

УДК 656.2

В. Б. Іванов, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Менеджмент», Національний транспортний університет, м. Київ)

В. І. Косенко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ПРИВОДИ ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ

Скорочення витрат енергії на виконання залізничних перевезень забезпечується шляхом оптимізації роботи всіх систем та механізмів локомотивів, зокрема вентиляторів, компресорів, генераторів, насосів гідростатики. На відміну від традиційної технології регулювання приводів допоміжних механізмів за допомогою байпасування, система Voith Flow System регулює роботу механізмів, безпосередньо керуючи продуктивністю масляних насосів, що суттєво скорочує витрати енергії та покращує регулювання системи приводу в цілому.

Ключові слова: допоміжні агрегати, гідростатичні приводи, байпасування, продуктивність масляного насоса, енергоефективні приводи.

Проблема економії енергетичних ресурсів при виконанні залізничних перевезень вимагає уваги не лише до конструкції силового агрегата та трансмісії, але й до всіх систем та механізмів локомотивів, що є споживачами енергії. Значні резерви економії існують в оптимізації роботи приводів вентиляторів системи охолодження, компресорів, генераторів, насосів гідростатики. При цьому приводи допоміжних агрегатів, що використовуються в дизельних локомотивах, повинні відповідати цілій низці вимог, зокрема:

- для вентиляторів охолодження необхідне безступеневе регулювання швидкості, що є адаптованим до заданої температури;
- для компресорів необхідна можливість поєднання короткочасної роботи з тривалими періодами простою;
- генератори вимагають підтримання постійної швидкості обертання за умов коливань рівня споживання енергії.

Забезпечити виконання перерахованих вимог можна при застосуванні ефективних систем регулювання приводів допоміжних механізмів, що пропонують практичні та нескладні в експлуатації рішення.

Традиційно регулювання гідростатичних приводів допоміжних механізмів здійснюється за технологією байпасування, тобто шляхом відкриття або закриття перепускного клапана, що обмежує потік рідини, яку гідронасос постійної чи регульованої продуктивності подає на гідромотор. В приводах вентиляторів швидкість

© Іванов В. Б., Косенко В. І., 2018

обертання змінюється безступенево за рахунок часткового або пропорційного відкриття перепускного клапана.

За повністю закритого клапана використовується весь потік оливи та досягається максимальна швидкість обертання вентилятора. Якщо необхідно зупинити вентилятор, весь потік оливи направляється через перепускний клапан і, таким чином, вся енергія, що витрачається, являє собою прямі втрати. На відміну від вентилятора режим роботи компресора передбачає або постійну швидкість обертання, або повну зупинку. Постійний потік рідини, що подається від гідронасоса до гідромотора, забезпечує встановлення діафрагми відповідного розміру, а відключення компресора досягається за рахунок повного відкриття перепускного клапана. Таким чином як при повному, так і при частковому відкритті перепускного клапана, енергія, що використовується для привода допоміжних механізмів, витрачається нерационально і мають місце значні втрати енергоресурсів. Принципова схема роботи приводів компресора та вентилятора з використанням байпас-технології для регулювання гідромоторів подана на рис. 1.

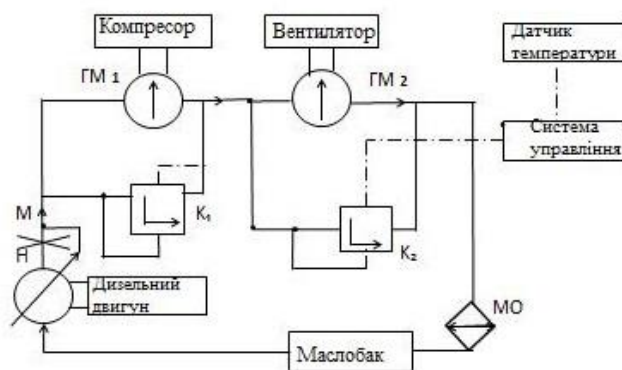


Рис. 1. Принципова схема приводів компресора та вентилятора з регулюванням гідромоторів за допомогою байпасування: Н – поршневий насос змінної продуктивності; М – мембрана, що обмежує подачу масла; ГМ1, ГМ2 – гідромотори приводів компресора та вентилятора; K1, K2 – перепускні клапани в приводах компресора та вентилятора; МО – маслоохолоджувач

Відповідно до схеми, незалежно від зміни швидкості обертання дизельного двигуна, завдяки використанню мембрани поршньовий насос перемінної продуктивності створює постійний потік оливи. У разі зупинки компресора або вентилятора весь потік направляється через перепускний клапан із максимальними втратами енергії на байпасування. При роботі вентилятора з частковим навантаженням потік оливи розподіляється між гідромотором та перепускним клапаном, що також веде до часткової втрати енергії привода.

