

УДК 621.926.5

Емельянова И. А., Чайка Д. О.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ШЛАНГОВОГО БЕТОНОНАСОСА С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА.

Монолитное бетонирование, на сегодняшний день, является одной из самых развивающихся отраслей в современном строительстве. Увеличение объемов работ, выполняемых при монолитном бетонировании, а также повышенное число аварийных объектов, возведенных из железобетона, которые нуждаются в восстановлении, требуют разработки новых машин для выполнения таких работ, которые, прежде всего, обладают улучшенными техническими характеристиками и большей надежностью по сравнению с существующими.

При возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона эффективно могут использоваться беспоршневые шланговые бетононасосы с гидравлическим приводом, которые по сравнению с действующими гидравлическими поршневыми, при одной и той же производительности, имеют следующие преимущества [1-3]:

- упрощенная принципиальная схема машины;
- сниженные металлоемкость и энергозатраты;
- компактность конструктивного решения и малые затраты времени на их обслуживание.

Предлагается универсальный беспоршневой шланговый бетононасос с гидравлическим приводом (рис. 1), разработанный на кафедре механизации строительных процессов Харьковского национального университета строительства и архитектуры и который запатентован в Украине [4-6].

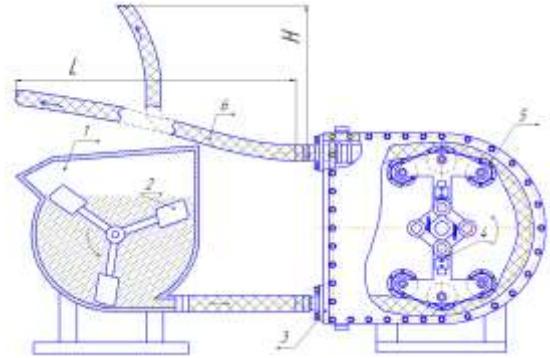


Рис. 1. Принципиальная схема универсального беспоршневого шлангового бетононасоса с гидравлическим приводом.

1 – загрузочный бункер; 2 – смеситель-возбудитель; 3 – корпус бетононасоса; 4 – ротор; 5 – прижимные ролики; 6 – гибкий транспортирующий шланг.

Универсальность такого бетононасоса обеспечивается:

- возможностью работы на шлангах диаметрами $d_{шл} = 32 \dots 75$ мм в широком диапазоне производительностей;
- плавным изменением рабочих режимов благодаря использованию гидравлического привода.

Универсальный шланговый бетононасос успешно может применяться в технологическом комплекте малогабаритного оборудования при изготовлении железобетонных изделий неправильной геометрической формы, безопалубочном бетонировании, возведении различных монолитных конструкций способом мокрого торкретирования.

Одним из примеров является технологическая схема, представленная на рис. 2.

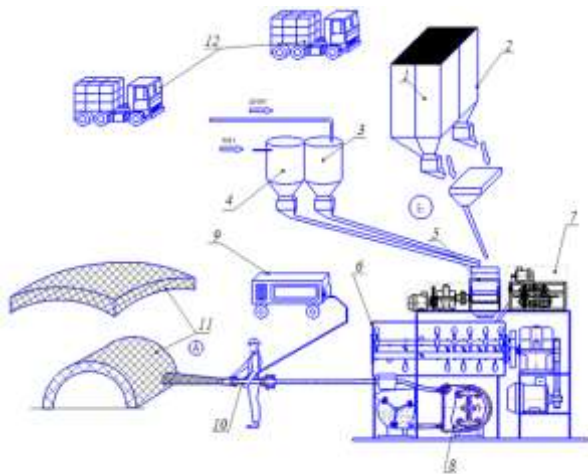


Рис. 2. Технологическая схема изготовления железобетонных конструкций неправильной геометрической формы способом мокрого торкретирования непосредственно на строительной площадке.

1 – бункер с песком; 2 – бункер со щебнем; 3 – бункер с цементом; 4 – емкость для воды; 5 – ленточный питатель; 6 – трехвальный бетоносмеситель; 7 – автомат-резчик фибры; 8 – универсальный шланговый бетононасос; 9 – компрессор; 10 – торкрет-сопло; 11 – торкретируемые конструкции неправильной геометрической формы; 12 – грузовик для транспортирования материалов; А – зона торкрет-работ; Б – бетоносмесительный узел.

