

ческих свойств транспортируемых материалов, геометрических параметров материалопровода, воздуховода и воздухоподводящих патрубков, давления воздуха в транспортной линии; по поперечному сечению сыпучий материал распределяется неравномерно, более высокая массовая концентрация материала имеет место у нижней кромки трубопровода; массовая концентрация аэросмеси значительно повышается в сравнении с традиционными пневмотранспортными установками работающими в режиме "полета" отдельных частиц; исключается деградация частиц сыпучего материала; снижается износ материалопровода и уменьшается выброс пыли в окружающую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гушин В.М. О применении пневматического транспорта в литейных цехах // Литейное производство. - 1978. - 12. - С.23-24.
2. Разумов И.М. Псевдооживление и пневматический транспорт сыпучих материалов. - М.: Химия, 1964. - 346с.
3. Гушин О.В. Некоторые результаты экспериментальных исследований пневмотранспортной установки с порционным движением сыпучих материалов // Межвуз. сб. научн. тр./ Хар. ГАЖД, 1997. - Вып. 30. - С.46-49.

УДК 532.517.42.001.57:622.648.24:621.67

Е.В. Семененко

### АНАЛИЗ ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ ЛОПАСТНЫХ МАШИН ДЛЯ НАГНЕТАНИЯ ГИДРОСМЕСИ

На основі імовірностного усереднення рівнянь руху багатофазної рідини розглядається основне рівняння лопаточних машин. Показано різницю підходу, що передбачається, від існуючого. Наведено функціональну залежність величини звиження напору, який обумовлено присутністю твердих часток, від основних безрозмірних і конструктивних параметрів.

На сегодняшний день для нагнетания гидросмесей наиболее широко используются насосы центробежного типа [1-5]. Однако не смотря на строительство и эксплуатацию подобных насосных установок строгой теоретической модели для расчета таких насосов практически не существует.

Наиболее известны, и используются на практике, формулы пересчета характеристик насосов "с воды на гидросмесь", часто полученные в результате аппроксимации экспериментальных данных, [1-3]. Например, ВНИИ гидромаш предложил формулу, которая учитывает неоднородность гранулометрического состава твердого и плотностей каждой из его фракций

$$H = H_0 \left( 1 - \sum_k [0.15 Ar_k - 0.15 + 0.56 \lg(10d_k)] \frac{S_k Ar_k}{1 + ArS} \right),$$

где  $H$ ,  $H_0$  - напор насоса на при работе на гидросмеси и при работе на воде;  $Ar$ ,  $Ar_k$  - параметры Архимеда рассчитанные по средней плотности и по плотности  $k$ -й фракции;  $S_k$ ,  $S$  - концентрация  $k$ -й фракции и общая концентрация гидросмеси;  $d_k$  - средний диаметр частиц  $k$ -й фракции.

Ряд авторов, [4-5], предлагают использовать для расчетов центробежных насосов, перекачивающих гидросмесь, основное уравнение лопастных машин, аналогичное для случая работы на чистой воды. Для этого рассматривается

разность момента количества движения потока на выходе из рабочего колеса и на входе в него и в результате рекомендуют следующее уравнение

$$H = \frac{1-S}{g} \left[ \overline{(u\langle V_u \rangle_1)}_2 - \overline{(u\langle V_u \rangle_1)}_1 \right] + \frac{S}{g} \left[ \overline{(u\langle V_u \rangle_2)}_2 - \overline{(u\langle V_u \rangle_2)}_1 \right].$$

Такой подход, наверное, нельзя считать абсолютно строгим. Так как вывод основного уравнения для лопастных машин, работающих на воде, производится из рассмотрения основных уравнений движения идеальной жидкости во всем объеме рабочего колеса.

