

- порошкообразных компонентов сварочных материалов. // Вестник ПСТУ, 2012. – с. 76-84.
14. Олейник К. А. Алгоритм определения диаметра Фере объекта. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, 1998. – Вып. 3, с. 55-56.
 15. Погорелов В. А. Влияние гранулометрического состава бетонной смеси на структурное преобразование бетонной прочности. // Вестник МГСУ, 2010. – 1, с. 200-206.
 16. Трапезников И.Н. Разработка и анализ системы распознавания автомобильных регистрационных знаков. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ярославль, 2014. – 136с.
 17. Стругайло В. В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений. // Наука и образование, 2012. – №5, с. 270-279.
 18. Фомин А. А. Алгоритмы многомасштабной фильтрации изображений с произвольным коэффициентом изменения масштаба в практике дефектоскопических исследований. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань, 2009. – 162с.
 19. Ходарев А., Моржин А., Желтов С., Визильер Ю., Князь В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision. – ДМК Пресс, 2016. – 464с.

Тесленко М. Г. СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ЗРІЗУ МАТЕРІАЛУ. Дослідження присвячене розробці автоматизованої системи для проведення гранулометричного аналізу зрізу бетону та асфальтобену. джерелом інформації для вимірювань є цифрове зображення. Автоматизована система містить алгоритми фільтрації та бінарзації зображення. У дослідженні вирішуються такі задачі, як підрахунок кількості заповнювачів, аналіз їх площі, форми та розташування на зрізі. Для вирішення поставлених задач розробляється спеціалізоване програмне забезпечення.
Ключові слова: комп'ютерний зір, аналіз гранулометричного складу, бінарзація, діаметр Фере, аналіз часток.

Тесленко М. Г. СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА СРЕЗА МАТЕРИАЛА. Исследование посвящено разработке автоматизированной системы для проведения гранулометрического анализа среза бетона и асфальтобетона. Источником информации для измерений служит цифровое изображение. Автоматизированная система содержит алгоритмы фильтрации и бинаризации изображения. В исследовании решаются такие задачи, как подсчет заполнителей, анализ их площади, формы и расположения на срезе. Для решения поставленных задач разрабатывается специализированное программное обеспечение.
Ключевые слова: компьютерное зрение, бинаризация, анализ гранулометрического состава, диаметр Фере, анализ частиц.

УДК 624.151.2

Болотских Н.С., Болотских Н.Н.

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: kstuca@ukr.net)*

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОГИБАЮЩИЕ БЕЗРАЗМЕРНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОСТРУЙНЫХ НАСОСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УСТАНОВКАХ СТРОИТЕЛЬНОГО ВОДОПОНИЖЕНИЯ

В статье описаны особенности рабочего режима водоструйных насосов, используемых для создания вакуума в установках строительного водопонижения, выведены аналитические зависимости и построены безразмерные вакуумные характеристики, анализ которых позволил получить интегральные огибающие характеристики, являющиеся геометрическим местом точек, соответствующих максимальным значениям КПД водоструйных насосов, даны рекомендации по применению их в практике проектирования и эксплуатации.

Ключевые слова: водоструйный насос, безразмерная характеристика, вакуум, водопонижение.

Введение. Водоструйные насосы (гидроэлеваторы, элеваторы) широко используются во многих странах. Они, в частности, применяются в системах теплоснабжения различных объектов [1-3], для откачки воды из артезианских скважин [4], водоотлива в угольной и горнорудной промышленности [5-7], создания вакуума в установках строительного водопонижения [8-11] и др.

Исследованиям и разработке методов расчета этих насосов посвящено достаточно большое количество опубликованных работ [1, 3, 4, 6, 7, 10-14]. В этих работах описаны различные методики определения параметров водоструйных насосов с учетом специфики условий их применения, приведены весьма ценные рекомендации по повышению эффективности их рабочих режимов. Эти методики позволяют рассчитывать и строить напорные и вакуумные характеристики водоструйных насосов, используемых для откачки и перемещения воды. Вместе с тем приходится констатировать то, что работа водоструйных насосов, используемых для создания вакуума в установках строительного водопонижения [5, 8, 10], изучена еще недостаточно. Необходима методика расчета, позволяющая рассчитывать рабочие режимы водоструйных насосов не только с максимальными величинами вакуума, но и одновременно с наибольшими значениями их КПД. Настоящая статья направлена именно на решение этой задачи.