Данный технологический комплект работает следующим образом: заранее взвешенные в дозаторах компоненты бетонной смеси (песок, щебень, цемент, вода), которые поступают из емкостей для хранения 1-4, подаются ленточным питателем 5 в трехвальный бетоносмеситель 6. Одновременно с процессом перемешивания происходит нарезка полипропиленового волокна автоматом-резчиком фибры 7 и подача нарезанной фибры в бетоносмеситель. С бетоносмесителя через разгрузочный патрубок приготовленная бетонная смесь попадает в беспоршневой универсальный шланговый бетононасос 8, который обеспечивает нагнетание готовой рабочей смеси по трубопроводу к соплу 10, также к соплу компрессором 9 подается сжатый воздух. Поток бетонной смеси, разгоняемый воздухом, наносится на торкретируемые элементы неправильной геометрической формы 11.

Универсальный шланговый бетононасос также может быть установлен на авто-

бетононасос с манипулятором и использоваться для выполнения торкрет-работ при укреплении горных массивов, строительстве или ремонте шахт, канализационных коллекторов, тоннелей или транспортировании бетонной смеси в труднодоступные места (рис. 3).

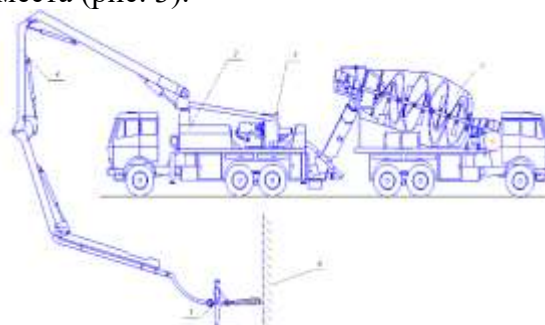


Рис. 3. Технологическая схема проведения работ способом мокрого торкретирования с использованием технологического комплекса оборудования, содержащего шланговый бетононасос с манипулятором.

1 – автобетоносмеситель; 2 – автобетононасос с манипулятором; 3 – универсальный шланговый бетононасос; 4 – стрела автобетононасоса; 5 – торкрет-сопло; 6 – торкретируемая поверхность.

Использование универсального шлангового бетононасоса с гидравлическим приводом обеспечивает более эффективное выполнение работ за счет того, что машина работает в плавном сбалансированном режиме. Ранее проведенные исследования показывают, что новый бетононасос имеет улучшенные технические характеристики по сравнению с существующими аналогами. Исследования процесса транспортирования бетонных смесей показывают, что бетононасос с гидравлическим приводом, по сравнению с механическим, позволяет уменьшить пульсации подачи смеси по трубопроводу на 15% [7]. Использование на данном насосе гидравлического привода в 10 раз продлевает время безотказной работы бетононасоса в сравнении с механическим приводом [8]. Надежность работы предлагаемого универсального шлангового бетононасоса с учетом конструктивных особенностей ротора и динамических характеристик гидромотора, выше существующих шланговых бетононасосов, о чем свидетельствует расчет рабочих циклов машин: срок службы нового шлангового бетононасоса

на 25% больше, чем у действующих аналогов.

Возможности транспортирования бетонных смесей универсальным шланговым бетононасосом определяются исходя из производительности и рабочего давления, создаваемого бетононасосом [9].

Во время транспортировки как подвижных, так и малоподвижных строительных смесей, по гибкому трубопроводу с учетом их свойств, производительность универсального шлангового бетононасоса может быть найдена согласно модели Шведова-Бингама [10]:

$$Q_{\text{техн}} = \frac{\pi R_{\text{тр}}^3}{4\mu} \cdot \left(\frac{\Delta p \cdot R_{\text{тр}}}{2L_{\text{тр}}} - \frac{4}{3} \tau_0 \right) \quad (1)$$

где $R_{\text{тр}}$ – радиус трубопровода; μ – динамическая вязкость транспортируемой бетонной смеси; Δp – перепад давления на концах транспортирующего трубопровода; $L_{\text{тр}}$ – длина шланга (трубопровода), по которому транспортируется строительная смесь; τ_0 – предельное напряжение сдвига.

