

УДК 666. 983

*И.А. Емельянова, д.т.н., профессор
А.А. Задорожний, к.т.н., доцент
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
Н.А. Меленцов, главный инженер
ООО «Стальконструкция», г. Харьков*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДВУХПОРШНЕВЫХ РАСТВОРОБЕТОНОНАСОСОВ С ТАРЕЛЬЧАТЫМИ КЛАПАНАМИ ЗА СЧЕТ ИСКЛЮЧЕНИЯ ПРОТИВОТОКОВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Определены стабильные условия работы двухпоршневых растворобетононасосов с тарельчатыми клапанами, исходя из условий движения бетонной смеси, с учетом возникающих в ней сопротивлений. Обоснована допустимая величина угла раскрытия клапана α , не допускающая появления противотоков смеси.

Ключевые слова: бетонная смесь, трубопровод, течение смеси, вязкость.

УДК 666. 983

*І.А. Ємельянова, д.т.н., професор
А.О. Задорожний, к.т.н., доцент
Харківський національний університет будівництва і архітектури
М.О. Меленцов, головний інженер
ТОВ «Стальконструкція», м. Харків*

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ Й ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДВОПОРШНЕВИХ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСІВ З ТАРІЛЧАСТИМИ КЛАПАНАМИ ЗА РАХУНОК ВИКЛЮЧЕННЯ ПРОТИТЕЧІЙ БЕТОННОЇ СУМІШІ

Визначено стабільні умови роботи двопоршневих розчинобетононасосів з тарілчастими клапанами, виходячи з умов руху бетонної суміші, з урахуванням опорів, що виникають в ній. Обґрунтовано допустиму величину кута розкриття клапана α , що не допускає появи протитечій суміші.

Ключові слова: бетонна суміш, трубопровід, течія суміші, в'язкість.

УДК 666. 983

*I.A. Emeliyanova, ScD, Professor
A.A. Zadorozhny, PhD, Associate Professor
Kharkov National University of Construction and Architecture
N.A. Melencov, main engineer
OOO "Stalkonstruksiya" Kharkov*

INCREASE OF RELIABILITY AND EFFICIENCY OF WORK OF DOUBLE-PISTON SOLUTION OF CONCRETE PUMPS WITH DISH VALVES FOR ACCOUNT OF EXCEPTION OF OPPOSITE CURRENT OF CONCRETE MIXTURE

Stable working conditions two-piston растворобетононасосов with dish-shaped valves proceeding from traffic conditions of a concrete mix and taking into account resistance

arising there are defined.

The admissible size of a corner of disclosure of the valve α , not allowing emergence of countercurrents of a mix is proved.

Keywords: concrete mix, pipeline, mix current, viscosity.

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами. Исследования последних лет были посвящены работе двухпоршневых растворобетононасосов с шаровыми клапанами. Опыт эксплуатации таких машин в условиях строительных площадок показал, что насосы не обеспечивают стабильную подачу в трубопроводы и не работают на полную производительность из-за наличия обратных токов транспортируемых смесей.

Этот недостаток был ликвидирован благодаря использованию в растворобетононасосах тарельчатых клапанов, работа которых дала положительные результаты. Таким образом, результаты проведенных исследований легли в основу создания клапанных узлов, конструкция которых была использована при совершенствовании действующих машин.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых впервые предлагалось решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение не решенных прежде задач общей проблемы, которым посвящается указанная статья. Бетонная смесь, транспортируемая по трубопроводам с помощью двухпоршневого растворобетононасоса с тарельчатыми клапанами, рассматривается как вязкопластическая жидкость согласно модели Шведова – Бингама при кажущейся кинематической вязкости ν .

Рассматривается случай, когда открыт всасывающий тарельчатый клапан и анализируется процесс движения смеси по трубопроводу (рис. 1).

При этом во внимание берется диффузорное течение смеси при открытом клапане. Для описания процесса истечения смеси выбрана цилиндрическая система координат (r, z, φ) с осью OZ .

Предполагается движение смеси только по радиальной координате. При этом $\mathcal{G}_\varphi = \mathcal{G}_z = 0$, а $\mathcal{G}_r = \mathcal{G}(r, \varphi)$, ввиду однородности задачи по оси OZ .

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием научных результатов. В цилиндрической системе координат уравнения Навье – Стокса [1] можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} \mathcal{G} \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial r} + \nu_{\text{каж}} \left(\frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial r} - \frac{\mathcal{G}}{r^2} \right); \\ -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{2\nu}{\partial r^2} \cdot \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \varphi} = 0; \\ \frac{\partial (r \cdot \mathcal{G})}{\partial r} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где p – давление внутри бетонной смеси; ρ – средняя плотность бетонной смеси.

