

УДК 004.89

**ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ БЕЗПОРШНЕВОГО ШЛАНГОВОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО БЕТОНОНАСОСА НА СТАДІЇ ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

Доктори техн. наук І.А. Ємельянова, П.М. Андренко, асп. Д.О. Чайка

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БЕСПОРШНЕВОГО ШЛАНГОВОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО БЕТОНОНАСОСА НА СТАДИИ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Докторы техн. наук И.А. Емельянова, П.Н. Андренко, асп. Д.О. Чайка

**RELIABILITY ASSESSMENT NOT PISTONS HOSE UNIVERSAL CONCRETE PUMP ON STAGE ITS DESIGN**

Doct. of techn. sciences I.A. Emeljanova, P.M. Andrenko, graduate student D.O. Chayka

*Метою написаної статті є порівняння надійності роботи безпоршневого універсального бетононасоса при використанні механічного та гідравлічного привода. Для порівняння розроблена гідрокінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з гідравлічним приводом та кінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з механічним приводом.*

*Визначення надійності безпоршневого універсального бетононасоса на стадії його проектування дозволить більш обґрунтовано провести вибір типу його привода, який задовольняє заданим технічним умовам.*

**Ключові слова:** *безпоршневий бетононасос, гідравлічний привод, гідрокінематична схема, надійність, безвідмовна робота.*

*Целью написанной статьи является сравнение надежности работы безпоршневого универсального бетононасоса при использовании механического и гидравлического привода. Для сравнения разработана гидрокинематическая схема безпоршневого универсального бетононасоса с гидравлическим приводом и кинематическая схема безпоршневого универсального бетононасоса с механическим приводом.*

*Определение надежности безпоршневого универсального бетононасоса на стадии его проектирования позволит более обоснованно провести выбор типа его привода, который удовлетворяет заданным техническим условиям.*

**Ключевые слова:** *безпоршневой бетононасос, гидравлический привод, гидрокинематическая схема, надежность, безотказная работа.*

*For comparison, the reliability of the concrete pump on different drives designed hydrokinematics scheme not pistons universal concrete pump with a hydraulic drive and kinematics scheme not pistons universal concrete pump with a mechanical drive. To calculate the reliability of proposed structural concrete pump circuit with two drive options.*

*Determination of reliability not pistons universal concrete pump at the stage of its design will allow a reasonable choice to hold its drive type that satisfies the given specification.*

*The calculation showed that the more reliable performance and uptime operation has a concrete pump with a hydraulic drive, it confirms the feasibility of the installation on the not pistons hose universal concrete pump hydraulic drive.*

**Keywords:** *not pistons concrete pump, hydraulic drive hydrokinematics scheme, reliability, trouble-free operation.*

**Вступ.** Одним з основних показників технічного рівня машин є їх надійність. Вона залежить від багатьох факторів, а саме, від конструктивного виконання, режиму роботи, міцності конструкції елементів, кваліфікації обслуговуючого персоналу, навколишнього середовища, наявності засобів технічного діагностування і т. ін. Використання при проектуванні таких машин гідравлічних виконавчих механізмів, завдяки їх відомим перевагам, дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики таких машин, інші показники технічного рівня. Однак, на стадії вибору схемного рішення, при проектуванні машин виникає потреба в порівнянні їх споживчих властивостей, визначенні гарантованого часу роботи, в цілому, їх надійності.

**Аналіз літературних джерел.** Питанням дослідження надійності елементів та систем присвячена достатньо велика кількість наукових робіт, наприклад [1, 2, 3]. Наведені в них методики розрахунку, які одержані як результати досліджень, цілком правомірно можуть бути використані при визначенні надійності механізмів та машин. Як відмічено в роботі [1], на сьогодні найбільшого розповсюдження набули два методи, а саме неперевищень та структурних схем. Про сенс проведення оцінки надійності відмічено в роботі [4].

Таким чином, визначення надійності безпоршневого універсального бетононасоса на стадії його проектування дозволить більш обґрунтовано провести вибір типу його привода, який задовольняє заданим технічним умовам.

**Мета і задачі дослідження.** Метою проведених досліджень є порівняння надійності роботи безпоршневого універсального бетононасоса при використанні механічного та гідравлічного привода.

