

УДК 666. 983

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ РАСТВОРОБЕТОНОНАСОСА ПРИ РАБОТЕ НА ФИБРОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ

И.А. Емельянова, профессор, д.т.н., А.С. Непорожнев, доцент, к.т.н.,  
Н.А. Меленцов, гл. инженер, В.Ю. Шевченко, магистр,  
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

*Аннотация.* Приведены результаты экспериментальных исследований по определению объемного коэффициента полезного действия двухпоршневого растворобетонасоса с тарельчатыми клапанами при работе на бетонных смесях с полипропиленовой фиброй.

*Ключевые слова:* двухпоршневой растворобетонасос, тарельчатый клапан, фибра полипропиленовая.

## ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОГО КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА ПРИ РОБОТІ НА ФІБРОБЕТОННИХ СУМІШАХ

І.А. Ємельянова, професор, д.т.н., О.С. Непорожнев, доцент, к.т.н.,  
М.О. Меленцов, гол. інженер, В.Ю. Шевченко, магістр,  
Харківський національний університет будівництва та архітектури

*Анотація.* Наведено результати експериментальних досліджень з визначення об'ємного коефіцієнта корисної дії двопоршневого розчинобетонасоса з тарільчастими клапанами при роботі на бетонних сумішах із поліпропіленою фіброю.

*Ключові слова:* двопоршневий розчинобетонасос, тарільчастий клапан, фібра поліпропіленова.

## DETERMINING THE VOLUME EFFICIENCY OF MORTAR-AND-CONCRETE-PUMPS WHILE USING FIBRE-CONCRETE MIXTURES

I. Yemelyanova, Professor, Doctor of Engineering Sciences,  
A. Neporozhnev, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,  
N. Melentsov, Chief Engineer, V. Shevchenko, master,  
Kharkiv National University of Construction and Architecture

*Abstract.* The article gives the results of experimental research on determining the volume efficiency of two-piston mortar-and-concrete pumps with disc valves while using polypropylene-fibre concrete mixtures.

*Key words:* two-piston mortar-and-concrete pump, disc valve, polypropylene fibre.

### Введение

В последнее время актуально использование армирующих добавок в бетонных смесях. В частности широко используется для этих целей волокно армирующее полипропиленовое.

### Анализ публикаций

Проведенные исследования на двухпоршневых растворобетонасосах с тарельчатыми

клапанами показали улучшение процесса транспортирования бетонных смесей по сравнению с растворобетонасосами с шаровыми клапанами [1].

Опыт проведения исследований на двухпоршневых растворобетонасосах с шаровыми клапанами позволил обоснованно подойти к исследованиям насосов, оснащенных тарельчатыми клапанами [2].

### Цель и постановка задачи

Определить возможность использования двухпоршневого растворобетононасоса с тарельчатыми клапанами для транспортирования бетонных смесей с максимальной фракцией крупного заполнителя до 10 мм и полипропиленовой фиброй. Исследования провести с использованием планированного многофакторного эксперимента.

### Исследование рабочих параметров двухпоршневого растворобетононасоса с тарельчатыми клапанами

На кафедре МСП ХНУСА разработан и изготовлен двухпоршневой растворобетононасос с горизонтально расположенными цилиндрами, прямооточной загрузкой и тарельчатыми клапанами (табл. 1).

Таблица 1 Техническая характеристика растворобетононасоса

Параметры	Значения
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	4–4,5
Максимальный размер заполнителя, мм	8–10
Мощность электродвигателя, кВт	5,5
Ход рабочего поршня, мм	100
Ход компенсационного поршня, мм	70
Предельная дальность подачи, м:	
по горизонтали	100
по вертикали	15
Рабочее давление, МПа	4
Габаритные размеры, мм:	
длина	1300
ширина	810
высота	900
Масса, кг	400

Одной из особенностей конструкции данного растворобетононасоса (рис. 1) является возможность тарельчатых клапанов при работе насоса за счет увеличенной площади проходного сечения, образованного между основанием клапана и отверстием в корпусе насоса, пропускать больший объем бетонной смеси по сравнению с насосами, которые оснащены шаровыми клапанами [1].

