

УДК 666.983

Емельянова¹ И.А. д.т.н., проф., Задорожный¹ А.А. к.т.н., доц., Меленцов² Н. А. к.т.н.

1-ХГТУСА «Харьковский национальный университет строительства и архитектуры», г. Харьков, Украина;

2-ООО «Стальконструкция» г. Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ШИБЕРНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ НАСОСОВ НА ПОДАЧУ ИМИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Emeliyanova¹ I., Zadorozhny¹ A., Melencov² N.1-National construction and architectures university of Harkov, Harkov, Ukraine (zsnj@yandex.ru);2-«Steelconstruction», Harkov, Ukraine (stconstruction@ukr.net)

INFLUENCE CONSTRUCTIVE SOLUTIONS SLIDE THE SWITCHGEAR HYDRAULIC PUMP ON THEIR SUPPLY CONSTRUCTION MIXTURES

Получены результаты исследований двух конструктивных решений шиберных устройств: нового предлагаемого и одного из наиболее широко используемых – S-образного.

Найдены зависимости для определения средней скорости движения потока бетонной смеси по каналам исследованных шиберных устройств, что позволило обосновать эффективность использования бетононасоса с новой конструкцией такого устройства.

Ключевые слова: шиберное распределительное устройство; скорость движения; бетонная смесь; бетононасос; течение смеси; давление, сдвиговое напряжение.

Введение

Шиберные устройства распределительных устройств в современных бетононасосах с гидравлическим приводом характеризуются сложным путем прохождения бетонной смеси через их каналы в нагнетательный трубопровод. Кроме того, известные конструкции распределительных устройств, в силу сложности решения принципиальных схем, не обладают простотой обслуживания и ремонта. Рассматриваются конструктивные решения нового шиберного устройства распределительного устройства и известного S-образного шиберного устройства бетононасоса с гидравлическим приводом, работа которых анализируется с позиций определения средней скорости движения бетонной смеси по каналам.

Цель

Целью исследований является повышение работоспособности двухпоршневых бетононасосов с гидравлическим приводом в результате изучения механизма движения бетонной смеси через каналы распределительных шиберных устройств и обоснование преимущественных сторон конструкции нового устройства среди существующих.

Исследования

В настоящее время не известно проведение каких-либо исследований в области изучения шиберных распределительных устройств бетононасосов с гидравлическим приводом. Как показали результаты проведенных исследований, на эффективность работы бетононасосов с гидравлическим приводом оказывают влияние конструктивные особенности шиберных распределительных устройств.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы анализу были подвергнуты две схемы шиберных распределительных устройств (Рис.1., Рис.3.): нового конструктивного решения шиберного устройства [1] и известного S-образного.

В случае, если бетонная смесь, проходя через шиберное устройство по каналу, с одной стороны, контактирует с металлической стенкой, а с другой стороны – с бетонной смесью (Рис.1.), следует учитывать различие условий возникновения сдвиговых напряжений, возникающих в слоях бетонной смеси, поступающей из транспортных цилиндров бетононасоса.

Бетонная смесь рассматривается как бингамовская жидкость [2]. Связь между касательными напряжениями и перепадом давления на входе и выходе бетонной смеси из шиберного распределительного устройства можно получить исходя из условия равенства сил, действующих на торцы рассматриваемых каналов [3]:

$$\pi r^2 \Delta p = 2\pi r L \tau, \quad (1)$$

где τ - предельное напряжение сдвига слоев бетонной смеси;

Δp - перепад давления на торцах канала;

r - текущий радиус сечения канала;

L - длина канала.

$$\tau = \frac{\Delta p}{2L} r. \quad (2)$$

при

$$\lambda = \frac{\Delta p}{2L}, \quad \tau = \lambda r. \quad (3)$$

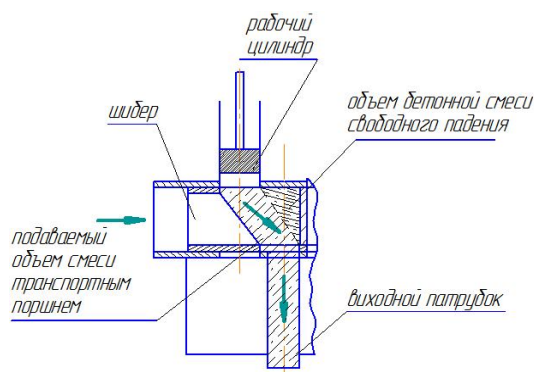


Рис. 1. Фрагмент нового распределительного шибера устройства

С учетом приведенных зависимостей (2), (3) и уравнения Шведова-Бингама для определения скорости относительного перемещения слоев бетонной смеси и их распределения в пределах радиуса канала шибера следует воспользоваться уравнением для определения скорости движения бетонной смеси по каналу шибера устройства:

$$\vartheta_1 = \frac{1}{\mu} \left(\lambda \frac{r^2}{2} - \tau \cdot r \right) + C_1, \quad (4)$$