Цель статьи – получение аналитических зависимостей для расчета максимальных значений вакуума водоструйных насосов, отвечающих наибольшим величинам их КПД.

Основное содержание. При работе водоструйного насоса в его смесительной камере непрерывно происходит смешение «рабочего» и подсосываемого потоков, двигающихся с различными скоростями. При этом «рабочим» потоком является вода, подводимая обычно центробежным насосом по трубопроводу под напором к насадку, а подсосываемым – поток воды, поступающий по трубопроводу или всасывающему шлангу к водоструйному насосу.

Количественная оценка распределения сообщаемой аппарату энергии между полезной (т.е. используемой насосом для совершения полезной работы) и возможными ее потерями характеризуется секундным балансом энергии или, иначе говоря, балансом мощности. Баланс мощности в данном случае является видоизмененной формой общеизвестного закона сохранения энергии.

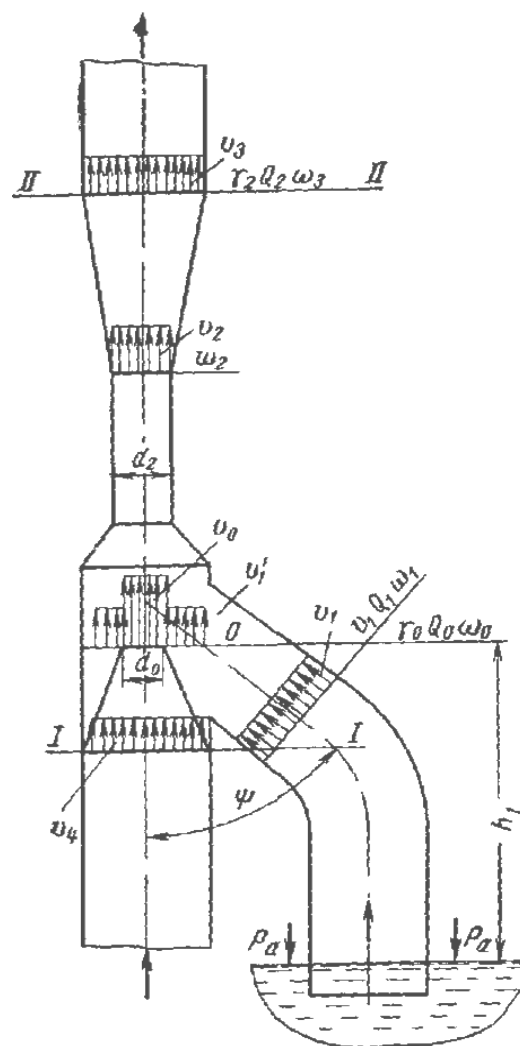


Рис. 1. Расчетная схема водоструйного насоса

На рис. 1 приведена расчетная схема водоструйного насоса. На этой схеме приняты следующие обозначения: γ_0 , γ_1 и γ_2 – соответственно удельные веса «рабочего», подсосываемого и смешанного потоков жидкости. В общем случае $\gamma = \rho \cdot g$, где: ρ – плотность потока; g – ускорение силы тяжести; Q_0 , Q_1 и Q_2 – соответственно объемные расходы «рабочего», подсосываемого