Коэффициент полезного действия таких растворобетононасосов определялся на основании результатов исследования такой машины при работе на смесях с полипропиленовой фиброй. Бетонная смесь с полипропиленовой фиброй приготавливалась в трехвальном смесителе.

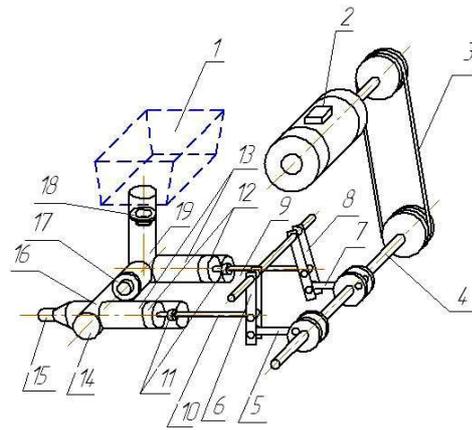


Рис. 1. Двухпоршневой растворобетононасос с горизонтальным расположением цилиндров и тарельчатыми клапанами: 1 – загрузочный бункер; 2 – мотор-редуктор; 3 – клиноременная передача; 4 – коленчатый вал; 5 – шатун компенсационного поршня; 6 – тяга компенсационного поршня; 7 – шатун рабочего поршня; 8 – тяга рабочего поршня; 9 – шток рабочего поршня; 10 – шток компенсационного поршня; 11 – шарнирно-упорные подпятники рабочего и компенсационного поршней; 12 – рабочий и компенсационный поршни; 13 – цилиндры рабочего и компенсационного поршней; 14 – колонка растворобетононасоса; 15 – выпускной патрубков бетонной смеси; 16 – компенсационная камера растворобетононасоса; 17,18 – тарельчатые клапаны; 19 – рабочая камера растворобетононасоса

Вначале перемешивались сухие компоненты смеси с полипропиленовой фиброй. Вода добавлялась после достижения однородности сухой бетонной смеси с фибровыми включениями. В сухую бетонную смесь вводились уже заранее нарезанные фибровые элементы. Более эффективно организовать нарезку фибры и ее подачу в смеситель непосредственно в процессе перемешивания компонентов смеси в рабочем пространстве машины. Такой подход позволяет исключить вероятность комкования фибры и существенно уменьшить время на приготовление фибробетонной смеси. Длина бетоновода, по которому после растворобетононасоса транспортировалась фибробетонная смесь,  $l = 3$  м. В качестве плана эксперимента был выбран ортогональный план второго порядка, обеспечивающий равенство нулю всех ковариаций между коэффициентами в уравнении регрессии и наивысшую точность вблизи

центра плана. В качестве функции был принят объемный коэффициент полезного действия –  $Y$ ,  $\eta_{об}$ , в качестве аргументов следующие факторы:  $X_1$  – содержание полипропиленовой фибры в  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси,  $\Phi$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $X_2$  – подвижность бетонной смеси  $\Pi$  (см);  $X_3$  – частота вращения коленчатого вала растворобетонасоса  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ).

При этом диапазоны варьирования переменными составляют для:  $\Phi$  – 0,6–3,0  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\Pi$  – 6–20 см;  $n$  – 50–100  $\text{мин}^{-1}$ .

При проведении экспериментов использовался портландцемент марки М400. Состав бетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$  бетона: Ц = 350 кг, песок = 900 кг, щебень = 900 кг, В/Ц = 0,42...0,44; максимальный размер заполнителя  $d_{\text{max}} = 10$  мм; волокно армирующее полипропиленовое ВАП ТУ У 32781078.002-2004.

Основные характеристики плана эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2 План эксперимента

Характеристика	Кодовое значение фактора	Содержание фибры	Подвижность бетонной смеси	Частота вращения колен. вала
		$\Phi$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$\Pi$ , см	$n$ , об/мин
Основной уровень	$X_i$	1,8	13	75
Интервал варьирования	$Dx_j$	1,2	7	25
Верхний уровень	1	3	20	100
Нижний уровень	-1	0,6	6	50
Звездные точки	1,414	3,50	22,90	110,35
	-1,414	0,10	3,10	39,65

В результате реализации полного трехфакторного эксперимента [2, 3] получено уравнение регрессии, значимость коэффициентов которого проверялась по критерию Стьюдента. Определение уравнения регрессии и проверка адекватности проводились на ПЭВМ с использованием программы «Matchcad-11».

