

**С. В. Репінський**  
**О. В. Паславська**  
**В. Ю. Губницький**  
**Д. С. Зарудняк**

## **РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО БАРАБАНА АВТОБЕТОНОЗМІШУВАЧА**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Запропоновано схему гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана автобетонозмішувача (АБЗ) з пропорційною електрогідравлічною системою керування регульованого аксіально-поршневого насоса. Розроблено розрахункову схему та створено математичну модель запропонованої системи керування регульованого насоса. Математична модель може бути використана для визначення статичних та динамічних характеристик.*

**Ключові слова:** автобетонозмішувач, привід змішувального барабана, регульований аксіально-поршневий насос, регулятор, електрогідравлічне керування, математична модель.

### **Abstract**

*The scheme of the hydromechanical drive of rotation of the mixing drum of the truck mixer with the proportional electrohydraulic control system of the regulated axial-piston pump is offered. The calculation scheme is developed and the mathematical model of the offered control system of the regulated pump is created. A mathematical model can be used to determine static and dynamic characteristics.*

**Keywords:** truck mixer, mixing drum drive, adjustable axial-piston pump, regulator, electro-hydraulic control, mathematical model.

### **Вступ**

Сучасні електрогідравлічні приводи поєднують в собі силові та динамічні властивості гідроприводів з можливостями мікроелектроніки, що постійно розширюються. Інтенсивно впроваджуються регульовані гідронасоси з електричним пропорційним керуванням, що дозволяє здійснювати дистанційне безступінчасте регулювання основних параметрів потоку робочої рідини: витрати і тиску.

При проектуванні та розробці електрогідравлічних систем керування регульованих насосів на передній план висувається необхідність визначення впливу різних параметрів системи керування і регульованого насоса на характеристики насоса. Дану задачу можна вирішити шляхом математичного моделювання.

*Метою роботи є розробка математичної моделі системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача, яка описує основні закономірності та зв'язки властиві складовим частинам системи і дозволить представляти входи, виходи і внутрішні стани системи.*

### **Результати дослідження**

Машини, призначені для транспортування та приготування бетонної суміші – автобетонозмішувачі (АБЗ) – є провідним устаткуванням бетонних заводів і установок [1–5].

Сьогодні в Україні використовується переважно два типи виконання гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана автобетонозмішувача – ДА та ДО. Буквами ДА (двигун автономний) позначається привід змішувального барабана від автономного дизельного двигуна, ДО (двигун основний) – привід від основного двигуна шасі через коробку відбору потужності (КВП).

Розгорнута схема приводу обертання барабана (рис. 1).

1. Привід ДО: двигун шасі – КВП – регульований гідронасос – гідромотор – редуктор – змішувальний барабан.

2. Привід ДА: автономний двигун – регульованій гідронасос – гідромотор – редуктор – змішувальний барабан.

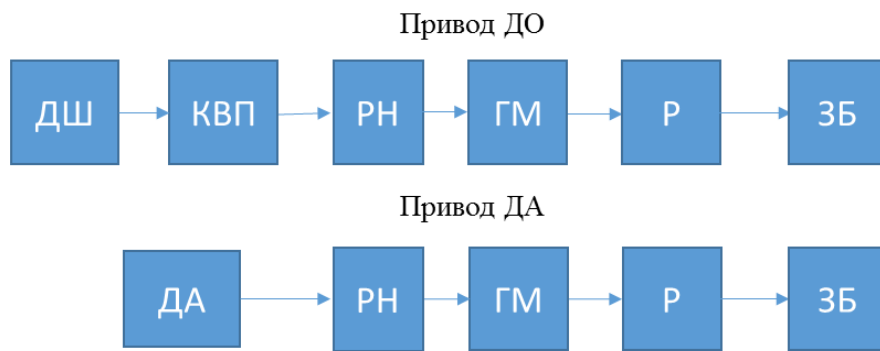


Рис. 1. Типові виконання гідромеханічного приводу обертаючого змішувального барабана АБЗ:  
ДШ – двигун шасі; КВП – коробка відбору потужності; РН – регульованій гідронасос; ГМ – гідромотор; Р – редуктор; ЗБ – змішувальний барабан; ДА – двигун автономний

В обох виконаннях обертаючого змішувального барабана здійснюється завдяки об'ємному гідроприводу та планетарному редуктору, що дозволяє безступінчато регулювати швидкість обертаючого барабана.