и смешанного потоков; $\omega_0, \omega_1, \omega_2$ и ω_3 – соответственно площади сечений насадка, патрубка при входе подсасываемого потока в смесительную камеру, горловины и трубопровода на выходе из диффузора; V_0, V_1, V_2, V_3 и V_4 – соответственно скорости истечения «рабочего» потока из насадка, подсасываемого потока при входе его в смесительную камеру, смешанного потока в горловине и на выходе из диффузора, «рабочего» потока при подходе его к насадку; P_a – барометрическое давление; d_0 и d_2 – соответственно диаметры насадка и горловины; ψ – угол входа подсасываемого потока в смесительную камеру. Для такой схемы работы водоструйного насоса получено [5] уравнение баланса мощности в виде

$$\begin{aligned} \gamma_0 Q_0 \left(\frac{P_a}{\gamma_0} + H_0 \right) &= \gamma_1 Q_1 \left(H_1 - \frac{P_a}{\gamma_1} \right) + \\ &+ \gamma_2 Q_2 \left(\frac{P_a}{\gamma_2} + H_2 \right) + \gamma_0 Q_0 \frac{(V_0 - V_2)^2}{2g} + \\ &+ \gamma_1 Q_1 \frac{(V_1 \cos \psi - V_2)^2}{2g} + \\ &+ \xi_H \cdot \gamma_0 Q_0 \frac{V_0^2}{2g} + \sum \xi \cdot \gamma_2 Q_2 \frac{V_2^2}{2g}, \end{aligned} \quad (1)$$

где H_0 – напор перед насадком водоструйного насоса; H_1 – вакуумметрическая высота всасывания; H_2 – напор за диффузором водоструйного насоса; ξ_H – коэффициент сопротивления насадка, исчисленный к скоростному напору «рабочего» потока на обресе насадка; $\Sigma \xi$ – суммарный коэффициент сопротивлений конфузора, горловины и диффузора, исчисленный применительно к скоростному напору смешанного потока в горловине.

Введем следующие обозначения:

$\lambda = \frac{H_1}{H_0}$ – коэффициент разрежения водоструйного насоса; $\beta = \frac{H_2}{H_0}$ – коэффициент напора; $X = \frac{Q_1}{Q_0}$ – объемный коэффициент подсасывания; $\delta = \frac{\gamma_1}{\gamma_0}$ – относительный

удельный вес; $\alpha = \delta \cdot X$ – массовый коэффициент подсасывания; $m = \left(\frac{d_2}{d_0} \right)^2$ – основной геометрический параметр (отношение площадей сечений горловины и насадка); $n = \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2$ – отношение площадей сечений входного участка подсасываемого потока при входе его в смесительную камеру и насадка; d_1 – диаметр патрубка при входе подсасываемого потока в смесительную камеру.

С учетом этих обозначений после соответствующих преобразований уравнения (1) получено [14] выражение для построения вакуумной безразмерной характеристики водоструйного насоса в виде

$$\lambda = \frac{\beta - K}{K - 1}, \quad (2)$$

где

$$K = \frac{2 \frac{\delta + \alpha}{\delta m} - \alpha \left(\frac{\alpha \cos \psi}{\delta n} - \frac{\delta + \alpha}{\delta m} \right)}{(1 + \xi_n)(1 + \alpha)} - \frac{(1 + \sum \xi + \alpha \sum \xi) \cdot \left(\frac{\delta + \alpha}{\delta m} \right)^2}{(1 + \xi_n)(1 + \alpha)}$$

При этом разрежение в смесительной камере водоструйного насоса выражается формулой

$$H_1 = \frac{H_0(\beta - K)}{K - 1}. \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия водоструйного насоса представляет собой отношение мощности, используемой на подсасывание и перемещение подсасываемого потока жидкости, ко всей подведенной к аппарату мощности, т.е.

$$\eta_e = \frac{\gamma_1 Q_1 (H_1 + H_2)}{\gamma_0 Q_0 H_0} \quad (4)$$

или в безразмерных параметрах

$$\eta_e = \alpha(\beta + \lambda). \quad (5)$$

Это выражение может быть представлено также в виде [14]

$$\eta_e = \frac{\alpha(1+\lambda)}{(1+\xi_n)(1+\alpha)} \left[2 \frac{\delta+\alpha}{\delta m} - \alpha \left(\frac{\alpha \cos \psi}{\delta m} - \frac{\delta+\alpha}{\delta m} \right)^2 - \left(1 + \sum \xi + \alpha \sum \xi \right) \cdot \left(\frac{\delta+\alpha}{\delta m} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Експериментально доказано, что на безразмерные характеристики водоструйного насоса наибольшее влияние оказывает основной геометрический параметр m . С учетом этого по формулам (2) и (6) для различных значений основного геометрического параметра m водоструйного насоса при постоянных величинах ξ_n , $\sum \xi$ и ψ построены безразмерные вакуумные характеристики $\lambda = f(\alpha)$ и КПД $\eta_e = f_1(\alpha)$, приведенные на рис. 2 (пунктирные линии).

