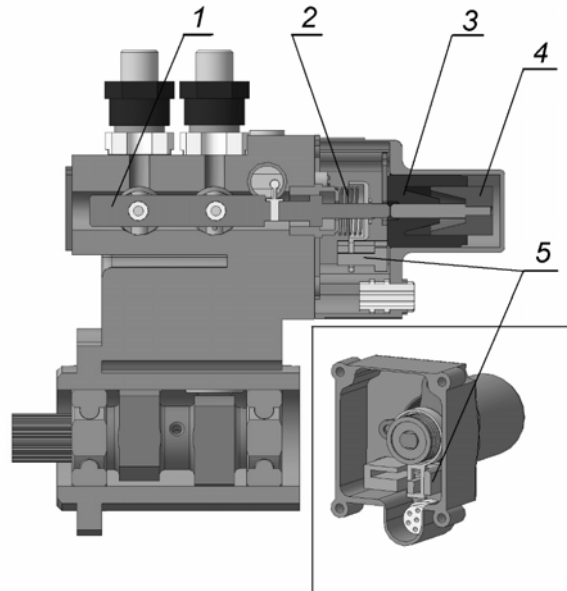


Рис. 3 – Електронний регулятор ПНВТ (виконавчий механізм): 1 – рейка ПНВТ; 2 – пружина регулятора; 3 – електромагніт; 4 – якір; 5 – датчик ходу рейки ПНВТ.

Електромагніт 3 виконавчого механізму при подачі на нього напруги, переміщує якір 4 та долає супротив зворотної пружини регулятора 2. Зі збільшенням сили струму регулювання якір зсуває рейку ПНВТ 1 у напрямку зміни циклової подачі. Таким чином відбувається відповідне встановлення рейки в необхідне положення від нульової до максимальної циклової подачі.

Керування електромагнітом відбувається на основі зміни сигналу широтної імпульсної модуляції (ШІМ). Графік сигналу ШІМ наведено на рис. 4.

Переміщення рейки (x) залежатиме від скважності електричного імпульсу, який подається на котушку електромагніта. Даний процес описується передаточною функцією вигляду:

$$x = \frac{F_{np}}{m \frac{d^2 x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + K}, \quad (2)$$

де F_{np} – приведена (сумарна) сила, прикладена до системи (електромагніту, попередньої зтяжки пружини),

m , C , K – фізичні параметри системи (маса, коефіцієнт дисипації, жорсткість).

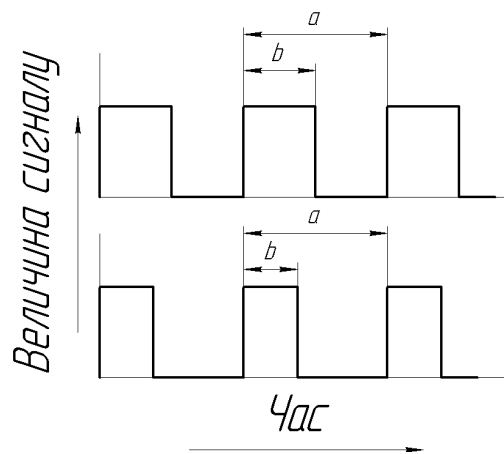


Рис. 4 – Графік сигналу широтної імпульсної модуляції:
а – постійна частота сигналу; b – змінний час включення.

На графіку сигнали сталої частоти зі змінним часом включення мають прямокутну форму. Сила струму при подачі сигналу завжди постійна. Але ефективна сила струму, яка впливає на роботу якоря виконавчого механізму, залежить від співвідношення тривалості включеного та вимкненого стану електромагніта. Менший час включення створює меншу ефективну силу струму, а більший час – більшу. Частота сигналів також впливає на роботу виконавчого механізму. Такий спосіб регулювання зменшує можливі неполадки, особливо при малому струмі. Електромагнітний привід з керуванням по ШІМ має мінімальну інерційність при помірному споживанні енергії та відносно простій конструкції [6,7,9].

Висновки. Результатом роботи є ескізний проект ПНВТ, одна із суттєвих переваг якого - зменшення втрат потужності на привід. Це досягається шляхом введення регулювання його подачі по активному геометричному ходу плунжера. Подальший напрямок роботи пов'язаний з розробленням заходів для проведення випробувань розробленого ПНВТ на безмоторному стенді з метою визначення його основних характеристик та виявлення переваг та недоліків запропонованого зразка.

Список літератури: 1. Грицюк А. В. Совершенствование конструкции топливной системы автотракторного дизеля для улучшения её работы в условиях зимней эксплуатации / В. А. Грицюк, В. Г. Кондратенко, Г. А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. – Х. : ХПИ. 2006. – №1. – С.109-114. 2. Грехов Л. В. Теория и практика проектирования топливного насоса высокого давления для системы Common-Rail / Грехов Л. В., Борисенко Н. Е., Потапов А. И., Малкин А. В., Рогов В. С., Фонов В. В., Миронычев М. А., Павельев В. Н., Ильичев А. Г. // Сб. науч. тр. по матер. Межд. конф. Двигатель-2007, посв. 100-летию школы двигател. МГТУ им. Н.Э. Баумана – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 284-289. 3. Грехов Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344. 4. Прохоренко А. А. Основы подхода к разработке конструкции и принципа управления ТНВД аккумуляторной топливной системы дизеля / Прохоренко А. А.,