где μ - динамическая вязкость транспортируемой бетонной смеси.

В вышеприведенном случае (Рис.1.) показано сечение канала шибера устройства, где с одной стороны при движении бетонная смесь контактирует с металлической стенкой устройства, а с другой стороны - с бетонной смесью.

Движение смеси по каналу рассматривается при условии, что на нейтральной оси C_0 напряжения сдвига смеси равны 0. При сдвиге слоев бетонной смеси на внутренней поверхности металлической стенки напряжение сдвига слоев бетонной смеси - τ_1 , при сдвиге смеси по смеси - τ_2 (Рис.2).

Распределение напряжений сдвига по радиусу канала (Рис. 1.) принимается линейным [4].

В данном случае, величины сил трения на стенках каналов распределительного устройства различны, распределение напряжений сдвига смеси τ по диаметру канала можно представить согласно Рис. 2.

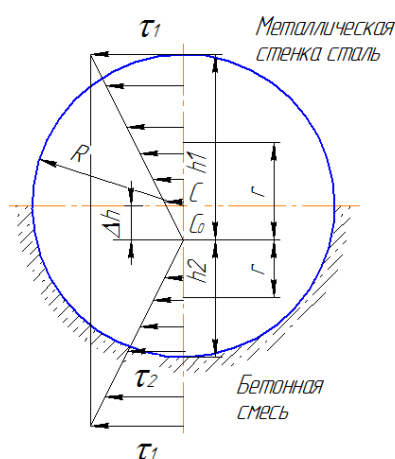


Рис. 2. Расчетная схема сечения канала шибера распределительного устройства

На Рис. 2. показано сечение канала шибера устройства, в котором, с одной стороны, при движении бетонная смесь контактирует с металлической стенкой устройства, а с другой стороны - с бетонной смесью.

При условии, что распределение сдвига смеси по радиусу канала принимается исходя из условий $\frac{h_1}{\tau_1} = \frac{h_2}{\tau_2}$,

$$h_2 = 2R - h_1, \quad h_1 = \frac{2R \tau_2}{1 + \frac{\tau_2}{\tau_1}},$$

где h_1 - расстояние от нейтральной оси C_0 до металлической поверхности;

h_2 - расстояние от нейтральной оси C_0 до слоев бетонной смеси;

R - радиус канала шибера устройства.

Таким образом, величина смещения нейтральной оси C_0 от оси C симметрии сечения канала при транспортировании массы бетонной смеси определяется как:

$$\Delta h = h_1 - R.$$

Принимая во внимание, что скорость сдвига слоев смеси по металлической поверхности ϑ_1 равна нулю, постоянная уравнения:

$$C_1 = \frac{1}{\mu} \left(\lambda \frac{h_1^2}{2} - \tau \cdot h_1 \right). \quad (5)$$

В конечном итоге, зависимость для определения скорости $\vartheta = f(r)$ примет вид:

$$\vartheta_{(1)} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\lambda}{2} (h_1^2 - r^2) - \tau (h_1 - r) \right]. \quad (6)$$

При движении потока бетонной смеси относительно зоны шиберного устройства, где находится бетонная смесь, скорость движения этого потока ϑ_2 по аналогии с зависимостью (6) определяется как:

$$\vartheta_{(2)} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\lambda}{2} (h_2^2 - r^2) - \tau (h_2 - r) \right]. \quad (7)$$

При $r = R$ средняя скорость движения потока бетонной смеси по каналам шиберного устройства определяется как $\vartheta_{cp} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}$.