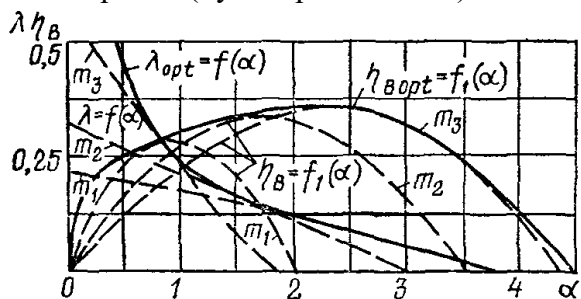


Рис. 2. Безразмерные характеристики $\lambda = f(\alpha)$, $\eta_e = f_1(\alpha)$ и интегральные огибающие характеристики $\lambda_{opt} = f(\alpha)$ и $\eta_{e opt} = f_1(\alpha)$ при: $m_1 = 4$; $m_2 = 6$; $m_3 = 8$; $\delta = 0,95$ (при подсасывании из грунта вместе с водой некоторого количества воздуха); $\xi_n = 0,05$; $\sum \xi = 0,32$; $\psi = 45^\circ$; $\beta = 0,05$

Анализ графиков $\lambda = f(\alpha)$ и $\eta_e = f_1(\alpha)$ и их функциональных зависимостей показывает, что для различных фиксированных значений основного геометрического параметра m можно построить семейства кривых. Причем каждая кривая будет иметь одну общую точку с некоторой кривой, называемой огибающей семейства. Ввиду того, что каждого отрезка огибающих семейств касается бесконечное множество кривых, построенных по уравнениям (2) и (6), то соответствующие огибающие этих семейств являются интегральными кривыми.

В общем виде интегральная огибающая семейства кривых определяется системой уравнений

$$\begin{cases} \phi(x, y, c) = 0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial c} = 0 \end{cases}, \quad (7)$$

где ϕ – функция; x, y – переменные величины; c – величина, принимающая фиксированные значения.

В рассматриваемом нами случае интегральная огибающая семейства кривых $\lambda = f(\alpha)$ определяется системой двух уравнений

$$\begin{cases} \lambda = f(\alpha, m) \\ \frac{\partial \lambda}{\partial m} = 0 \end{cases}, \quad (8)$$

а интегральная огибающая семейства кривых $\eta_e = f_1(\alpha)$ системой

$$\begin{cases} \eta_e = f_1(\alpha, m) \\ \frac{\partial \eta_e}{\partial m} = 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Найдем уравнения для построения интегральных огибающих семейства кривых $\lambda = f(\alpha)$ и $\eta_e = f_1(\alpha)$. Для этого согласно формул (8) и (9) исключим параметр m . При этом получаем

$$m_{opt} = \frac{(1 + \sum \xi)(\delta + \alpha)(1 + \alpha)n}{\delta n + \alpha^2 \cdot \cos \psi}, \quad (10)$$

$$\lambda_{opt} = \frac{\beta - K'}{K' - 1}, \quad (11)$$

$$K' = \frac{1}{(1 + \xi_n)(1 + \alpha) \cdot \delta^2 n^2} \times$$

где $\times \left[\frac{(\delta n + \alpha^2 \cos \psi)^2}{(1 + \sum \xi)(1 + \alpha)} - \alpha^3 \cos^2 \psi \right]$ и

$$\eta_{opt} = \frac{\alpha(1 + \lambda)}{(1 + \xi_n)(1 + \alpha) \cdot \delta^2 n^2} \times \left[\frac{(\delta n + \alpha^2 \cos \psi)^2}{(1 + \sum \xi)(1 + \alpha)} - \alpha^3 \cos^2 \psi \right]. \quad (12)$$