Якщо замінити регулювання потоку за байпас-технологією на регулювання продуктивності безпосередньо масляних насосів, це забезпечить суттєве скорочення втрат енергії. І хоча, на перший погляд, питома економія не є значною, враховуючи значні обсяги споживання, абсолютні величини скорочення витрат палива є вражаючими, що підтверджує досвід експлуатації системи Voith Flow System та ілюструють наведені

далі розрахунки. Вони виконані на підставі результатів експлуатації локомотива G 2000, з початком виробництва якого Vossloh Locomotives відкрив нову генерацію магістральних дизель-гідролічних локомотивів. Завдяки потужному двигуну в 2240 кВт при 1800 об./хв, локомотив здатний обслуговувати важкі потяги на великих відстанях. Два вентилятори охолоджують воду, що циркулює в системі охолодження дизельного двигуна та гідропередачі. Також два вентилятора меншої потужності охолоджують машинне відділення. Система приводу включає 3 гідронасоси змінної продуктивності, які через карданний вал приєднані до гідропередачі, забезпечуючи потік оливи для приводів вентиляторів, компресора та генератора за допомогою гідромоторів. Виходячи із 20 % економії енергії при використанні Voith Flow System, замість байпас-технології, максимальна потужність, що споживається приводом насоса, зменшиться з 170 кВт до 136 кВт. Питомі витрати палива складають 200 г/кВтг. З урахуванням роботи локомотива 3000 годин на рік економія енергії протягом року складе $34 \text{ кВт} \times 3000 \text{ г} = 102000 \text{ кВтг}$. Річна економія палива – $102000 \text{ кВтг} \times 0,2 \text{ кг/кВтг} = 20400 \text{ кг}$ або 24000 літрів.

Розглядаючи особливості конструкції та принцип дії системи, слід відмітити, що розроблений Voith Turbo гідростатичний привод допоміжних механізмів базується на принципі управління продуктивністю масляного насоса відповідно до потреб гідромотора в обсязі робочої рідини (оливи). Якщо можливості приєднання до вихідного вала дизельного двигуна обмежуються одним механічним приводом, то декілька насосів із змінною продуктивністю комплектуються в одну одиницю. При цьому вони працюють окремо, не впливаючи один на одного. Завдяки безпосередньому регулюванню продуктивності насосів створені компактні і ефективні насосні агрегати, що забезпечують значну гнучкість конструкційних рішень. Незалежно від швидкості дизельного двигуна насос із регульованою продуктивністю забезпечує саме той потік, що необхідний для роботи допоміжних механізмів. При зупинці вентилятора (компресора) насос не подає оливи і не споживає енергію. Принципова схема регульованих приводів компресора та вентилятора на основі управління продуктивністю масляних насосів подана на рис. 2.

Переваги системи управління продуктивністю насосів Voith у порівнянні з байпасуванням полягають, перш за все, у суттєвому підвищенні економічності та значному покращенні регулювання системи приводу в цілому. Величина економії енергії допоміжних агрегатів суттєво залежить від режимів їх роботи. Так для вентиляторів та генераторів, що працюють безперервно, економія енергії досягається у всьому діапазоні навантажень за винятком номінальної швидкості обертання, коли рівень енергоспоживання аналогічний байпас-технології.