Полученное уравнение регрессии в окончательном виде при пренебрежении незначимыми коэффициентами в кодированном виде выглядит следующим образом

$$y = 0,813 - 0,047x_1 + 0,123x_2 - 0,022x_3 + 0,074x_1^2 - 0,125x_2^2 - 0,06x_3^2 + x_1x_2 - 0,013x_1x_3. \quad (1)$$

Для перехода от безразмерных кодированных значений исследуемых факторов к физическим переменным можно использовать зависимости (2).

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{\Phi - \Phi_{\text{cp}}}{\Delta\Phi} = \frac{\Phi - 1,8}{1,2} \\ x_2 &= \frac{\Pi - \Pi_{\text{cp}}}{\Delta\Pi} = \frac{\Pi - 13}{7} \\ x_3 &= \frac{n - n_{\text{cp}}}{\Delta n} = \frac{n - 75}{25} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Полученное уравнение (1) позволяет построить парные графические зависимости  $\eta_{об} = \varphi_1(\Phi)$ ,  $\eta_{об} = \varphi_2(\Pi)$ ,  $\eta_{об} = \varphi_3(n)$  и проанализировать влияние указанных факторов на исследуемую функцию.

Зависимость объемного КПД двухпоршневого растворобетонасоса от содержания полипропиленовой фибры представлена на рис. 2.

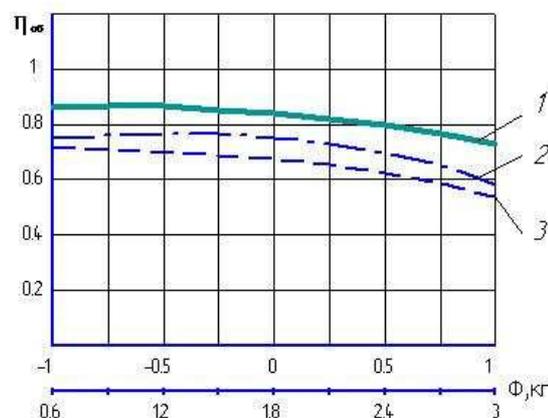


Рис. 2. Зависимость объемного КПД двухпоршневого растворобетонасоса от содержания полипропиленовой фибры: 1 – при подвижности смеси  $\Pi = 13$  см и частоте вращения  $n = 75$  об/мин; 2 – при подвижности смеси  $\Pi = 6$  см и частоте вращения  $n = 50$  об/мин; 3 – при подвижности смеси  $\Pi = 20$  см и частоте вращения  $n = 100$  об/мин

Зависимость объемного коэффициента полезного действия от подвижности фибробетонной смеси представлена на рис. 3.

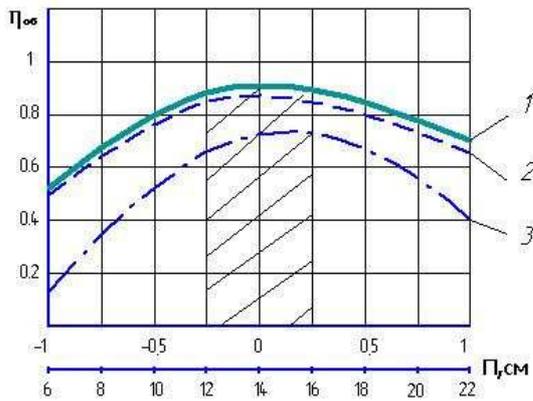


Рис. 3. Зависимость объемного КПД двухпоршневого растворобетононасоса от подвижности бетонной смеси: 1 – при содержании фибры  $\Phi = 1,8 \text{ кг/м}^3$  и частоте вращения  $n = 75 \text{ об/мин}$ ; 2 – при содержании фибры  $\Phi = 0,6 \text{ кг/м}^3$  и частоте вращения  $n = 50 \text{ об/мин}$ ; 3 – при содержании фибры  $\Phi = 3 \text{ кг/м}^3$  и частоте вращения  $n = 100 \text{ об/мин}$

На рис. 4 объемный коэффициент полезного действия представлен как функция от частоты вращения коленчатого вала растворобетононасоса.