На рис. 2 приведены построенные по уравнениям (11) и (12) интегральные огибающие безразмерные характеристики $\lambda_{opt} = f(\alpha)$ и $\eta_{e opt} = f_1(\alpha)$, (показаны сплошными линиями). Эти огибающие кривые являются геометрическим местом точек рабочих режимов, соответствующих максимальным значениям КПД водоструйных насосов, объединенных общностью геометрических параметров и коэффициентов

местных сопротивлений элементов проточной части. При этом значения основного геометрического параметра m для этих оптимальных режимов определяются по выражению (10). На этом рисунке приведены кривые для любых теоретически возможных режимов работы насосов, например, при значениях массового коэффициента подсосывания $\alpha > 4$. На практике же при использовании водоструйных насосов в установках строительного водопонижения для создания вакуума и подсосывания из обводненных грунтов воды такие высокие значения α мало вероятны. Они имеют существенно меньшие значения. Поэтому практическая зона использования приведенных выше интегральных огибающих кривых и отвечающих им формул будет находиться в диапазоне изменений α примерно до 1.

Полученные зависимости (10), (11) и (12) целесообразно использовать при расчетах и проектировании водоструйных (одноструйных) насосов как для новых установок вакуумного водопонижения для определения их оптимальных параметров, так и при эксплуатации уже существующих и используемых в практике строительства для анализа эффективности рабочих режимов в конкретных условиях их применения. Эти расчеты по приведенным выше формулам позволяют в конечном итоге получать более высокие значения КПД водоструйных насосов в установках вакуумного водопонижения и тем самым сокращать расходы электроэнергии при ведении водопонижительных работ.

Выводы

1. Получены аналитические зависимости $\lambda_{opt} = f(\alpha)$ (11) и $\eta_{в\ opt} = f_1(\alpha)$ (12) для построения интегральных огибающих безразмерных характеристик, являющихся геометрическим местом точек рабочих режимов, соответствующих максимальным значениям КПД водоструйных насосов, объединенных общностью геометрических параметров и коэффициентов местных сопротивлений элементов их проточной части.

2. Уравнения (10), (11) и (12) рекомендуются для применения при расчетах и

конструировании водоструйных насосов, входящих в состав установок вакуумного водопонижения с принципиальными схемами, аналогичными УЗВ-2, ПУВВ-1, УВВ-3. С их использованием предоставляется возможность одновременно достигать максимальных значений вакуума и КПД водоструйных насосов в заданных конкретных условиях применения установок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколов Е.Я. Исследование водоструйных насосов (элеваторов) и методика их расчета. [Текст]/М., Известия Всесоюзного ордена Трудового красного знамени теплотехнического института им. Ф.Э. Дзержинского. – № 3. – Госэнергоиздат, 1950. – с. 72-80.
2. Соколова А.И., Зингер Н.М. Струйные аппараты. [Текст] / А.И. Соколова, Н.М. Зингер. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 208с.
3. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве. [Текст] / П.Н. Каменев. – М., Стройиздат, 1970. – 414 с.
4. Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л. К вопросу о расчете струйных аппаратов для подъема воды из артезианских скважин. [Текст] / Сб. статей МВТУ им. Н.Э. Баумана «Гидромашиностроение». – М.: Машгиз, 1957. – 100 с.
5. Болотских Н.С. Оборудование водопонижения в угольной и горнорудной промышленности. [Текст] / Н.С. Болотских. – М.: «Недра», 1973. – 216 с.
6. Безуглов Н.Н., Минчуков А.Н., Ларцев Г.Г. Методика расчета гидроэлеваторных установок для очистки зумпфов скиповых стволов и откачки воды из них. [Текст] / Н.Н. Безуглов, А.Н. Минчуков, Г.Г. Ларцев. – М.: Сборник трудов Гипрогормаш, вып. III. «Недра», 1967. – 572с.
7. Фридман Б.Э. Гидроэлеваторы. [Текст] / Б.Э. Фридман. – М., Машгиз. – 1960. – 323 с.
8. Болотских Н.С. Строительное водопонижение в сложных гидрогеологических условиях. [Текст] / Н.С. Болотских. – Киев: «Будівельник», 1976. – 112 с.
9. Смородинов М.И. Водопонижительные установки. [Текст] / М.И. Смородинов. – М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.
10. Григорьев В.М. Вакуумное водопонижение. – М.: Стройиздат, 1973. – 223 с.