Перепад давления на концах гибкого трубопровода длиной $L_{\text{тр}}$ определяется как:

$$\Delta p = p_{\text{н}} - p_{\text{вых}} \quad (2)$$

где $p_{\text{н}}$ – давление, под которым строительная смесь поступает в транспортный трубопровод исходя из рабочей части шланга, который расположен в корпусе бетононасоса, под давлением ролика; $p_{\text{вых}}$ – давление на выходе из транспортной магистрали.

Давление нагнетания, которое должен создать насос для перекачки смеси, будет определяться в пределах угла φ и с учетом действующих сил трения в процессе нагнетания бетонной смеси:

$$p_{\text{н}} = \frac{4 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R_{\text{р}} \cdot \varphi \cdot f}{\lambda \cdot \pi (D_{\text{тр}} - 2\delta_{\text{тр}})^2} \quad (3)$$

где m – масса ролика, который пережимает гибкий шланг; ω – угловая скорость ротора бетононасоса; $R_{\text{р}}$ – радиус ротора бетононасоса по торцу ролика; φ – зона рабочего

процесса нагнетания бетонной смеси; f – коэффициент трения ролика по шлангу, который вращается с ротором при угловой скорости ω ; λ – коэффициент сопротивления движению бетонной смеси по трубопроводу; $D_{\text{тр}}$ – внешний диаметр трубопровода; $\delta_{\text{тр}}$ – толщина стенки трубопровода.

Давление на выходе из транспортной магистрали универсального шлангового бетононасоса длиной $L_{\text{тр}}$, определяется по формуле:

$$p_{\text{вых}} = \frac{4 \cdot Q_{\text{техн}} \cdot \rho_0 \cdot v_{\text{ср}}^2 \cdot \mu}{\pi \cdot \lambda \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot L_{\text{тр}} \cdot \tau_0} \quad (4)$$

где $Q_{\text{техн}}$ – производительность универсального шлангового бетононасоса в диапазоне (5 ... 15 м³/ч); $d_{\text{тр}}$ – внутренний диаметр трубопровода.

Определив перепад давления на концах трубопровода согласно формуле (2) дальность подачи бетонной смеси бетононасосом определяется как:

$$L = \frac{d_{\text{тр}} \cdot \Delta p}{\lambda \left(\rho_0 \cdot \frac{v_{\text{ср}}^2}{2} \right)} \quad (5)$$

где ρ_0 – средняя плотность смеси, которая транспортируется по трубопроводу; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения строительной смеси по транспортному трубопроводу;

Высота подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом может быть определена согласно зависимости:

$$H = \frac{\Delta p - \frac{8 \cdot \mu \cdot L_{\text{тр}}}{\pi R_{\text{тр}}^4} \cdot \left(p_{\text{техн}} + \frac{\pi \cdot R_{\text{тр}}^3 \cdot \tau_0}{3\mu} \right)}{\rho_0 \cdot g}$$

где $R_{\text{тр}}$ – радиус трубопровода; g – ускорение свободного падения.

Используя предложенную методику, определены параметры подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом по транспортному трубопроводу. Полученные данные сведены в табл. 1.

Таблица 1 - Параметры подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом

L, м	H, м	Δр, Па		
		Q _{техн} = 5	Q _{техн} = 10	Q _{техн} = 15
5	2,75	1×10 ⁴	6,4×10 ⁴	7,6×10 ⁴
10	5,49	8,764×10 ⁵	1,797×10 ⁶	2,676×10 ⁶
15	8,25	1,165×10 ⁶	2,375×10 ⁶	3,543×10 ⁶
20	10,99	1,31×10 ⁶	2,663×10 ⁶	3,976×10 ⁶
25	13,75	1,396×10 ⁶	2,837×10 ⁶	4,236×10 ⁶
30	16,49	1,454×10 ⁶	2,952×10 ⁶	4,409×10 ⁶
35	19,24	1,495×10 ⁶	3,035×10 ⁶	4,533×10 ⁶
40	21,99	1,526×10 ⁶	3,097×10 ⁶	4,626×10 ⁶
45	24,74	1,547×10 ⁶	3,145×10 ⁶	4,698×10 ⁶
50	27,49	1,57×10 ⁶	3,183×10 ⁶	4,756×10 ⁶
55	30,24	1,585×10 ⁶	3,215×10 ⁶	4,803×10 ⁶
60	32,99	1,599×10 ⁶	3,241×10 ⁶	4,843×10 ⁶
65	35,74	1,61×10 ⁶	3,263×10 ⁶	4,876×10 ⁶
70	38,49	1,619×10 ⁶	3,282×10 ⁶	4,905×10 ⁶
75	41,24	1,627×10 ⁶	3,299×10 ⁶	4,929×10 ⁶
80	43,99	1,635×10 ⁶	3,313×10 ⁶	4,951×10 ⁶
85	46,73	1,641×10 ⁶	3,326×10 ⁶	4,97×10 ⁶
90	49,48	1,647×10 ⁶	3,337×10 ⁶	4,987×10 ⁶
95	52,23	1,652×10 ⁶	3,348×10 ⁶	5,002×10 ⁶
100	54,98	1,656×10 ⁶	3,353×10 ⁶	5,016×10 ⁶
110	60,48	–	–	5,04×10 ⁶
120	65,98	–	–	5,059×10 ⁶
130	71,48	–	–	5,076×10 ⁶