Таким образом, для получения в строгой форме данного уравнения для машин, перекачивающих гидросмесь, необходимо рассмотреть закон изменения момента количества движения для твердой и жидкой фаз во всем объеме рабочего колеса. При выводе уравнения будем пользоваться моделью течения двухфазовой среды предложенной в работе [6]. Согласно [6,7] момент взаимодействия лопастного колеса с потоком гидросмеси будет определяться выражением

$$\begin{aligned} M = & \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\tau} [r\rho_1\bar{\theta}_1\langle V_u \rangle_1 + r\rho_2(1-\bar{\theta}_1)\langle V_u \rangle_2] r^2 d\tau + \\ & + \iint_{S_1} [r\rho_1\bar{\theta}_1\langle V_u \rangle_1\langle V_n \rangle_1 + r\rho_2(1-\bar{\theta}_1)\langle V_u \rangle_2\langle V_n \rangle_2] dS_1 - \\ & - \iint_{S_2} [r\rho_1\bar{\theta}_1\langle V_u \rangle_1\langle V_n \rangle_1 + r\rho_2(1-\bar{\theta}_1)\langle V_u \rangle_2\langle V_n \rangle_2] dS_2 + \\ & + \iint_{S_k} [r\rho_1\bar{\theta}_1\langle V_u \rangle_1\langle V_n \rangle_1 + r\rho_2(1-\bar{\theta}_1)\langle V_u \rangle_2\langle V_n \rangle_2] dS_k \end{aligned} \quad (1)$$

где  $r$  - радиус;  $\rho_1, \rho_2$  - соответственно плотности несущей среды и твердых частиц;  $\bar{\theta}_1$  - индикаторная функция фазы несущей среды;  $S_1, S_2, S_k$  - соответственно поверхность межполосного канала на входе в колесо, на выходе и боковая поверхность;  $\langle V_u \rangle, \langle V_n \rangle$  - проекции статистических условных скоростей каждой из фаз на направление переносной скорости и на направление нормали к поверхности интегрирования. Эти средние значения определяются по выражениям

$$\begin{aligned} \langle V_n \rangle_1 &= \int_W \theta_1(x, \omega) V_n^{(1)}(x, \omega) d\omega; & \langle V_n \rangle_2 &= \int_W [1 - \theta_1(x, \omega)] V_n^{(2)}(x, \omega) d\omega; \\ \langle V_u \rangle_1 &= \int_W \theta_1(x, \omega) V_u^{(1)}(x, \omega) d\omega; & \langle V_u \rangle_2 &= \int_W [1 - \theta_1(x, \omega)] V_u^{(2)}(x, \omega) d\omega; \end{aligned}$$

где  $V_u^{(1)}, V_n^{(1)}, V_u^{(2)}, V_n^{(2)}$  - мгновенные значения соответствующих скоростей. Здесь под  $W$  понимается выборочное пространство элементарных событий  $\omega_1$  и

$\omega_2$ , каждому из которых соответствует определенное логически возможное расположение твердой и жидкой фазы в рассматриваемой области.

Рассмотрим второе слагаемое выражения (1). Массовый расход жидкой фазы через сечение  $S_1$  составляет

$$G_1 = \frac{1}{g} \int_{S_1} \rho_1 \theta_1 \langle V_u \rangle_1 \langle V_n \rangle_1 dS = \frac{1}{g} \int_{S_1} \langle V_u \rangle_1 dG_1,$$

$$G_2 = \frac{1}{g} \int_{S_1} \rho_2 (1 - \theta_1) \langle V_u \rangle_2 \langle V_n \rangle_2 dS = \frac{1}{g} \int_{S_1} \langle V_u \rangle_2 dG_2.$$

С учетом этого часть слагаемых выражения (1) можно преобразовать следующим образом:

$$\int_{S_1} r \rho_1 \theta_1 \langle V_u \rangle_1 \langle V_n \rangle_1 dS = \frac{G_1}{g} \frac{\int_{S_1} r \langle V_u \rangle_1 dG_1}{\int_{S_1} \langle V_n \rangle_1 dG_1} = \frac{G_1}{g} \overline{(r \langle V_u \rangle_1)};$$

$$\int_{S_1} r \rho_2 (1 - \theta_1) \langle V_u \rangle_2 \langle V_n \rangle_2 dS = \frac{G_2}{g} \frac{\int_{S_1} r \langle V_u \rangle_2 dG_2}{\int_{S_1} \langle V_n \rangle_2 dG_2} = \frac{G_2}{g} \overline{(r \langle V_u \rangle_2)};$$