**Розрахункові дослідження надійності безпоршневого шлангового універсального бетононасоса.** Для дослідження використано метод структурних схем,

якими зазвичай застосовують на стадії проектування машин [1]. Прийнято, що всі складові елементи бетононасоса є одновідмовні та відмови елементів незалежні. Відомі також зв'язки між окремими елементами та час їх функціонування. Прийнято, що однотипні елементи є рівнонадійні, режими їх роботи відповідають номінальним, а параметри навколишнього середовища – технічним вимогам. При цьому термін роботи окремих елементів бетононасоса визначається експоненціальним законом розподілення, а їх надійність визначається залежністю

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де  $P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи елемента (пристрою);  $\lambda$  – інтенсивність відмов.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи, згідно із залежністю (1), правомірний для невідновлюваних елементів і пристроїв. Для відновлюваних елементів і пристроїв залежність (1) дає занижені результати, однак, маючи на увазі невизначеність часу відновлення, в подальших розрахунках використовується залежність (1) [5, 6]. При послідовному з'єднанні елементів, з 1 по  $n$ , ймовірності безвідмовної роботи розраховуються за формулою

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2)$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -того елемента.

При паралельному з'єднанні  $n$  елементів чи ланцюгів ймовірність безвідмовної роботи визначається за залежністю

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^k \left[ 1 - \prod_{j=1}^n P_j(t) \right], \quad (3)$$

де  $k$  – кількість паралельних ланцюгів.

Розглядаються такі універсальні бетононасоси, реалізовані з різними типами приводів:

- з гідравлічним приводом (рис. 1), відмінною особливістю якого є застосування високомоментних гідромоторів, що дозволяє відмовитися від громіздких та малонадійних редукторів, значно спростити

регулювання швидкістю виконавчих механізмів, полегшити обслуговування та зменшити собівартість [7, 8];

- з механічним приводом (рис. 2), відмінною особливістю якого є те, що в ньому для регулювання видатком бетононасоса використовується мотор-редуктор.

Для розрахунку надійності бетононасоса пропонується скласти їх структурні схеми (рис. 3, 4).