На рис. 3 подана залежність витрат енергії, що споживається вентилятором системи охолодження від швидкості обертання. Відомо, що в умовах тягової експлуатації повне охолодження потрібне тільки при максимальній швидкості дизельного двигуна, що має невелику питому вагу в загальній тривалості роботи. В робочій точці, що відповідає 100% швидкості вентилятора, споживання енергії системою Voith і конструкціями, що використовують байпасування, буде однаковим. Навпаки, в найбільш тривалому режимі часткового навантаження вентилятора економія енергії за рахунок використання управління подачею оливи буде максимальною. При використанні системи управління Voith байпасування повністю відсутнє.

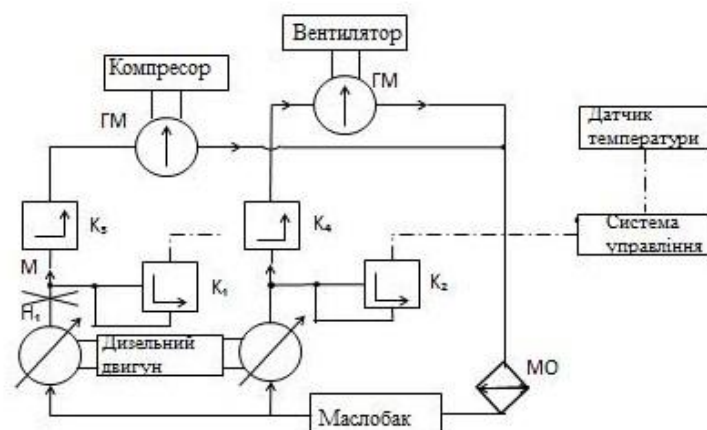


Рис. 2. Принципова схема приводів компресора та вентилятора з регулюванням гідромоторів за допомогою балансування: Н – поршневий насос змінної продуктивності; М – мембрана, що обмежує подачу масла; ГМ1, ГМ2 – гідромотори приводів компресора та вентилятора; К1, К2 – перепускні клапани в приводах компресора та вентилятора; МО – маслоохолоджувач

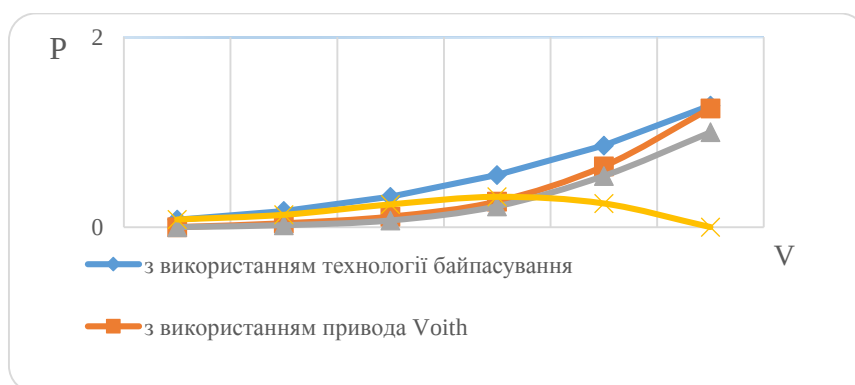


Рис. 3. Залежність потужності Р, що споживається вентилятором, від швидкості V обертання вентилятора при використанні різних технологій регулювання

Якщо порівняти відповідні характеристики витрат енергії за наведених технологій стосовно привода компресора, то слід зауважити, що його режим роботи характеризується короткочасними включеннями та тривалими зупинками. Під час роботи компресора споживання енергії при байпасуванні та при використанні системи Voith практично однакове. Разом з тим, під час тривалих відключень компресора система управління подачею забезпечує значну економію внаслідок відсутності втрат на байпасування.

Додатковою перевагою системи управління Voith є незалежність параметрів роботи системи охолодження від швидкості обертання дизельного двигуна. Ретардери, що достатньо широко використовуються в конструкціях локомотивів, вимагають додаткової охолоджувальної здатності системи для відводу тепла, що генерується при гальмуванні. Найбільша потужність системи охолодження особливо необхідна під час

гальмування на спадаючих градієнтах, коли гідростатичний насос повинен забезпечити 100% продуктивності навіть за умов, коли швидкість дизельного двигуна при цьому значно нища за номінальну. Як подано на рис. 4 при використанні системи Voith досягається значна економія енергії в лінії привода насоса.