где чертой сверху обозначается среднемассовая по сечению величина. Поступая аналогично с членами, которые соответствуют твердой фазе гидросмеси, будем иметь

$$M = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\tau} [r \rho_1 \bar{\theta}_1 \langle V_u \rangle_1 + r \rho_2 (1 - \bar{\theta}_1) \langle V_u \rangle_2] d\tau + \frac{G_1}{g} \left[ \overline{(r \langle V_u \rangle_1)}_2 - \overline{(r \langle V_u \rangle_1)}_1 \right] +$$

$$+ \frac{G_2}{g} \left[ \overline{(r \langle V_u \rangle_2)}_2 - \overline{(r \langle V_u \rangle_2)}_1 \right] + \iint_{S_k} [r \rho_1 \bar{\theta}_1 \langle V_u \rangle_1 \langle V_n \rangle_1 + r \rho_2 (1 - \bar{\theta}_1) \langle V_u \rangle_2 \langle V_n \rangle_2] dS_k \quad (2)$$

Рассмотрим первое слагаемое выражения (2). Так как  $d\tau = dS r d\varphi$ , то можно написать

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\tau} [r \rho_1 \bar{\theta}_1 \langle V_u \rangle_1 + r \rho_2 (1 - \bar{\theta}_1) \langle V_u \rangle_2] d\tau =$$

$$= \int_S dS \int_{\varphi} r^2 \frac{\partial}{\partial t} [\rho_1 \bar{\theta}_1 \langle V_u \rangle_1 + \rho_2 (1 - \bar{\theta}_1) \langle V_u \rangle_2] d\varphi \quad (3)$$

Учитывая, что  $\langle V_u \rangle_1 = \langle w_u \rangle_1 + u$ , и что значение  $\theta_1$  изменяется с течением времени, после некоторых преобразований, выражения (3) можно записать в виде

$$\int_S dS \int_{\varphi} r^2 \left[ \rho_1 \bar{\theta}_1 \frac{\partial \langle w_u \rangle_1}{\partial t} + \rho_2 (1 - \bar{\theta}_1) \frac{\partial \langle V_u \rangle_2}{\partial t} \right] d\varphi + \int_S dS \int_{\varphi} ur^2 [\rho_1 + \rho_2] \frac{\partial \bar{\theta}_1}{\partial t} d\varphi. \quad (4)$$

В работе [7] показано, что первый интеграл выражения (4) равен четвертому слагаемому выражения (2), взятому с противоположным знаком. Рассматривая аналогичным образом второе слагаемое выражения (4), с учетом того, что  $u = \omega r$ , будем иметь

$$\int_S dS \int_{\varphi} ur^2 [\rho_1 + \rho_2] \frac{\partial \bar{\theta}_1}{\partial t} d\varphi = -[\rho_1 + \rho_2] \omega^2 \bar{\theta}_1 \int_S r^3 \sin \beta dS, \quad (5)$$

где  $\beta$  - угол между направлением переносной скорости и касательной к поверхности лопатки. Интеграл в выражении (5) берется по обеим поверхностям лопастей а также по боковым поверхностям межполосных каналов рабочего колеса.