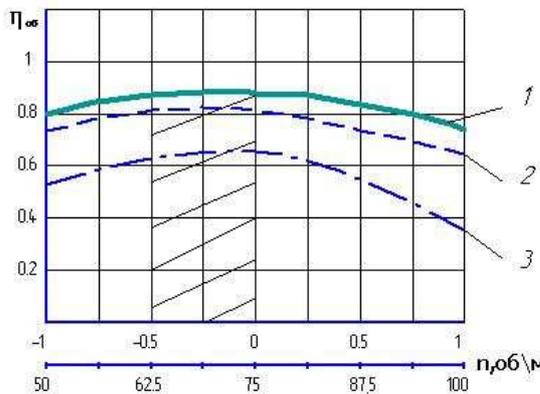


Рис. 4. Объемный КПД двухпоршневого растворобетононасоса в зависимости от частоты вращения коленчатого вала: 1 – при подвижности смеси  $\Pi = 13 \text{ см}$  и содержании фибры  $\Phi = 1,8 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – при подвижности смеси  $\Pi = 20 \text{ см}$  и содержании фибры  $\Phi = 3 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – при подвижности смеси  $\Pi = 6 \text{ см}$  и содержании фибры  $\Phi = 0,6 \text{ кг/м}^3$

Таким образом, графические зависимости (рис. 2, 3, 4) показывают, что наиболее высокий коэффициент полезного действия двухпоршневого растворобетононасоса с тарельчатыми клапанами в исследуемом перечне

параметров рабочего процесса при транспортировании фибробетонных смесей на небольшие расстояния  $\eta_{об} = 0,83\text{--}0,85$  достигнут при содержании полипропиленовой фибры  $\Phi = 0,6\text{--}1,5 \text{ кг/м}^3$ , подвижности бетонной смеси  $\Pi = 12\text{--}16 \text{ см}$  и частоте вращения коленчатого вала  $n = 60\text{--}75 \text{ мин}^{-1}$ . Характер кривых всех исследованных зависимостей свидетельствует о том, что наименьшее влияние на величину объемного коэффициента полезного действия насоса оказывает принятый диапазон содержания полипропиленовой фибры. Наиболее существенное влияние на  $\eta_{об}$  насоса оказывает частота вращения коленчатого вала и подвижность фибробетонной смеси.

### Выводы

1. Для приготовления однородных бетонных смесей с полипропиленовой фиброй может быть использован трехвалный бетоносмеситель.
2. Двухпоршневые растворобетононасосы позволяют транспортировать бетонные смеси с полипропиленовой фиброй при следующих параметрах рабочего процесса:  $\Phi = 0,6\text{--}1,5 \text{ кг/м}^3$ ,  $\Pi = 12\text{--}16 \text{ см}$ ,  $n = 60\text{--}75 \text{ мин}^{-1}$  (длина транспортного бетоновода  $L = 3 \text{ м}$ ).
3. При транспортировании бетонных смесей с содержанием полипропиленовой фибры  $\Phi$  до  $3 \text{ кг/м}^3$  объемный коэффициент полезного действия растворобетононасоса существенных изменений не претерпевает. Его максимальная величина  $\eta_{об} = 0,83\text{--}0,85$  достигнута при изменении содержания  $\Phi$  от  $0,6$  до  $1,5 \text{ кг/м}^3$ .

### Литература

1. Особенности работы двухпоршневого растворобетононасоса с тарельчатым клапаном // И.А. Емельянова, А.А. Задорожный, А.С. Непорожнев и др. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХГТУСА, 2009. – Вип. 54. – С. 201–204.
2. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1974.
3. Егоршин А.А. Корреляционно-регрессионный анализ / А.А. Егоршин, Л.М. Малярец. – Харьков: Основа, 1998. – 208 с.

Рецензент: А.Г. Маслов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 6 июня 2012 г.