В конечном итоге, зависимость для определения средней скорости ϑ_{cp} движения бетонной смеси по каналам шиберного устройства (Рис.1.) будет иметь вид:

$$\vartheta_{cp} = \frac{1}{\mu} \left\{ \frac{\lambda}{2} \left[\left(\frac{2R}{1 + \frac{\tau_2}{\tau_1}} \right)^2 - R^2 \right] - \tau \left(\frac{2R}{1 + \frac{\tau_2}{\tau_1}} - R \right) \right\} + \frac{\lambda}{2} \left[\left(2R - \frac{2R}{1 + \frac{\tau_2}{\tau_1}} \right)^2 - R^2 \right] - \tau \left(2R - \frac{2R}{1 + \frac{\tau_2}{\tau_1}} - R \right) \right\}. \quad (8)$$

Принципиальная схема S-образного шиберного распределительного устройства представлена на Рис.3.

Движение бетонной смеси в данном случае рассматривается по участкам пропускного канала выполненного в виде фрагмента металлического трубопровода. Участки "0", "1", "2" показаны на Рис.4.

Главный вектор реакций боковых стенок раскладывается на нормальную \vec{N}_0 и касательную

\vec{T}_0 составляющие. При этом, \vec{N}_0 направляется по средней линии под углом $\frac{\alpha}{2}$ к оси x, как показано на Рис. 5.

Вектор \vec{T}_0 перпендикулярен к вектору \vec{N}_0 .

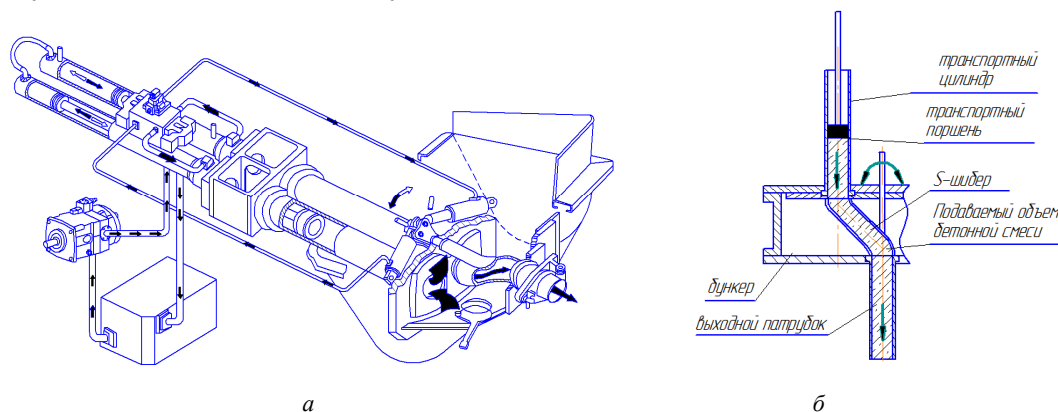


Рис. 3. S-образное распределительное шиберное устройство:
а) принципиальная схема; б) расчетная схема сечения пропускного канала

Площадь сечения на входе участка "0" равна S_0 , площадь сечения канала на выходе - S_1 (Рис. 5).

Поскольку бетонная смесь несжимаемая, объемный расход через любое поперечное сечение канала постоянен. Следовательно:

$$\vartheta_0 \cdot S_0 = \vartheta_1 \cdot S_1. \quad (9)$$

Если $S_1 = S_0 \cdot \cos \alpha$, то $\vartheta_0 = \vartheta_1 \cdot \cos \alpha$ и $\vartheta_1 = \frac{\vartheta_0}{\cos \alpha}$

Согласно теории Эйлера для смеси, проходящей через канал шиберного устройства.