Недоліком приводу обертаючого змішувального барабана, який побудований за схемою ДО з відбором потужності від основного двигуна шасі через КВП, що встановлена на коробці зміни передач автомобіля, є залежність частоти обертаючого вала гідронасоса від обертів двигуна при русі АБЗ і, відповідно, залежність швидкості обертаючого змішувального барабана в робочому режимі від динаміки руху АБЗ. Частота обертаючого вала відбору потужності КВП в залежності від режиму роботи двигуна може змінюватися в межах  $\pm 300$  об/хв. від необхідної номінальної частоти обертаючого вала гідронасоса – 1500 об/хв.

Усувається зазначений негативний вплив режиму роботи двигуна шасі на швидкість обертаючого змішувального барабана шляхом використання на АБЗ приводу обертаючого змішувального барабана, побудованого за схемою ДА з відбором потужності гідронасоса від автономного дизельного двигуна. Привід від автономного двигуна також зазвичай виконують у разі нестачі потужності двигуна шасі. Але таке рішення супроводжується додатковими витратами на придбання укомплектованого автономного дизельного двигуна, додатковою витратою палива, що споживається автономним двигуном, і збільшенням сумарної маси АБЗ.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що в АБЗ з гідромеханічним відбором потужності приводу змішувального барабана не використовуються сучасні можливості керування регульованого насоса за рахунок використання пропорційної електрогідроліки [6–9], що дозволить значно покращити техніко-економічні характеристики будівельних машин, зокрема АБЗ.

На рис. 2 показано принципову схему приводу обертаючого змішувального барабана АБЗ з системою пропорційного електрогідролічного керування (ЕГК) регульованого аксіально-поршневого насоса (АПН). Опис роботи приводу представлено в [10].

Пропорційна електрогідролічна система керування регульованого насоса містить пропорційний об'ємний регулятор 5 з направляючим золотником 6, електронний блок керування (контролер) 7, який отримує сигнали від датчика частоти обертаючого гідромотора, датчика тиску робочої рідини на виході насоса, а також сигнали від пульта керування.

Система керування забезпечує дистанційне керування продуктивністю і реверсом змішувального барабана, підтримує постійну частоту обертаючого змішувального барабана або забезпечує роботу регульованого насоса в режимі постійної потужності.

В роботі розроблено розрахункову схему запропонованої системи пропорційного ЕГК АПН в гідроприводі обертаючого змішувального барабана АБЗ.