Грицюк А. В., Врублевский А. Н., Щербаков Г. А. // Двигатели внутреннего сгорания. – Х. : ХПИ. 2010. – №1. – С.12-17. **5.** Врублевский А. Н. Энергетические затраты на привод ТНВД дизеля с аккумуляторной топливной системой. Врублевский А. Н., Прохоренко А. А., Пожидаев И. Г., Мешков Д. В., Тимченко А. И. // Автомобильный транспорт, сборник научных трудов. – 2012. – № 30. – С. 90-95. **6.** Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. С40 Первое русское издание. – М. : ЗАО «КЖИ «За рулём», 2004. – 480 с. **7.** Грехов Л. В. Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common Rail : Учеб. пособие. М. : Изд-во МГТУ, 2000. – 64 с. **8.** Казачков Р. В. Проектирование топливных систем высокого давления дизелей : учебное пособие / Р. В. Казачков. – Х. : ХГПУ, 1994. – 308 с. **9.** Блинов А. Д. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков / А. Д. Блинов, П. А. Голубев, Ю. Е. Драган и др.; под ред. В. С. Папонова, А. М. Минеева. – М. : НИЦ «Инженер», 2000. — 332 с. **10.** Грицюк А. В. Выбор параметров гидropневмомеханического регулятора автомобильного дизеля для реализации принципа адаптивного управления топливоподачей/ А. В. Грицюк, А. Л. Григорьев, А. Н. Врублевский, С. Б. Сафонов, А. А. Овчинников // Вісник НТУ «ХПІ». Серія : Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – №54 (1027). – С. 87-101.

Bibliography (transliterated): **1.** Gricjuk A. V. Sovershenstvovanie konstrukcii toplivnoj sistemy avtotraktornogo dizelja dlja uluchsheniya ejo raboty v uslovijah zimnej jekspluatacii / V. A. Gricjuk, V. G. Kondratenko, G. A. Shherbakov // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – H. : HPI. 2006. – №1. – S.109-114. **2.** Grehov L. V. Teorija i praktika proektirovanija toplivnogo nasosa vysokogo davlenija dlja sistemy Common-Rail / Grehov L. V., Borisenko N. E., Potapov A. I., Malkin A. V., Rogov V. S., Fonov V. V., Mironychev M. A., Pavelev V. N., Ilichev A. G. // Sb. nauch. tr. po mater. Mezhd. konf. Dvigatel-2007, posv. 100-letiju shkoly dvigatel. MGTU im. N.Je. Baumana – M. : MGTU im. N.Je. Baumana, 2007. – S. 284-289. **3.** Grehov L. V. Toplivnaja apparatura i sistemy upravlenija dizelej / L. V. Grehov, N. A. Ivashhenko, V. A. Markov. – M. : Legion-Avtodata, 2004. – 344. **4.** Prohorenko A. A. Osnovy podhoda k razrabotke konstrukcii i principa upravlenija TNVD akumuljatornoj toplivnoj sistemy dizelja / Prohorenko A. A., Gricjuk A. V., Vrublevskij A. N., Shherbakov G. A. // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – H. : HPI. 2010. – №1. – S.12-17. **5.** Vrublevskij A. N. Jenergeticheskie zatraty na privod TNVD dizelja s akumuljatornoj toplivnoj sistemoj. Vrublevskij A. N., Prohorenko A. A., Pozhidaev I. G., Meshkov D. V., Timchenko A. I. // Avtomobilnyj transport, sbornik nauchnyh trudov. – 2012. – № 30. – С. 90-95. **6.** Sistemy upravlenija dizelnymi dvigateljami. Perevod s nemeckogo. S40 Pervoe russkoe izdanie. – M. : ZAO «KZhI «Za ruljom», 2004. – 480 s. **7.** Grehov L. V. Akkumuljatornye toplivnye sistemy dvigatelej vnutrennego sgoranija tipa Common Rail : Ucheb. posobie. M. : Izd-vo MGTU, 2000. – 64 s. **8.** Kazachkov R. V. Proektirovanie toplivnyh sistem vysokogo davlenija dizelej : uchebnoe posobie / R. V. Kazachkov. – H. : HGPU, 1994. – 308 s. **9.** Blinov A. D. Sovremennye podhody k sozdaniju dizelej dlja legkovykh avtomobilej i malotonnazhnyh gruzovikov / A. D. Blinov, P. A. Golubev, Ju.E. Dragan i dr.; pod red. V. S. Paponova, A. M. Mineeva. – M. : NIC «Inzhener», 2000.– 332s. **10.** Gricjuk A. V. Vybory parametrov gidropnevмомеханического регулятора авtomobilного дизеля длja реализации принципа адаптивного управления топливоподачей / А. В. Грицюк, А. Л. Григорьев, А. Н. Врублевский, С. Б. Сафонов, А. А. Овчинников // Vistnik NTU «HPI». Serija : Matematичне моделювання в техніці та технологіях. – Harkiv : NTU «HPI», 2013. – №54 (1027). – S. 87-101.

Надійшла (received) 20.03.2014