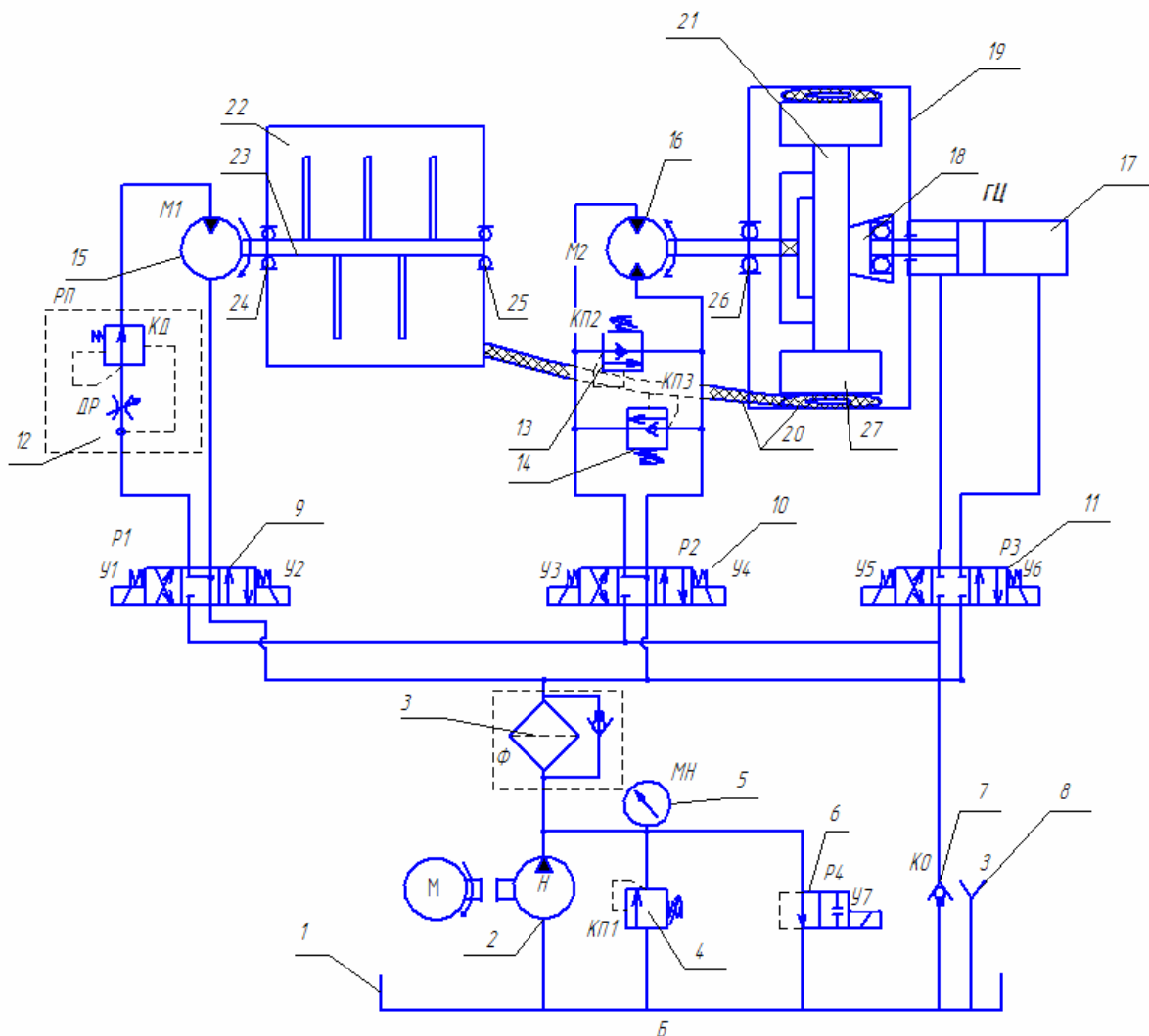


Рис. 1. Гідрокінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з гідравлічним приводом:

1 – бак; 2 – насос; 3 – фільтр; 4, 13, 14 – запобіжний клапан; 5 – манометр; 6, 9, 10, 11 – гідророзподільники; 7 – зворотний клапан; 8 – заливна горловина; 12 – регулятор потоку; 15, 16 – високомоментний гідромотор; 17 – гідроциліндр; 18 – конічний наконечник; 19 – безпоршневий бетононасос з гідравлічним приводом; 20 – гнучкий шланг; 21 – ротор з роликами; 22 – бункер з бетонною сумішшю; 23 – ворошитель; 24, 25, 26 – підшипник; 27 – ролик

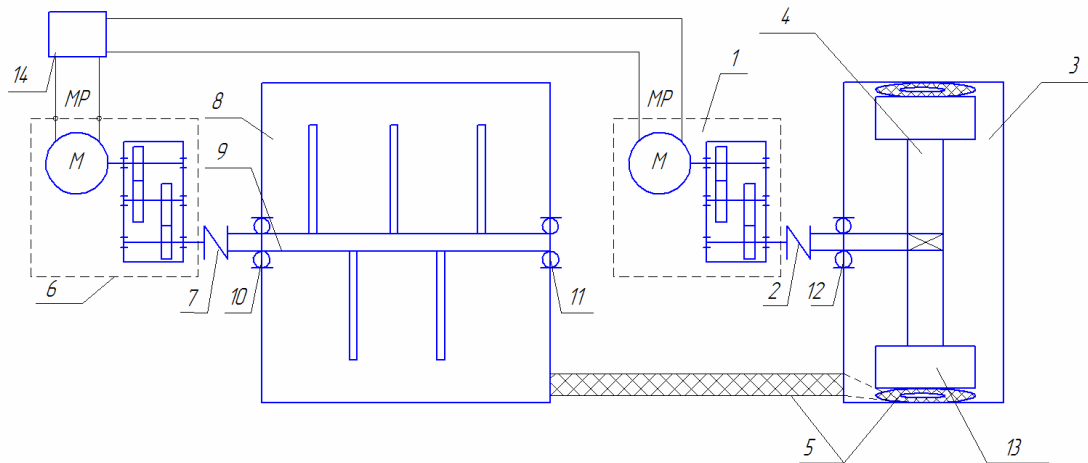


Рис. 2. Кінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з механічним приводом:

1, 6 – мотор-редуктори; 2, 7 – муфти; 3 – безпоршневий бетононасос; 4 – ротор; 5 – гнучкий шланг; 8 – завантажувальний бункер; 9 – вал із ворошителями; 10,11,12 – підшипники; 13 – ролики; 14 – електричний пускач

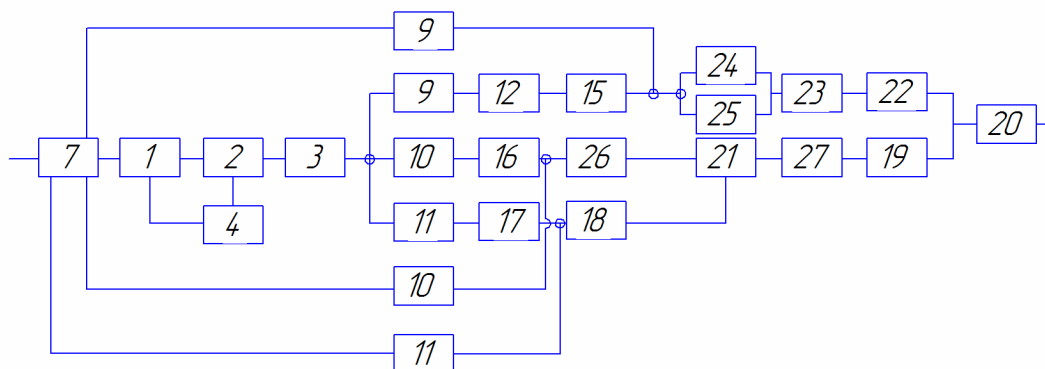


Рис. 3. Структурна схема безпоршневого універсального бетононасоса з гідравлічним приводом:

1 – бак; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – запобіжний клапан; 9, 10, 11 – гідророзподільник; 7 – зворотний клапан; 12 – регулятор потоку; 15, 16 – високомоментний гідромотор; 17 – гідроциліндр; 18 – конічний наконечник; 19 – безпоршневий бетононасос з гідравлічним приводом; 20 – гнучкий шланг; 21 – ротор з роликами; 22 – бункер з бетонною сумішшю; 23 – ворошитель; 24, 25, 26 – підшипники; 27 – ролики

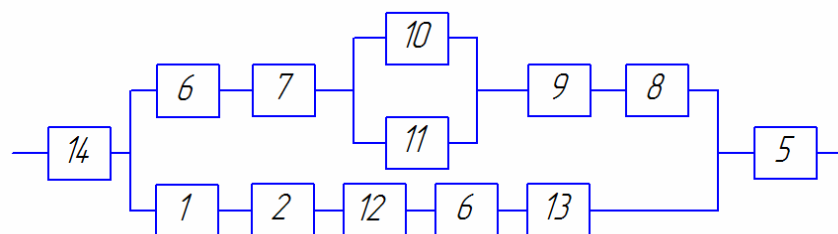


Рис. 4. Структурна схема безпоршневого універсального бетононасоса з механічним приводом:

1, 6 – фоторедуктори; 2, 7 – муфти; 5 – гнучкий шланг; 8 – бункер з бетонною сумішшю; 9 – вал з ворошителями; 10, 11, 12 – підшипники; 13 – ролики; 14 – електричний пускач

Проведені нами попередні розрахунки ймовірності безвідмовної роботи трубопроводів показали, що вона становить –  $P_{тр} \approx 1$ , тобто нею можна знехтувати. Ймовірність безвідмовної роботи у загальному випадку є функціями часу,

однак для скорочення запису в формулах час опускається. За структурними схемами бетононасосів, враховуючи залежності (2) і (3), для розрахунку їх ймовірності безвідмовної роботи пропонуються такі системи [9]:

- для бетононасоса з гідравлічним приводом

$$P_{\Sigma}(t) = \left\{ \begin{aligned} & \left[ P_7(P_1P_2 + P_4 - P_1P_2P_4)P_3P_9P_{12}P_{15} + P_9 - P_7(P_1P_2 + P_4 - P_1P_2P_4)P_3P_9^2P_{12}P_{15} \right] \times \\ & \times (P_{24} + P_{25} - P_{24}P_{25})P_{23}P_{27} + \left[ \begin{aligned} & (P_{10}P_{16} + P_{10} - P_{10}^2P_{16})P_{26}P_{21}P_{27}P_{19} + \\ & + (P_{11}P_{17} + P_{11} - P_{11}^2P_{17})P_{18} - \\ & - (P_{10}P_{16} + P_{10} - P_{10}^2P_{16})P_{26}P_{21}P_{27}P_{19} \times \\ & \times (P_{11}P_{17} + P_{11} - P_{11}^2P_{17})P_{18} \end{aligned} \right] \times \end{aligned} \right\} P_{20}, \quad (4)$$

- для бетононасоса з механічним приводом

$$P_{\Sigma}(t) = P_{14} \left[ \begin{aligned} & P_6P_7P_8P_9(P_{10} + P_{11} - P_{10}P_{11}) + P_1P_2P_{12}P_6P_{13} - \\ & - P_6P_7P_8P_9(P_{10} + P_{11} - P_{10}P_{11})P_1P_2P_{12}P_6P_{13} \end{aligned} \right] P_5. \quad (5)$$

У табл. 1 подано інтенсивності відмов окремих елементів бетононасосів, які

знайдені відповідно до літературних даних [2, 9].