При проведении торкрет-работ мокрым способом давление на выходе из транспортной магистрали должно быть не менее 0,2 МПа, величина которого лимитирует дальность транспортировки строительной смеси по трубопроводу [11].

Параметры рабочего процесса универсального шлангового бетононасоса приведены как зависимости рабочих давлений бетононасоса от определенной производительности и необходимой дальности подачи, результаты исследований сведены в табл. 2.

Приведенные данные таблицы 2 позволяют прогнозировать возможности работы шлангового бетононасоса с учетом конкретных условий его использования.

Выводы

1. Показана принципиальная схема нового универсального шлангового бетононасоса с гидравлическим приводом и описаны преимущества данной машины в сравнении с действующими аналогами, что подтверждено результатами проведенных исследований.
2. Представлены перспективные направления использования универсального шлангового бетононасоса и показаны технологические схемы, в которых может быть использован беспоршневой бетононасос.

Таблица 2 - Зависимость необходимой длины транспортного трубопровода от производительности шлангового бетононасоса при различных величинах рабочего давления.

L _{тр} , м	Q _{техн} = 5 м ³ /ч	Q _{техн} = 10 м ³ /ч	Q _{техн} = 15 м ³ /ч
	p _н = 1,747×10 ⁶ ,	p _н = 3,53×10 ⁶ , Па	p _н =
	p _{вых} , Па	p _{вых} , Па	p _{вых} , Па
5	1,733×10 ⁶	3,466×10 ⁶	5,2×10 ⁶
10	8,666×10 ⁵	1,733×10 ⁶	2,6×10 ⁶
15	5,777×10 ⁵	1,155×10 ⁶	1,733×10 ⁶
20	4,333×10 ⁵	8,666×10 ⁵	1,3×10 ⁶
25	3,466×10 ⁵	6,933×10 ⁵	1,04×10 ⁶
30	2,889×10 ⁵	5,777×10 ⁵	8,666×10 ⁵
35	2,476×10 ⁵	4,952×10 ⁵	7,428×10 ⁵
40	2,166×10 ⁵	4,333×10 ⁵	6,499×10 ⁵
45	1,962×10 ⁵	3,852×10 ⁵	5,777×10 ⁵
50	1,733×10 ⁵	3,466×10 ⁵	5,2×10 ⁵
55	1,576×10 ⁵	3,151×10 ⁵	4,727×10 ⁵
60	1,444×10 ⁵	2,889×10 ⁵	4,333×10 ⁵
65	1,333×10 ⁵	2,666×10 ⁵	4×10 ⁵
70	1,238×10 ⁵	2,476×10 ⁵	3,714×10 ⁵
75	1,155×10 ⁵	2,311×10 ⁵	3,466×10 ⁵
80	1,083×10 ⁵	2,166×10 ⁵	3,25×10 ⁵
85	1,02×10 ⁵	2,039×10 ⁵	3,059×10 ⁵
90	9,629×10 ⁴	1,926×10 ⁵	2,889×10 ⁵
95	9,122×10 ⁴	1,824×10 ⁵	2,737×10 ⁵
100	8,666×10 ⁴	1,773×10 ⁵	2,6×10 ⁵
110	–	–	2,363×10 ⁵
120	–	–	2,166×10 ⁵
130	–	–	2×10 ⁵