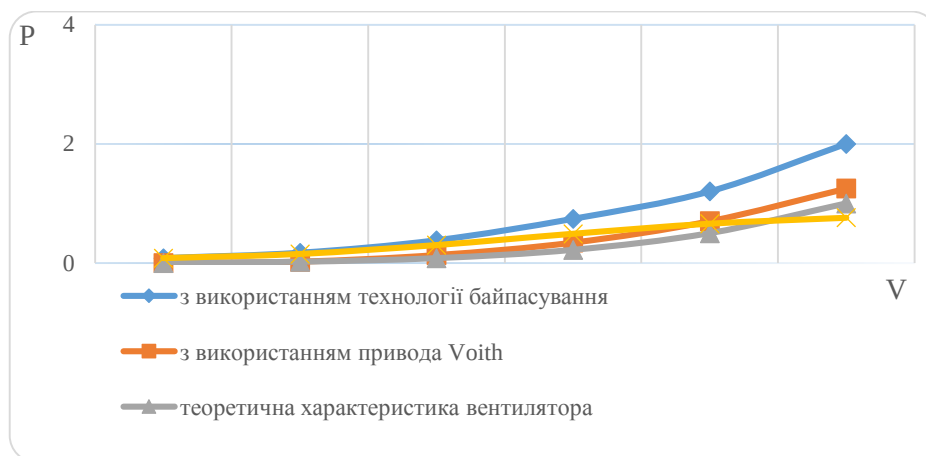


Рис. 4. Залежність потужності, що споживається вентилятором, від швидкості обертання при використанні гідродинамічного гальма (ретардера)

Порівняння різних конструкцій приводів допоміжних механізмів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Переваги та недоліки конструкцій приводів допоміжних механізмів

Система байпасування	Система Voith
Низька енергоефективність системи з надмірною потужністю привода внаслідок безперервної циркуляції потоку оливи	Висока енергоефективність завдяки подачі лише необхідної для конкретного механізму кількості оливи
Приведення в роботу декількох механізмів від одного насоса через включення гідромоторів, що веде до подальшого зменшення енергоефективності системи через тиск опору в гідромоторах. Як регулюючі дії, так і регулюючі прилади вимушені враховувати їх негативний вплив.	Відсутні втрати від тиску опору в гідромоторах. Стабільне регулювання за відсутності впливу гідромоторів.
Значні обсяги тепла необхідно відвести від гідростатичної системи, що вимагає відповідних потужних маслоохолоджувачів.	Кожен із механізмів приводиться від підбраного з дотриманням оптимальних параметрів регульованого насоса. Завдяки високій енергоефективності не потрібно відводити значні обсяги тепла від гідростатичної системи.

Важливим елементом конструкції системи управління подачею масла Voith є аксіально-поршневий насос. Використання в системах управління насосів з діагональним нахилом диска (рис. 5) дозволяє забезпечити регулювання його продуктивністю, а також реалізувати такі переваги, як:

- можливість фланцевого приєднання для дво- або трисекційних насосів;
- низьку чутливість до торсійних коливань та до раптової зміни швидкості обертання;

- високу швидкість реакції;
- високу точність та незначний гістерезис;
- стабільність регулювання;
- великий ресурс підшипників;
- відсутність передачі крутного моменту від поршнів.

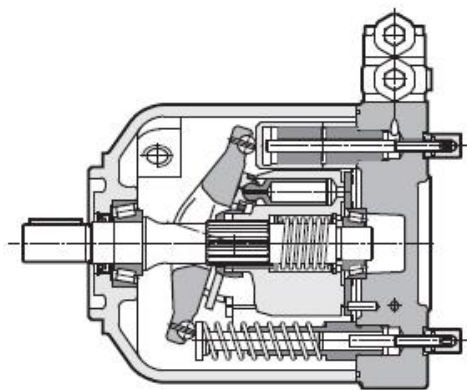


Рис. 5. Аксиально-поршневий насос регульованої продуктивності із діагональним нахилом диска