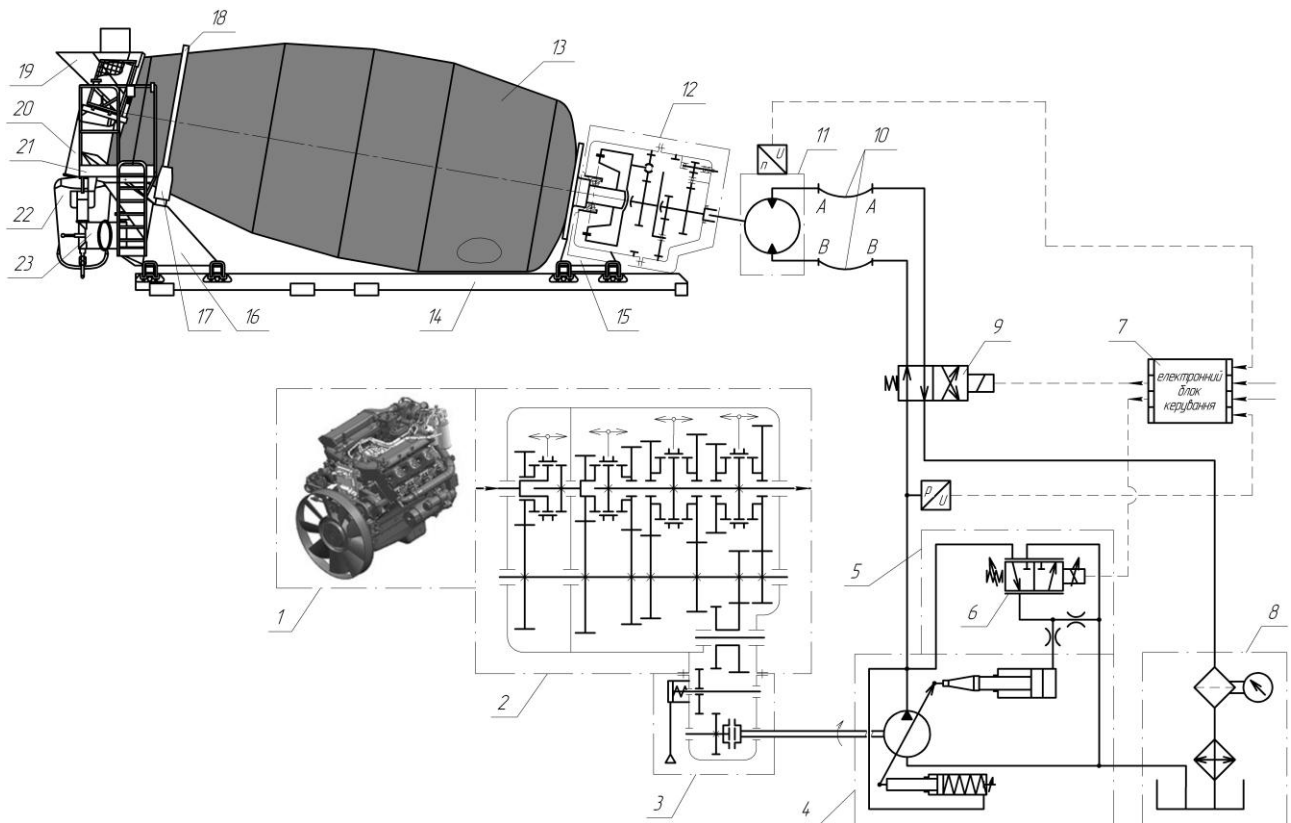


Рис. 2. Принципова схема гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ:

1 – двигун автомобіля; 2 – коробка зміни передач автомобіля; 3 – коробка відбору потужності; 4 – регульований аксіально-поршневий насос; 5 – пропорційний об'ємний регулятор насоса; 6 – золотник регулятора; 7 – електронний блок керування (контролер); 8 – маслоохолоджувач з фільтром; 9 – гідророзподільник; 10 – гнучкі рукави високого тиску; 11 – гідромотор; 12 – планетарний редуктор приводу барабана; 13 – змішувальний барабан; 14 – лонжерон (лівий і правий); 15 – опора передня; 16 – опора задня; 17 – опорний ролик барабана; 18 – бандажне кільце барабана; 19 – завантажувальна лійка; 20 – розвантажувальна лійка; 21 – драбина з майданчиком; 22 – розвантажувальний поворотний лоток з відкидним жолобом; 23 – опора лотка

Згідно з розробленою розрахунковою схемою і прийнятими припущеннями, створено математичну модель системи, що включає рівняння нерозривності потоків для відповідних ділянок гідросистеми; рівняння моментів, що діють на планшайбу регульованого АПН; рівняння сил, що діють на золотник пропорційного електрогідравлічного регулятора; рівняння сил, що діють на циліндр керування положенням планшайби регульованого АПН; рівняння струму в електричному колі електромагніта регулятора та рівняння зворотного зв'язку.

Розв'язання системи рівнянь математичної моделі виконується в програмному середовищі MATLAB Simulink.

Математичне моделювання процесів у системі керування регульованого насоса дозволяє визначити параметри системи керування, що впливають на її статичні, динамічні та енергетичні характеристики.

## Висновки

1. Розглянуто типові виконання гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ. Запропоновано використати в приводі обертання змішувального барабана АБЗ пропорційну електрогідравлічну систему керування регульованого насоса.

2. Використання пропорційної електрогідравлічної системи керування регульованого насоса в гідромеханічному приводі обертання змішувального барабана значно покращує техніко-економічні характеристики АБЗ.