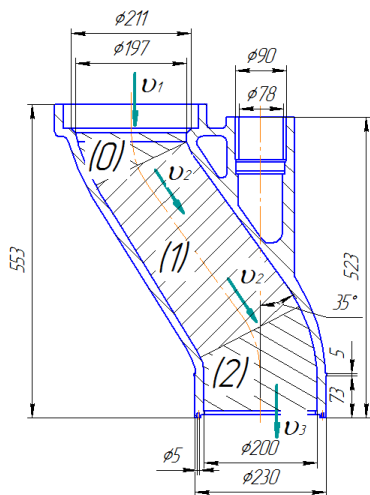


Рис. 4. Расчетная схема входного участка S-образного шиберного устройства

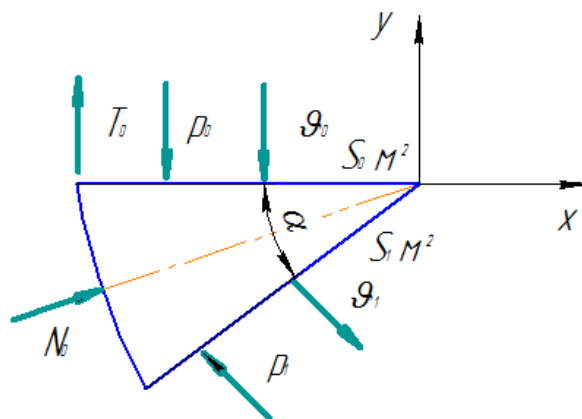


Рис. 5. Расчетная схема входного участка "0"

$$M_c \bar{\vartheta}_0 - M_c \bar{\vartheta}_1 + \bar{T}_0 + \bar{N}_0 + \bar{p}_0 \cdot \bar{S}_0 + \bar{p}_1 \cdot \bar{S}_1 = 0, \quad (10)$$

где M_c – секундная масса потока, p_0, p_1 соответственно давления на входе и на выходе из рассматриваемого участка.

Исключая из выражения реакцию N_0 после преобразований выражение (10) имеет вид:

$$M_c \bar{\vartheta}_0 \cos \frac{\alpha}{2} - M_c \bar{\vartheta}_1 \cos \frac{\alpha}{2} - \bar{T}_0 + \bar{p}_0 \cdot S_0 \cos \frac{\alpha}{2} - \bar{p}_1 \cdot S_1 \cos \frac{\alpha}{2} = 0, \quad (11)$$

Исходя из выражения (11):

$$T_0 = (M_c \vartheta_0 - M_c \vartheta_1 + F_0) \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (12)$$

где $F_0 = p_0 \cdot S_0 - p_1 \cdot S_1$ – усилие, под действием которой перемещается на участке канала "0" шиберного устройства в результате перепада давлений на участках "0-1".

Участок "1" пропускного канала шиберного устройства (Рис. 6) представляет собой прямой круговой цилиндр. При стационарном движении бетонной смеси касательные усилия на стенке канала уравниваются перепадом давлений, что следует из Рисунка 5.

$$T_1 \equiv p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2, \quad (13)$$

где $F_1 = p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2$ – усилие, возникающее в результате перепада давления на длине участка 1-2.

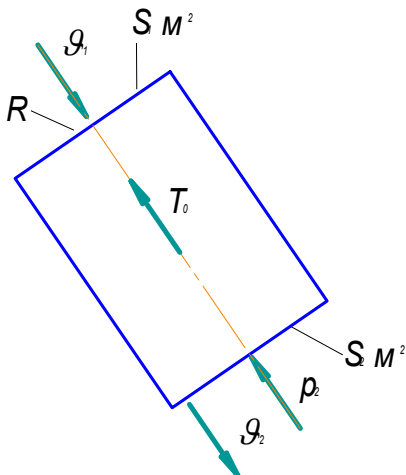


Рис. 6. Расчетная схема для участка "1" пропускного канала S-образного шиберного устройства

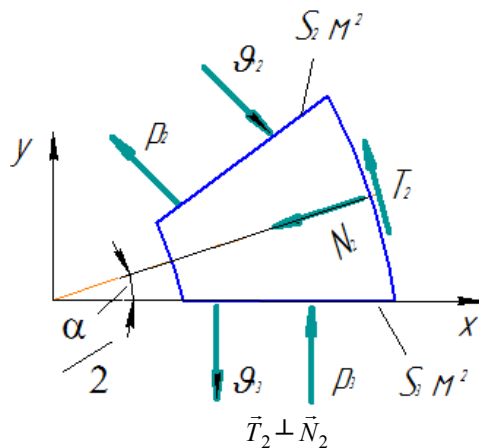


Рис. 7. Расчетная схема для участка "2" пропускного канала S-образного шиберного устройства

Участок 2 рассматривается согласно Рисунку 4.

Нормальная составляющая реакции стенок направлена по средней линии участка согласно Рисунку 7.

