

И.А. Емельянова, д-р техн. наук,
 А.А. Задорожный, канд. техн. наук
 Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина,
 Н.А. Меленцов
 ООО “Стальконструкция”, г. Харьков.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДВУХПОРШНЕВЫХ БЕТОННАСОСОВ И РАСТВОРОБЕТОННАСОСОВ ИСХОДЯ ИЗ АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

Розглянуто окремі випадки для визначення технічної продуктивності двопоршневих растворобетоннасосів через результати досліджень праці клапанних вузлів.

Введение

В современном строительстве при возведении новых зданий и сооружений из сборного железобетона, а также при ремонте и реконструкции действующих объектов зачастую востребованы как двухпоршневые бетононасосы, так и растворобетоннасосы для транспортирования бетонных смесей по трубопроводам, для выполнения торкрет-работ и шприц бетонирования.

Раскрывая механизм движения смеси по трубопроводам, зная их физико-механические характеристики, можно оценить эффективность работы машин. Одним из показателей работы указанных машин является производительность.

Для решения поставленной задачи бетонная смесь рассматривается как вязкая несжимаемая жидкость [1]. При этом принимаем, что смесь транспортируется по трубопроводу произвольного одинакового сечения по всей рассматриваемой длине. Скорость потока бетонной смеси ϑ в трубопроводе цилиндрической формы направлена вдоль оси x и рассматривается как $f(y, z)$. При этом, давление постоянно вдоль всего сечения трубопровода.

В таком случае $\frac{dp}{dy} = \frac{dp}{dz} = 0$, а уравнение Навье–Стокса примет вид:

$$\frac{d\vec{\vartheta}}{dt} + (\vec{\vartheta} \cdot \vec{\Delta}) \cdot \vec{\vartheta} = \frac{1}{\rho_0} \text{grad } \rho + \frac{\mu}{\rho_0} \cdot \Delta \vec{\vartheta}, \quad (1)$$

где $\vec{\vartheta}$ — скорость движения потока смеси по трубопроводу; ρ_0 — средняя плотность бетонной смеси; μ — динамическая вязкость; $\vec{\Delta}$ — оператор Гамильтона, Δ — оператор Лапласа. Уравнение (1) преобразуется к виду

$$\frac{\delta^2 \cdot \vartheta}{dy^2} + \frac{\delta^2 \cdot \vartheta}{dz^2} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}. \quad (2)$$

При этом, $\frac{dp}{dx} = const$, и градиент давления можно

представить в виде $\frac{\Delta p}{L}$, где Δp — разность давлений на концах трубопровода ($\Delta = p_1 - p_2$), а L — его длина.

При использовании оператора Лапласа уравнение (2), в полярных координатах имеет вид:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d\vartheta}{dr} \cdot (r \cdot \frac{d\vartheta}{dr}) = -\frac{\Delta p}{L}, \quad (3)$$

где r — текущая координата положения частиц бетонной смеси в сечении трубопровода.

Из уравнения (3) определяется скорость движения потока смеси по трубопроводу:

$$\vartheta = -\frac{\Delta p}{4\mu L} \cdot r^2 + a \ln r + b, \quad (4)$$

При этом, постоянная $a=0$, так как во всем сечении трубопровода скорость потока смеси должна быть постоянной, включая его центральную часть. Постоянную b можно определить из условия “прилипания” какой-то части смеси из потока ко внутренней поверхности трубопровода ($\vartheta = 0$, а $r=R_{тр}$, где $R_{тр}$ — радиус трубопровода).

В таком случае

$$\vartheta = -\frac{\Delta p}{4\mu L} \cdot (R_{mp}^2 - r^2), \quad (5)$$

Следовательно, скорость движения частиц смеси в пределах сечения трубопровода распределяется по параболическому закону. С учетом элементарной площади сечения трубопровода, по которому транспортируется бетонная смесь, расход ее за 1 с можно представить как

$$Q = 2\pi\rho_0 \int_0^{R_{mp}} r\vartheta dr. \quad (6)$$

Принимая во внимание зависимость (5), можно получить формулу для определения технической производительности ($\Pi_{\text{техн}}$) бетононасоса (растворобетононасоса) по пропускной способности трубопровода длиной L :

$$\Pi_{\text{техн}} = \frac{\pi \Delta p}{8 \nu L} \cdot R_{\text{тр}, \text{кз/с}}^2, \text{ или}$$

$$\Pi_{\text{техн}} = \frac{\pi \Delta p}{8 \mu L} \cdot R_{\text{тр}, \text{м}^3/\text{с}}^4 \quad (7)$$

где ν — кинематическая вязкость бетонной смеси; μ — динамическая вязкость смеси.