Таблиця 1

Інтенсивність відмов елементів ГА

Інтенсивність відмов	$\lambda \cdot 10^{-6},$ год <sup>-1</sup>	Інтенсивність відмов	$\lambda \cdot 10^{-6},$ год <sup>-1</sup>
Трубопровід	0,7	Муфта	0,025
Електродвигун	6,3	Підшипники	0,875
Гідромотор	1,45	Ролики	0,5
Запобіжний клапан	6,3	Пускач електричний	16,1
Зворотний клапан	3,27	Вал	0,025
Насос шестеренний з електроприводом	13,5	Мотор-редуктор	38,5
Бак	0,48	Ротор	0,35
Регулятор витрати	2,14	Шланг	3,93
Гідроциліндр	0,01	Резервуари	0,18
Гідророзподільник	1,0	Фільтр	0,4

За залежностями (4) – (6), попередньо задавшись часом роботи бетононасоса, знаходяться ймовірності його безвідмовної роботи (табл. 2). Знаючи ймовірності безвідмовної роботи бетононасоса, знаходиться час його безвідмовної роботи

$$T = 1/\Lambda, \quad (6)$$

де  $\Lambda$  – сумарна інтенсивність відмов бетононасоса, яку визначили з залежності (1) та розраховували середній час безвідмовної роботи бетононасоса (табл. 2).

Таблиця 2

Ймовірності та середній час безвідмовної роботи бетононасоса

Бетононасос, привод	$P_{\Sigma}(1000)$	T, год	$P_{\Sigma}(10000)$	T, год
гідралічний	0,995	$1,995 \cdot 10^5$	0,953	$2,077 \cdot 10^5$
механічний	0,976	$4,116 \cdot 10^4$	0,621	$2,099 \cdot 10^4$

**Висновки.** Проведений порівняльний аналіз надійності роботи безпоршневих шлангових бетононасосів з двома видами

приводів показав, що більш надійну роботу та час безвідмовної експлуатації має бетононасос із гідралічним приводом.

#### Список використаних джерел

1. Сырицын, Т.А. Надежность гидро- и пневмопривода [Текст] \ Т.А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.
2. Фінкельштейн, З.Л. Експлуатація, обслуговування та надійність гідралічних машин і гідроприводів [Текст]: навч. посібник / З.Л. Фінкельштейн, П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко; під ред. проф. П.М. Андренка. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2014. – 308 с.
3. Peter F. Kaming, Gary D. Holt, Simon T. Kometa, Paul O. Olomolaiye. (1998). Severity diagnosis of productivity problems—a reliability analysis. International Journal of Project Management, Volume 16, Issue 2, April 1998, Pages 107–113.
4. Fred K. Geitner and Heinz P. Bloch. (2006). The meaning of reliability. Practical Machinery Management for Process Plants Volume 5, 2006, Pages 28–37.
5. Гринчар, Н.Г. Оценка последствий отказов гидроприводов машин [Текст] / Н.Г. Гринчар // Известия ТулГУ. – Тула, 1999. – Вып. 2. – С. 268-275.
6. Гринчар, Н.Г. Алгоритмы поиска отказа в гидроприводах машин [Текст] / Н.Г. Гринчар, С.Н. Симонов // Механизация строительства. – 2001. – №11. – С. 34-37.
7. Красов, Н.М. Гидравлические элементы в системах управления [Текст] / Н.М. Красов. – М.: Машиностроение, 1967. – 255 с.
8. Волков, В.Н. Показатели надежности гидропривода [Текст] / В.Н. Волков, В.А. Бурмистров, О.М. Тимохова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4.
9. Гринчар, Н.Г. Анализ последствий проявления отказов в гидроприводах строительных и дорожных машин [Текст] / Н.Г. Гринчар // Механизация строительства. – 2005. – №2. – С. 11-16.
10. Электрогидравлические следящие системы [Текст] / В.А. Хохлов, В.Н. Прокофьев, Н.А. Борисова [и др.] ; под ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с.

Смельянова Инга Анатоліївна, доктор технічних наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-17-84. E-mail: emeljanova-inga@rambler.ru.

Андренко Павло Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".  
E-mail: andrenko47@mail.ru.

Чайка Денис Олегович, аспірант кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. E-mail: d\_chayka93@mail.ua.

Emeljanova Inga A. Ph.D., Professor Department of mechanization of construction processes Kharkov National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 700-17-84. E-mail: emeljanova-inga@rambler.ru.

Andrenko Pavlo M. doctor of technical sciences, professor department of hydro-and-pneumatic and hydraulic drive National Technical University "Kharkiv polytechnic institute". E-mail: andrenko47@mail.ru.

Chayka Denys O. graduate student, department of mechanization of construction processes Kharkov National University of Construction and Architecture. E-mail: d\_chayka93@mail.ua.

Стаття прийнята 27.05.2016 р.