По аналогии с участком "1":

$$M_c \bar{\vartheta}_2 - M_c \bar{\vartheta}_3 + \bar{T}_2 + \bar{N}_2 + \bar{p}_2 \cdot \bar{S}_2 + \bar{p}_3 \cdot \bar{S}_3 = 0. \quad (14)$$

Исключая N_2 (аналогично участку 0), выражение (13) следует представить как:

$$M_c \vartheta_1 \left(\sin \alpha \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \cos \alpha \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) - M_c \vartheta_2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - T_2 + \\ + p_2 \cdot S_2 \left(\sin \alpha \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \cos \alpha \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) - p_3 \cdot S_3 \cos \frac{\alpha}{2} = 0 \quad (15)$$

Тогда касательную составляющую T_2 на этом участке можно определить из выражения:

$$T_2 = (M_c \vartheta_2 - M_c \vartheta_3 + F_3) \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (16)$$

где $F_2 = p_2 \cdot S_2 - p_3 \cdot S_3$

Для всех трех участков пропускного канала шибберного устройства сумма касательных усилий имеет вид:

$$T_0 + T_1 + T_2 = (M_c \vartheta_0 - M_c \vartheta_1 + p_0 \cdot S_0 - p_1 \cdot S_1) \cos \frac{\alpha}{2} + \\ + p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2 + (M_c \vartheta_1 - M_c \vartheta_2 + p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2) \cos \frac{\alpha}{2} = \\ = (M_c \vartheta_2 - M_c \vartheta_3 + p_2 \cdot S_2 - p_3 \cdot S_3) \cos \frac{\alpha}{2} - p_2 \cdot S_2 - p_3 \cdot S_3 \quad (17)$$

Из выражения 17 видно, что касательные усилия зависят от скорости движения бетонной смеси. Для бингамовских сред формула Букингема может быть представлена в виде [3]:

$$\frac{Q}{\pi R_{mp}^3} = \frac{\tau_w}{\mu_p} \left[\frac{1}{4} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\tau_y}{\tau_w} + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{\tau_y}{\tau_w} \right)^4 \right], \quad (18)$$

где τ_w – касательное напряжение на стенке канала, которое испытывает движущаяся бетонная смесь;

τ_y - предел упругости бетонной смеси;

μ_p - динамическая вязкость.

Для дальнейших зависимостей принято $\tau_0 = \frac{\tau_w}{\tau_y}$, а расход $Q = \vartheta_{cp} \cdot \pi R^2$.

Тогда:

$$\frac{\vartheta_{cp}}{R} = \frac{\tau_0 \tau_y}{\mu_p} \left[\frac{1}{4} - \frac{1}{3\tau_0} + \frac{1}{12\tau_0^4} \right], \quad (19)$$

Выражение (18) устанавливает связь между скоростью течения в канале и разностью давления на входе и выходе.

Сумма касательных усилий $T_0 + T_1 + T_2 \cos \frac{\alpha}{2}$ может быть выражена через касательные напряжения на стенках канала следующим образом:

$$T_0 + T_1 + T_2 \cos \frac{\alpha}{2} = \tau_{w0} \cdot S^{(0)} + \tau_{w1} \cdot S^{(1)} + \tau_{w2} \cdot S^{(2)} \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (20)$$

где $S^{(0)}, S^{(1)}, S^{(2)}$ - площадь поверхностей соответствующих участков.

Пренебрегая малой разностью радиусов канала на всех участках ($0.197 \leq D \leq 0.2$), предполагается, что:

$$\tau_{w0} = \tau_{w1} = \tau_{w2} = \tau_w. \quad (21)$$

Тогда:

$$T_0 + T_1 + T_2 \cos \frac{\alpha}{2} = \tau_w \cdot S_{нов}, \quad (22)$$

где $S_{нов} = S^{(0)} + S^{(1)} \cos \frac{\alpha}{2} + S^{(2)}$ - суммарная площадь поверхностей трех участков шибберного устройства.

Выражение (20) теперь можно записать как:

$$(M_c \vartheta_0 (1 - K_s) + p_0 \cdot S_0 - p_3 \cdot S_3) \cos \frac{\alpha}{2} = \tau_w S_{нов}. \quad (23)$$

Здесь $K_s = \frac{S_0}{S_3}$ (отношение площадей входа и выхода пропускного канала шиберного устройства).

В уравнение (23) вводится величина F_3 , которая может быть представлена как $F_3 = p_0 \cdot S_0 - p_3 \cdot S_3$.