Из последнего уравнения системы следует, что $(r \cdot \varphi)$ есть функция только от φ . Введем функцию [1]:

$$U_{(\varphi)} = \frac{1}{6\nu} \cdot r \cdot \mathcal{G}, \quad (2)$$

где $[\mathcal{G}]$ – характерная скорость движения бетонной смеси $[\mathcal{G}] = \mathcal{G}_{\max}$ на оси трубопровода.

Считаем движение бетонной смеси ламинарным с $Re < 1$.

Рассматривая условия отсутствия возможностей появления противотоков бетонной смеси при открытом тарельчатом клапане, во внимание следует так же брать сопротивления, которые имеют место при транспортировании смеси по трубопроводам.

В результате ранее проведенных исследований авторов работы [1] была получена следующая система уравнений, описывающих указанное течение в параметрической форме:

$$\begin{cases} \alpha = 2\sqrt{1-2k^2} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\sqrt{1-2k^2 \cdot \sin x}}; \\ R_{\max} = -6 \cdot \alpha \cdot \frac{(1-k^2)}{(1-2k^2)} + \frac{12}{\sqrt{(1-2k^2)}} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-2k^2 \cdot \sin x} \cdot dx, \end{cases} \quad (3)$$

где R_{\max} – максимальное значение числа Re для условий диффузорного течения бетонной смеси; α – максимальный угол раскрытия клапана, а k и U_0 введены следующим образом:

$$k^2 = \frac{U_0}{1+2U_0}, \quad U = U_0 \cdot \cos^2 kx. \quad (4)$$

R_{\max} можно выразить следующим образом:

$$R_{\max} = \frac{|Q|}{\nu \cdot \rho_0 \cdot 1M} = \frac{V}{\nu \cdot 1M}, \quad (5)$$

где $|Q|$ – модуль массового расхода бетонной смеси, кг/с; V модуль объемного расхода бетонной смеси, м³/с; $1M$, стоящий в знаменателе формулы (5), символизирует единицу длины вдоль оси OZ .

Известно [2], что систему уравнений (3) можно представить, используя понятие полных эллиптических интегралов первого и второго родов,

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\sqrt{1-2k^2 \cdot \sin x}} = K = F\left(k, \frac{\pi}{2}\right), \quad (6)$$

где K – полный эллиптический интеграл 1-го рода.

$$E = E\left(k, \frac{\pi}{2}\right) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\sqrt{1-2k^2 \cdot \sin x dx}}, \quad (7)$$

где E – полный эллиптический интеграл 2-го рода.

В таком случае систему (4) можно записать в виде $\alpha = 2\sqrt{1-2k^2} \cdot E\left(k, \frac{\pi}{2}\right)$.

$$R_{max} = -6 \cdot \alpha \cdot \frac{(1-k^2)}{(1-2k^2)} + \frac{12}{\sqrt{(1-2k^2)}} \cdot F\left(k, \frac{\pi}{2}\right). \quad (8)$$

Функции $F\left(k, \frac{\pi}{2}\right)$ и $E\left(k, \frac{\pi}{2}\right)$ табулированы [2].

После подстановки первого соотношения из системы (8) во второе соотношение этой системы просматривается связь между R_{max} и α посредством параметра k , который может быть в случае $k \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}$ представлен приближенно соотношением

$$\begin{aligned} R_{max} \cdot \alpha &= 24 \cdot F\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{\pi}{2}\right) \cdot \left\{ E\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{\pi}{2}\right) - \frac{1}{2} \cdot F\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{\pi}{2}\right) \right\} = \\ &= 24 \cdot 1,8541 \cdot \left\{ 1,3506 - \frac{1}{2} \cdot 1,8541 \right\} \approx 18,85. \end{aligned} \quad (9)$$

Согласно данным авторов работы [1], $R_{max} \cdot \alpha = 18,8$.

Следовательно, результаты проведенных исследований подтверждают заключение, что при небольших углах раскрытия диффузора α , не приводящих к появлению обратных токов, справедливо условие

$$R_{max} \cdot \alpha = 18,85. \quad (10)$$

Влияние сопротивлений, которые испытывает бетонная смесь при транспортировании по трубопроводу длиной L_{mp} , на возможность появления обратных токов при открытом клапане следует рассматривать с учетом коэффициента трения f .