Таким образом, выражение для момента взаимодействия лопастного колеса с потоком гидросмеси примет вид

$$M = \frac{G_1}{g} \left[ \overline{(r \langle V_u \rangle_1)_2} - \overline{(r \langle V_u \rangle_1)_1} \right] + \frac{G_2}{g} \left[ \overline{(r \langle V_u \rangle_2)_2} - \overline{(r \langle V_u \rangle_2)_1} \right] - [\rho_1 + \rho_2] \omega^2 \bar{\theta}_1 \int_S r^3 \sin \beta dS \quad (6)$$

Напор создаваемый лопастной машиной определяется величиной развиваемого ею момента, величиной угловой скорости рабочего колеса а также весом расходом перекачиваемой гидросмеси, и определяется по формуле :  $H = \frac{M\omega}{G}$ . Подставляя выражение (6) в последнее выражение получаем формулу для определения теоретического напора лопастной машины, при работе на гидросмеси

$$H = \frac{1-S}{g} \left[ \overline{(u \langle V_u \rangle_1)_2} - \overline{(u \langle V_u \rangle_1)_1} \right] + \frac{S}{g} \left[ \overline{(u \langle V_u \rangle_{21})_2} - \overline{(u \langle V_u \rangle_{21})_1} \right] - ArSh\Omega \frac{(\omega D)^2}{g}; \quad (7)$$

$$Ar = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}; \quad Sh = \frac{\omega D^3}{Q}; \quad \Omega = \iint \left(\frac{r}{D}\right)^3 \sin \beta \, d\sigma;$$

$$S = \frac{G_2}{G}; \quad -S = \frac{G_1}{G}; \quad Q = \frac{G}{g(\rho_2 - (\rho_2 - \rho_1)\theta_1)};$$

где  $D$  - диаметр рабочего колеса;  $Q$  - производительность лопастной машины по гидросмеси. Первые два слагаемых выражения (7) составляют изменение момента количества движения гидросмеси на выходе из рабочего колеса и на входе в него. Это и есть теоретический напор насоса, перекачивающего гидросмесь, согласно [4,5]. Однако, из выражения (7) видно, что при этом не учитывается третье слагаемое, содержащее параметр  $\Omega$  величина которого определяется конструктивными особенностями рабочего колеса, в частности формой лопаток и их количеством.

Одновременно третье слагаемое явным образом зависит от плотности твердых частиц и концентрации гидросмеси, а также от параметров Струхалия и величины скоростного напора насоса. Такая функциональная зависимость третьего слагаемого от характерных безразмерных параметров подтверждается основными результатами теории надежности и результатами исследования других авторов [7].

Таким образом, использование основного уравнения лопастных машин, полученного без учета эффектов в межполосном канале рабочего колеса, для расчета параметров насосов, перекачивающих гидросмесь, приводит к завышению величины теоретического напора. При этом, величина ошибки расчетов зависит от режима работы насоса, плотности перекачиваемой гидросмеси и транспортируемых частиц и не зависит явно от их крупности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зелепукин Н.П., Равинский Л.М., Харин А.И. Справочник гидромеханизатора. - Киев: Будівельник, 1968. - 342 с.
2. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик: В 2 кн./ Редкол.: О.Н. Тихонов и др. - М.: Недра, 1988. - Кн. 2/ Г.И. Адамов, В.Ф. Баранов, Б.П. Бугусов и др. - 341 с.
3. Общие требования к проектированию, монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию насосных установок с грунтовыми насосами. - М.: ВНИИгидромаш, 1984. - 28 с.
4. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. - М. - Л.: Машигиз, 1963. - 256с.
5. Животовский Л.С., Смойловская Л.А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. - М.: Машиностроение, 1986. - 224 с.
6. Крыль С.И. Напорные взвеснесущие потоки. - Киев: Наукова думка, 1990. - 170 с.
7. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. - М.-Л.: Машиностроение, 1966. - 364 с.

УДК 622.87:622.861

Т.В. Пономаренко

### МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Сформульована задача вибору оптимальних параметрів гірничих виробок ШВС, яка відрізняється врахуванням різночасності проведення гірничих виробок і різного терміну їх існування у ШВС. Розроблений метод оптимізації параметрів гірничих виробок відрізняється використанням мультиграфа, що відображає послідовність базових розрахункових періодів,