Для охолодження масла використовується повітряний або водяний теплообмінник. Масло-водний теплообмінник встановлюється в контурі охолоджувальної води між системою охолодження та дизельним двигуном. Повітряний охолоджувач забудовується в систему охолодження та використовує потік повітря, що направляється від вентиляторів охолодження. Спеціально розроблений для Voith Flow System масляний бак має декілька переваг у порівнянні із стандартними конструкціями. Як резервуар він балансує коливання обсягу внаслідок змін температур та дегазації оливи. Потік, що повертається від гідромотора, скеровується до лінії всмоктування через головний масляний фільтр. Поряд із компактністю конструкція маслобака дозволяє завдяки спеціальним інжекторам використовувати потік, що повертається, для запобігання витіку оливи та нарощування тиску на лінії всмоктування, забезпечити вільне розміщення насоса, лінії всмоктування та масляного бака, а також можливість контролю рівня оливи через оглядове скло чи за допомогою електронного датчика рівня.

Цифрова система управління із програмованим мікропроцесором дозволяє забезпечити повне управління масляним контуром. Сенсори контролюють температуру та тиск, сигнали передаються системі охолодження, системам управління дизельним двигуном та трансмісією. Параметри роботи та порушення записуються та тривалий час зберігаються в пам'яті системи, що є достатньо гнучкою і може бути вбудована безпосередньо в систему охолодження в спеціальному корпусі або інтегрована в систему управління потягом чи управління трансмісією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. У. Коперник, В. Иванов, А. Осколков. Опыт эксплуатации гидропередат VOITH в подвижном составе стран СНГ и Балтии. //Вагонный парк. – 2010. – № 4. – С. 56 – 59.
2. В. Иванов, В. Косенко, Ю. Приданников. Новые решения в конструкциях систем охлаждения. // Збірник наукових праць ДЕУТ. Серія «Транспортні системи і технології» – 2013. – Вип. 23. – С. 47 – 51.
3. В. Иванов, В. Косенко. Використання муфт граничного крутного моменту для захисту приводів високошвидкісних потягів. // Збірник наукових праць ДЕУТ. Серія «Транспортні системи і технології» – 2015. Вип. 26 – 27. – С. 125 – 130.

REFERENCES

1. U. Kopernik, V. Ivanov, A. Oskolkov (2010) Operation experience for VOITH hydro transmissions in rolling stock of CIS and Baltic countries //Car park, Vol. 4, P. 56 – 59.
2. V. Ivanov, V. Kosenko, Y. Prydannikov (2013) New solutions in cooling system design // SETUT scientific papers. Series «Transport systems and technologies». Vol. 23, P. 47 – 51.
3. V. Ivanov, V. Kosenko (2015) Limited torque coupling application for protection of high speed train drives // SETUT scientific papers. Series «Transport systems and technologies», Vol. 26 – 27, P. 125 – 130.

В. Б. Иванов, к.т.н., доцент

(доцент кафедры «Менеджмент», Национальный транспортный университет)

В. И. Косенко, к.т.н., доцент

(доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРИВОДЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Сокращение затрат энергии на выполнение железнодорожных перевозок обеспечивается путем оптимизации работы всех систем и механизмов локомотивов, в том числе вентиляторов, компрессоров, генераторов, насосов гидростатики. В отличие от традиционной технологии байпасирования, система Voith Flow System регулирует работу механизмов непосредственно управляя производительностью масляных насосов, что существенно сокращает затраты энергии и улучшает регулирование системы привода в целом.

Ключевые слова: вспомогательные агрегаты, гидростатические приводы, байпасирование, производительность масляного насоса, энергоэффективные приводы.

Vadim B. Ivanov, PhD (Technical Sciences)

(Associate Professor of Management Chair, National Transport University)

Vitali I. Kosenko, PhD (Technical Sciences)

(Associate Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State University of Infrastructure and Technology)

ENERGY EFFICIENT DRIVES OF AUXILIARY MACHINES

Energy consumption reducing in rail transport is provided due to optimization of all locomotives systems and machines operating parameters, including fans, compressors, generators, hydrostatic pumps. As against to traditional by-pass technology Voith Flow System regulates the machines operation due to direct productivity control of oil pumps, that apply to decrease of energy consumption and improve of whole system control.

Keywords: ancillary machines, hydrostatic drives, by-pass control, oil pump productivity, energy-saving drive.

Стаття надійшла до редакції 22.10.2017 р.