11. Самусь О.Р. Исследование и совершенствование технологии и механизации водопонижения при сооружении коммунальных и транспортных тоннелей закрытым способом. [Текст] / О.Р. Самусь. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1978. – 14 с.
12. Боголюбов К.С. Гидравлика всасывающих систем легких иглофильтровых установок вакуумного водопонижения. [Текст] / К.С. Боголюбов. – М: Труды института ВНИИ ВОДГЕО, вып. 22, 1969. – с. 27-31.
13. Коржаев С.А. Теоретические основы расчета гидроэлеваторов. – [Текст] / С.А. Коржаев. – М.: «Изв. АН СССР, ОТН», № 9. - 1939. – с. 62-71.
14. Болотских Н.С. Водопонижение. [Текст] / Н.С. Болотских. – Харьков: «Вища школа». Изд-во при Харьковском государственном университете, 1981. – 144 с.

Болотських М.С., Болотських М.М. ІНТЕГРАЛЬНІ ОГІНАЮЧІ БЕЗРОЗМІРНІ ВАКУУМНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОСТРУМІННИХ НАСОСІВ, ВЖИВАНИХ В УСТАНОВКАХ БУДІВЕЛЬНОГО ВОДОЗНИЖЕННЯ. У статті описано особливості робочого режиму водострумінних насосів, вико-

ристовуваних для створення вакууму в установках будівельного водозниження, виведені аналітичні залежності і побудовані безрозмірні вакуумні характеристики, аналіз яких дозволив отримати інтегральні огинаючі характеристики, що є геометричним місцем точок, що відповідають максимальним значенням ККД водострумінних насосів, дані рекомендації зі застосування них у практиці проектування і експлуатації.

Ключові слова: водострумінний насос, безрозмірна характеристика, вакуум, водозниження.

Bolotskykh N.S., Bolotskykh N.N. INTEGRAL CIRCUMFLEX DIMENSIONLESS VACUUM DESCRIPTIONS OF WATER-JET PUMPS, APPLIED IN OPTIONS OF BUILDING WATER DECREASE. The features of operating condition of the water-jet pumps used for creation of vacuum in the options of building water decrease are described in the article, analytical dependences are shown out and dimensionless vacuum descriptions, the analysis of that allowed to get integral circumflex descriptions, being the geometrical place of points corresponding to the maximal values output-input ratio water-jet pumps, are built, recommendations are given on application of them in practice of planning and exploitation.

Keywords: water-jet pump, dimensionless description, vacuum, water decrease.

УДК 621.926.5

Emeljanova I., Blazhko V., Shatokhin V. Chayka D., Kabanets D.

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture

(Sumska str., 40, Kharkiv, 61002, Ukraine; e-mail: Emeljanova-inga@ukr.net)

FEATURES OF CREATION OF UNIVERSAL TECHNOLOGICAL SETS OF THE SMALL-SIZED EQUIPMENT FOR CONDITIONS OF A BUILDING SITE

This article describes the equipment patented in Ukraine and appraised under construction conditions as an independent machine and as a part of the universal small-sized equipment. This article provides process flow diagram for manufacture of reinforced concrete shells by wet filling method upon off-form concreting by means of equipment set that uses fiber-concrete mixtures with synthetic elements. Dependencies have been found to determine its productivity and power costs.

Key words: Universal small-sized equipment, processing kit, universal hose-type concrete pump, three-shaft concrete mixer, capacity, power, fiber-concrete mixture.

In modern constructions, monolithic concretizing plays a central role. There are a lot of different types of equipment that are used in these works for preparation and transportation of concrete mixtures [1, 2]. The studies of these machines are represented in these

works [3, 4]. Considered structures of machines used in monolithic concreting have disadvantages that relate the quality of prepared mixture and reliability of operation in comparison with machines offered in this work.

НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 90, №4, 2017