Такой подход к определению технической производительности насоса можно использовать при рассмотрении пропускной способности клапанных узлов растворобетононасоса.

Задача решается путем моделирования процесса движения бетонной смеси через клапанный узел насоса: смесь проходит через открытый клапан. При этом, R_2 — радиус седла клапана, R_1 — радиус основания клапана, δ_1 — толщина клапана, которая стремится к нулю ($\delta_1 > 0$). Такую задачу можно решить двумя путями.

Вариант №1. Следует воспользоваться уравнением (4), которое справедливо для рассмотрения цилиндрических поверхностей при $r_1=R_1$ и $r_2=R_2$. Если $R_2 > R_1$, уравнение (4) будет справедливо для случая, когда $R_1 < r < R_2$.

Тогда скорость движения частиц бетонной смеси через образовавшуюся щель между седлом клапанного узла и поднятым клапаном определяется как:

$$\vartheta = \frac{\Delta p}{4\mu} \left\{ R_2^2 - r^2 + \frac{(R_2^2 - R_1^2)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \cdot \ln\left(\frac{r}{R_2}\right) \right\}, \quad (8)$$

Количество смеси, проходящее, при этом за 1 с, и определяет производительность растворобетононасоса:

$$\Pi_{\text{техн}} = \frac{\pi \Delta p}{8 \nu \delta_1} \left\{ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_2^2 - R_1^2)^2}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \right\}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (9)$$

где $\Pi_{\text{техн}}$ — техническая производительность растворобетононасоса.

Вариант №2. Учитывается скорость движения клапана и для решения вышеуказанной задачи выбираются цилиндрические координаты с осью z по оси двух цилиндров, из которых цилиндр радиусом R_1 движется со скоростью внутри цилиндра радиусом R_2 ($R_2 > R_1$). Скорость движения потока бетонной смеси направлена вдоль оси z и,

как давление, зависит только от r . При этом $\vartheta_z = \vartheta(r)$

Используя граничные условия движения смеси по трубопроводу: $\vartheta = U$ при $r=R_1$ и $\vartheta = 0$ при $r=R_2$, формулу для определения ϑ можно представить как

$$\vartheta = U \frac{\ln\left(\frac{r}{R_2}\right)}{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}, \quad (10)$$

В таком случае, пропускная способность клапана(ов) определяется как

$$Q = 2\pi \int_{R_1}^{R_2} U \frac{\ln\left(\frac{r}{R_2}\right)}{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)} dr \quad (11)$$

Следовательно, в конечном итоге, согласно 2-ому варианту, производительность растворобетононасоса [2,3] может быть определена по формуле:

$$\text{м}^3/\text{с} \quad (12)$$

Таким образом, анализ пропускной способности транспортного трубопровода бетононасоса позволяет предложить зависимости (7) и (12), которые справедливы как для бетононасоса, так и для растворобетононасоса. При решении частных задач также справедлива зависимость (9) для двухпоршневых растворобетононасосов при рассмотрении процесса движения бетонной смеси через клапанные узлы (клапан (ы) открыт (ы)).

Выводы

1. Результаты анализа процесса движения бетонной смеси по трубопроводу позволили найти зависимости для определения производительности бетононасосов и растворобетононасосов.
2. Рассмотрены частные случаи для определения технической производительности двухпоршневых растворобетононасосов на основании результатов исследований работы клапанных узлов.

Литература

1. Строительные машины и монтажное оборудование / [Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П.]. — М.: Машиностроение, 1990. — 352 с.
2. Емельянова, И.А. Особенности работы двухпоршневого растворобетононасоса с тарельчатым клапаном / И.А. Емельянова, А.А. Задорожный, А.С. Непорожнев, И.В. Старченко, Н.А. Меленцов // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА — 2009. — №54. — С. 201—205.
3. Емельянова, И.А. К определению конструктивных размеров клапанных узлов двухпоршневых растворобетононасосов / И.А. Емельянова, А.А. Задорожный, А.С. Непорожнев, И.В. Старченко, Н.А. Меленцов // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА — 2010. — №57. — С. 422—425.

Надійшла 20.04.2012 року