Для учета физико-механических свойств бетонной смеси, транспортируемой по каналам S-образного шиберного распределительного устройства, вводятся следующие обозначения:

$$\beta = \frac{\tau_w}{\tau_y}; \quad \vartheta = \vartheta(\tau_0) = \frac{\vartheta_{cp} \cdot \mu p}{R \tau_y}.$$

Поскольку расход $Q = \vartheta_{cp} \pi R^2$, тогда формулу (19) можно записать следующим образом:

$$\vartheta(\beta) = \frac{\tau_0}{4} - \frac{1}{3} + \frac{1}{12\tau_0^3}. \quad (24)$$

Зависимость (24) в графическом варианте представлена на Рис. 8.

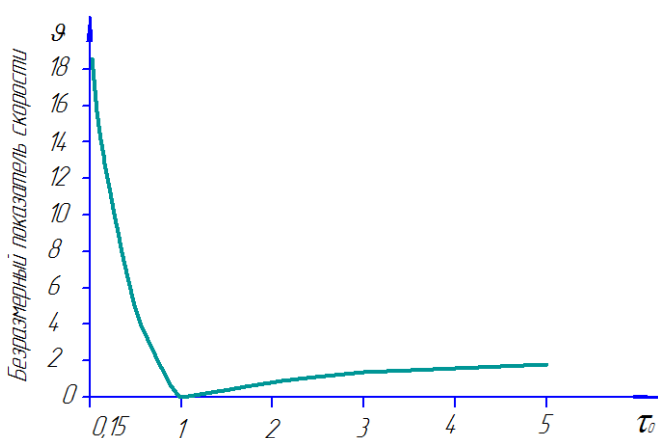


Рис. 8. Зависимость скорости движения бетонной смеси по каналу S-образного шиберного устройства от предельного напряжения сдвига τ_0

Поскольку $\tau_w > \tau_y$, ($\frac{\tau_w}{\tau_y} > 1$) в правой части графической зависимости Рис.8. наблюдается рост предельного напряжения сдвига слоев бетонной смеси $\tau_0 > 1$. (Рис. 8.) т.е. $\tau_0 = 1$, $\vartheta = 0$ и $\tau_0 = 5$, $\vartheta = 0,917$.

Уравнение, описывающее правый участок графической зависимости (Рис.8.) будет иметь вид: $\tau_0 = 4,362\vartheta + 1$, откуда

$$\tau_w = 4,362 \frac{\mu p}{R} \vartheta_{cp} + \tau_y.$$

В таком случае,

$$\beta = 4,362 \frac{\mu p}{R} - \text{коэффициент,}$$

характеризующий соотношение $\beta = \frac{\tau_w}{\tau_y}$.

$$\text{Секундная масса потока } M_c = \rho \pi R^2 \cdot \vartheta_{cp}; \quad \tau_w = \beta \cdot \vartheta_{cp} + \tau_y.$$

С учетом проведенных уточнений зависимость (23) как функция F_3 выглядит как:

$$\rho \pi R^2 (1 - K_s) \cdot \vartheta_{cp}^2 - \beta \cdot S_{нов} \cdot \vartheta_0 + F_3 \cos \frac{\alpha}{2} - \tau_y S_{нов} = 0. \quad (25)$$

Если же пренебречь малой разницей в площадях входного и выходного сечений пропускного канала шиберного устройства (т.е. считать $K_s = 1$), выражение (25) следует рассматривать как (Рис.4):

$$\vartheta_{cp} = \left(F_3 \cos \frac{\alpha}{2} - \tau_y S_{нов} \right) \frac{1}{\lambda \cdot S_{нов}}. \quad (26)$$

Таким образом, величина средней скорости движения смеси ϑ_{cp} через пропускные каналы шиберных устройств для двух рассмотренных шиберных устройств, которая может быть найдена согласно зависимостям (8) и (26), позволяет оценить эффективность принятых принципиальных схем шиберных распределительных устройств с точки зрения их производительности.

Выводы

1. Проанализированы две принципиальные схемы шиберных распределительных устройств бетононасосов с гидравлическим приводом: новой предлагаемой и существующей с разной пропускной способностью их каналов.
2. Найдены зависимости для определения ϑ_{cp} средней скорости при использовании различных принципиальных схем пропускных каналов шиберных распределительных устройств.

3. Показана можливість оцінки рассмотрених принципіальних схем шибєрних устїройств с позицій ефективности роботи бетононасосов с гидравлическим приводом.