Результаты проведенных исследований показали возможность использования универсального шлангового бетононасоса для транспортировки бетонной смеси на заданную длину или высоту, в соответствующем рабочем режиме.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Daszczenko, A. *Hydraulika: Maszyny hydrauliczne* [Text] / A. Daszczenko, J. Glinski, E. Krasowski et al. – Lublin: Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie, 2010. – 385 p.
2. Henikl, J. Estimation and control of the tool center point of a mobile concrete pump [Text] / J. Henikl, W. Kemmetmiller, A. Kugi // *Automation in Construction*. – 2016. – Vol. 61. – P. 112–123.
3. József klespitz, levente kovács. *Peristaltic pumps – a review on working and control*

possibilities/ SAMI 2014, IEEE 12th international symposium on applied machine intelligence and informatics, January 23–25, 2014, Herl’any, Slovakia, pp. 191–194.

4. Патент України № 112585 від 26.09.2016 «Універсальний шланговий бетононасос». Ємельянова І.А., Задорожний А.О., Клименко М.В., Чайка Д.О.
5. Ємельянова І. А., Чайка Д. О. Беспоршневые универсальные бетононасосы нового конструктивного решения с гидравлическим приводом для условий строительной площадки //Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – №. 159. С. 33 –39.
6. Чайка Д. О., Ємельянова І. А., Андренко П. М. Розробка математичної моделі гідравлічної системи універсального

- шлангового бетононасоса //Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 2. – №. 7 (80). С. 32–42.
7. Ємельянова І. А., Андренко П. М., Чайка Д. О. Оцінка надійності безпоршневого шлангового універсального бетононасоса на стадії його проектування //Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – №. 162. С. 5–11.
 8. Ємельянова І. А., Андренко П. М., Чайка Д. О. Степень неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом как функция параметров рабочего процесса// Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – №. 165. С. 69–77.
 9. Emeljanova I., Andrenko P., Chayka D. Determination of capacities of concrete mix transportation by universal hydraulic hose concrete pumps under the conditions of a construction site// Norwegian Journal of development of the International Science. – 2017. – №3 Vol.1. - pp. 84 – 90.
 10. Меленцов Н.А. Создание растворобетононасоса с повышенной пропускной способностью клапанных узлов и стабильной подачей бетонных смесей: Диссертация кандидата технич. наук: 05.05.02/ Меленцов Николай Алексеевич. – Харьков, 2014 – 176 с.
 11. Ємельянова І.А. Двухпоршневые растворобетононасосы для условий строительной площадки: Монография / И.А. Ємельянова, А.А. Задорожный, С.А. Гузенко, Н.А. Меленцов/ под ред. Ємельяновой І.А. – Харьков: Тимченко А.Н., 2011. – 196 с.

Рецензент: д-р техн. наук Н.С. Болотских

УДК 614.84

Грицына И.Н., Виноградов С.А.

Национальный университет гражданской защиты Украины

Грицына Н.И.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Введение. Основным фактором успеха аварийно-спасательных работ при разборе завалов разрушенных зданий является – время, затраченное на проведение данных работ. Время зависит от умений правильно организовывать аварийно-спасательные работы (АСР), а также от технического оснащения спасательных подразделений.

Результаты исследований. Наиболее полно вопрос о применении аварийно-спасательного инструмента (АСИ) рассмотрен в [1]. В любом АСИ реализуется разрушение сжатием, тогда как, большая часть строительных материалов на сжатие работает намного лучше, чем на растяжение. Чередование напряжений сжатия и растяжения выше предельных значений при разрушении конструкций позволит

повысить производительность инструмента. Реализовать знакопеременные напряжения в конструкции можно с использованием импульсной ультразвуки. Взаимодействие импульсной струи жидкости и твердотельной преграды рассматривалось в [2, 3].

При воздействии импульсной струи жидкости на поверхность хрупких и недостаточно пластичных материалах, к которым следует отнести бетон и кирпич, при скоростях удара, превышающих критическую скорость разрушения, образуются трещины. Сначала в зоне прохождения волны преобладают напряжения сжатия, но после того, как от контактной области отделяется волна сдвига, на значительное расстояние по радиусу распространяются