Зокрема незалежно від швидкості пересування АБЗ (в умовах міста або шосе) змішувальний барабан завжди обертається із заданою частотою обертання, навіть при зміні крутного моменту чи зниженні ККД гідроприводу. Це підвищує якість перевезених сумішей.

В режимі перевантаження, завдяки слідкувальній електронній системі, регульований насос відбирає від основної трансмісії тільки необхідну потужність. Це зменшує навантаження на основний двигун і трансмісію шасі, тим самим збільшується їх ресурс і зменшується витрата палива.

3. Розроблено розрахункову схему системи пропорційного ЕГК регульованим АПН, яка забезпечує стабілізацію подачі насоса, характеризується високою точністю і роздільною здатністю регулювання продуктивності АПН та швидкою реакцією на керуючий вплив.

4. Складено нелінійну математичну модель системи пропорційного ЕГК регульованим АПН, яка розв'язується за допомогою програмного пакета MATLAB Simulink.

5. Математична модель може бути використана для визначення статичних та динамічних характеристик і дослідження стійкості розробленої системи пропорційного ЕГК регульованим АПН.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sauer-Danfoss : Series TM Transit Mixer Drive System, Catalogue 520L0482, Rev. DC (December 2010).
2. Каталог Liebherr [Електронний ресурс] / Liebherr // – Режим доступу : [http://www.liebherr.com/MT/ru-RU/region-UK/default\\_mt.wfw/measure-metric](http://www.liebherr.com/MT/ru-RU/region-UK/default_mt.wfw/measure-metric).
3. Автобетоносмесители. Руководство по эксплуатации 3101. РЭ / ЗАО «КОМЗ-Экспорт», TIGARBO, 2006. – 48 с.
4. Белецкий Б. Ф. Строительные машины и оборудование : справочное пособие [для инженерно-технических работников строительных организаций, студентов строительных вузов, факультетов и техникумов] / Б. Ф. Белецкий, И. Г. Булгакова. [Изд. второе, переработ. и дополн.]. – Ростов н/Д : Феникс, 2005. – 608 с.
5. Добронравов С. С. Строительные машины и основы автоматизации : учеб. для строит. вузов. / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов – М. : Высш. шк., 2001. – 575 с.
6. Буренников Ю. А. Обзор электрогидравлических систем управления насосами переменной производительности / Ю. А. Буренников, Л. Г. Козлов, С. В. Репинский // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2016. – № 2(235). – С. 202–206.
7. Репинский С. В. Управление регулируемых насосов в гидроприводах, чувствительных к нагрузке : монография / С. В. Репинский, Л. Г. Козлов, Ю. А. Буренников. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 199 с. – ISBN 978-966-641-673-8.
8. Буренников Ю. А. Анализ переваг та недоліків існуючих регуляторів подачі та потужності в системі керування аксально-поршневого регулируемого насоса / Ю. А. Буренников, Л. Г. Козлов, С. В. Репинский, О. В. Поліщук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 5. – С. 107–113.
9. Репинский С. В. Математична модель пропорційної електрогидравлічної системи керування регулируемым насосом / С. В. Репинский, Д. О. Лозинский, М. П. Кучеренко, О. О. Ланова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 2. – С. 105–109.
10. Ревага С. С. Привод обертання барабана автобетонозмішувача на базі регулируемого насоса з електрогидравлічною системою керування робочого об'єму [Електронний ресурс] / С. С. Ревага, С. В. Репинский // Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23-24 березня 2016 р. – Електрон. текст. дані. – 2016. – Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2016/paper/view/1327>.

**Репинський Сергій Володимирович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com);

**Паславська Оксана Віталіївна** – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [o.v.paslavska@gmail.com](mailto:o.v.paslavska@gmail.com);

**Губницький Владислав Юрійович** – студент групи ІПМ-19м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**Зарудняк Дмитро Сергійович** – студент групи ІПМ-19мз, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Repinskyi Serhii V.** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com);

**Paslavska Oksana V.** – Post-Graduate Student of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [o.v.paslavska@gmail.com](mailto:o.v.paslavska@gmail.com);

**Hubnytskyi Vladyslav Yu.** – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Zarudniak Dmytro S.** – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.