Согласно работе авторов [3], этот коэффициент может быть определен как отношение силы сопротивления ($\Delta p \cdot \pi \cdot R_{mp}^2$) к скоростному напору

$\left(\rho_0 \frac{g_{cp}^2}{2}\right)$, умноженному на площадь боковой поверхности трубопровода,

т.е.

$$f = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot R_{mp}^2}{\left(\rho_0 \cdot \frac{g_{cp}^2}{2}\right) \cdot 2\pi \cdot R_{mp} \cdot L_{mp}} = \frac{\Delta p \cdot R_{mp}}{2L_{mp} \cdot \left(\rho_0 \cdot \frac{g_{cp}^2}{2}\right)}, \quad (11)$$

где Δp – перепад давлений на длине трубопровода L_{mp} ;

R_{mp} – радиус трубопровода, по которому транспортируется бетонная смесь.

При замене R_{mp} на D_{mp} выражение (11) имеет вид

$$f = \frac{1}{4} \cdot \frac{D_{mp}}{L_{mp}} \cdot \frac{\Delta p}{\left(\rho_0 \cdot \frac{g_{cp}^2}{2} \right)}. \quad (12)$$

Из уравнения (12), таким образом, может быть найден перепад давлений Δp : $\Delta p = 4f \cdot \frac{L_{mp}}{D_{mp}} \cdot \left(\rho_0 \cdot \frac{g_{cp}^2}{2} \right)$.

При замене $4f$ на λ

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L_{mp}}{D_{mp}} \cdot \left(\rho_0 \cdot \frac{g_{cp}^2}{2} \right), \quad (13)$$

где λ – коэффициент сопротивления.

Моделируя бетонную смесь в рамках модели Шведова – Бингама, можно учесть полученные выше зависимости в терминах кажущейся динамической вязкости смеси $\mu_{каж}$.

Соотношение (13) можно представить как $\Delta p = g_{cp} \cdot \frac{8\mu_{каж}}{R_{mp}^2}$.

В таком случае $\frac{\Delta p}{L_{mp}} = \frac{\lambda}{D_{mp}} \cdot \frac{\rho_0 \cdot g_{cp}^2}{2}$;

$$\lambda = \frac{32 \cdot \mu_{каж}}{\rho_0 \cdot g_{cp} \cdot R_{mp}}, \quad (14)$$

При $R_{mp} = \frac{D_{mp}}{2}$ и $\lambda = \frac{2D_{mp}}{g_{cp}} \cdot \frac{g_{cp} \cdot D_{mp} \cdot \rho_0}{\mu_{каж}} = Re$ имеет место закон

сопротивления, согласно которому бетонная смесь, текущая в ламинарном режиме по трубопроводу с внутренней гладкой поверхностью, описывается следующим образом:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (15)$$

В таком случае, учитывая ранее полученные результаты исследований [1], можно записать

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = \frac{64}{Re} \\ \alpha_{(pad)} = \frac{18,85}{R_{max}} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} Re = \frac{64}{\lambda} \\ R_{max} = \frac{18,85}{\alpha_{(pad)}} \end{array} \right. \quad (16)$$

Следовательно, $\frac{64}{\lambda} = \frac{18,85}{\alpha}$, откуда

$$\lambda = \frac{64 \cdot \alpha}{18,85} \approx 3,395 \cdot \alpha. \quad (17)$$

При открытом клапане для условий стационарного транспортирования бетонной смеси по трубопроводу без возможного появления противотоков величина λ должна быть меньше единицы или $\alpha_{(rad)} < \frac{1}{3,395} \approx 0,295 rad$;

$$\alpha < 0,295 rad = 16,88^\circ. \quad (18)$$

Таким образом, исходя из результатов исследований, учитывающих возникающие сопротивления в трубопроводе при движении бетонной смеси с учетом его геометрических параметров и давления в трубопроводе при соблюдении условия (18) противотоки появляться не должны.

Всесторонние исследования процесса транспортирования бетонных смесей по трубопроводу при открытом тарельчатом клапане растворобетонасоса показали, что угол α не должен быть более 18° .

Исходя из результатов этих исследований, при разработке конструкции растворобетонасоса с такими клапанами максимальный угол их раскрытия α принят не более 15° .

Выводы из данного исследования.

1. Описана работа клапанного узла при открытом тарельчатом клапане с учетом сопротивлений, которые испытывает бетонная смесь при движении по трубопроводу.

2. Выявлены и обоснованы условия стационарной подачи бетонной смеси, при которых не наблюдаются противотоки.

Литература

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Гидродинамика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М.: Наука, 1988. – 736 с.
2. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М., 1998. – 400 с.
3. Романков П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П.Г. Романков, М.И. Курочкина – Ленинград: Химия, Ленинградское отделение, 1982. – 288 с.

Надійшла до редакції 20.03.2014

©И.А. Емельянова, А.А. Задорожний, Н.А. Меленцов