Анотація. Отримано результати досліджень двох конструктивних рішень шибєрних пристроїв: нового запропонованого і одного з найбільш широко використовуваних - S-образного.

Знайдено залежності для визначення середньої швидкості руху потоку бетонної суміші по каналах досліджених шибєрних пристроїв, що дозволило обґрунтувати ефективність використання бетононасоса з новою конструкцією такого пристрою.

Ключові слова: Шибєрний розподільний пристрій; швидкість руху; бетонна суміш; бетононасос; течія суміші; тиск, зсувне напруження.

Abstract. The results of two studies of design solutions gate devices: proposed new and one of the most widely used - S-shaped. The dependence to determine the average velocity of the flow through the concrete mixture studied gate devices grounded efficiency of pump with a new design of the device.

Purpose. The purpose of research is to improve the efficiency two-piston concrete pumps with hydraulic drive as a result of studying the mechanism of movement of the concrete mix through the channels of distribution of slide units and justification advantageous sides of the structure of the new device among the existing ones.

Design/methodology/approach. There is currently no known conducting any research in the field of slide switching concrete pumps with hydraulic drive. As the results of studies on the effectiveness of the concrete pumps with hydraulic impact design features slide switching. To confirm this hypothesis were analyzed two schemes slide switching: a new constructive solution of gate devices and the famous S-shaped. If the concrete mix, passing through the gate device on the channel, on the one hand, is in contact with the metal wall and the other side - with the concrete mixture, the difference should be taken into account conditions of occurrence of shear stresses arising in the concrete layers coming from transport cylinders Concrete pump.

Findings. Analyzed two concepts slide switching concrete pumps with hydraulic drive: the proposed new and existing with different bandwidth of the channel. The dependences to determine the average speed by using different concepts crossing channels slide switching. The possibility of estimation discussed concepts slide devices from the standpoint of the effectiveness of the concrete pumps with hydraulic drive.

Originality/value. Shows the calculated and technical diagrams slide switching. An analysis of concrete pumps with hydraulic drive from the standpoint of accounting work slide switchgear and determine the average speed of concrete channels slide devices.

Keywords: Gate switchgear; velocity; Concrete mixture; concrete pump; current mix; pressure, shear stress.

Библиографический список использованной литературы

1. Емельянова И.А. Определение производительности бетононасосов и растворобетононасосов в зависимости от реологических параметров бетонной смеси / Емельянова И.А., Задорожный А.А., Меленцов Н.А. //Харьков: ХНУБА ХОТВАБУ, №1, 2014 - С.147-149.
2. Емельянова И.А. Анализ движения бетонной смеси по трубопроводам при использовании двухпоршневых растворобетононасосов согласно модели Шведова-Бингама / Емельянова И.А., Задорожный А.А., Меленцов Н.А. //Енергоощадні машини і технології: Збірка тез Міжнародної науково-технічної конференції.- м. Київ, НУБА, 2013 – С.46-47.
3. Мартынов В.Д. Строительные машины и монтажное оборудование/ Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. – Москва: “Машиностроение”, 1990 – 352 с.
4. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости. М: "Мир", 1964. – 216с.

References

1. Emel'janova I.A. Opredelenie proizvoditel'nosti betononasosov i rastvorobetononasosov v zavisimosti ot reologicheskikh parametrov betonnoj smesi. Emel'janova I.A., Zadorozhnyj A.A., Melencov N.A. Har'kov: HNUBA HOTVABU, No 1, 2014 P.147-149.
2. Emel'janova I.A. Analiz dvizhenija betonnoj smesi po truboprovodam pri ispol'zovanii dvuhporshnevyyh rastvorobetononasosov soglasno modeli Shvedova-Bingama. Emel'janova I.A., Zadorozhnyj A.A., Melencov N.A. Energooschhadni mashini i tehnologii: Zbirka tez Mizhnarodnoї naukovo-tehnichnoї konferencii. m. Kyiv, NUBA, 2013 P. 46-47.
3. Martynov V.D. Stroitel'nye mashiny i montazhnoe oborudovanie. Martynov V.D., Aleshin N.I., Morozov B.P. Moscow: “Mashinostroenie”, 1990. 352 p.
4. Wilkinson U. L. Nen'jutonovskie zhidkosti. Moscow: "Mir", 1964. 216p.

Подана до редакції 14.04.2015