

## РЕЗЕРВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*А.А.Евтушенко, доц.; Ю.Я.Ткачук, доц.; С.Ю.Смертяк*

Системы водоснабжения являются одними из самых энергопотребляющих систем, поэтому даже незначительная в процентном отношении экономия электроэнергии дает большой эффект в абсолютном выражении. Известно, что с течением времени происходит так называемое зарастание внутренней поверхности труб водопроводной сети за счет твердых отложений, выпавших из перекачиваемой воды, частиц глины, песка, органических веществ. Отложения с течением времени уплотняются и образуют трудноудаляемый слой. Приблизительно можно считать, что за счет отложений линейно увеличивается абсолютная величина шероховатости стенок трубы:

$$\Delta(t) = \Delta + \alpha \cdot t = \Delta \left( 1 + \frac{\alpha \cdot t}{\Delta} \right), \quad (1)$$

где  $\Delta(t)$  - абсолютная шероховатость внутренних стенок трубы по истечении времени  $t$  эксплуатации;  $\Delta$  - абсолютная шероховатость внутренних стенок трубы до начала эксплуатации;  $\alpha$  - коэффициент пропорциональности, характеризующий темп нарастания шероховатости;  $t$  - текущее время от начала эксплуатации трубопровода.

Увеличивающаяся согласно выражению (1) шероховатость приводит к уменьшению проходного сечения трубы и тем самым снижает пропускную способность

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V, \quad (2)$$

где  $D$  - диаметр трубы до начала эксплуатации;  $V$  - средняя скорость перекачиваемой воды. За счет отложений с течением времени  $t$  диаметр  $D$  уменьшается до значений  $D(t)$ :

$$D(t) = D - 2\Delta(t). \quad (3)$$

С учетом (1) и (3) получим значение пропускной способности

$$Q(t) = \frac{\pi}{4} (D - 2\Delta(t))^2 V. \quad (4)$$

Выражение (4) можно представить в виде

$$Q(t) = \frac{\pi D^2}{4} \left( 1 - \frac{2\Delta(t)}{D} \right)^2 V \quad (5)$$

или с учетом (2)

$$Q(t) = Q \left( 1 - \frac{2\Delta(t)}{D} \right)^2. \quad (6)$$

Увеличение шероховатости приводит к росту потерь напора

$$\Delta H(t) = \lambda(t) \frac{l}{D(t)} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (7)$$

где  $\lambda(t) = 0,1l \left( \frac{\Delta(t)}{D(t)} \right)^{0,25}$  - коэффициент линейных потерь для квадратичной зоны турбулентного режима, при котором обычно работает сеть водоснабжения;  $l$  - длина трубопровода;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $\Delta H(t)$  - потери напора. С учетом (1) и (3) получим

$$\Delta H(t) = \lambda(t) \frac{l}{D(t)} \cdot \frac{V^2}{2g} = \lambda \frac{(l + \alpha \cdot l / \Delta)^{0,25}}{(1 - 2\Delta(t)/D)^{1,25}} \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \Delta H \frac{(l + \alpha \cdot l / \Delta)^{0,25}}{(1 - 2\Delta(t)/D)^{1,25}}. \quad (8)$$

За счет увеличения шероховатости проточной части насоса его напорная характеристика более круто загнется вниз, а за счет увеличения шероховатости стенок трубопровода характеристика сети круче пойдет вверх (рис. 1). Из рисунка 1 видно, что увеличение шероховатости при длительной эксплуатации трубопроводной сети приводит к уменьшению пропускной способности трубопровода ( $Q_2 = Q(t) < Q_1$ ), а также к снижению напора ( $H_2 = H(t) < H_1$ ). Одновременно уменьшается КПД ( $\eta_2 = \eta(t) < \eta_1$ ).

Мощности для первого и второго случаев будут

$$N_1 = \frac{\gamma Q_1 H_1}{1000 \cdot \eta_1}, \quad (9)$$

$$N_2 = N(t) = \frac{\gamma Q(t) H(t)}{1000 \cdot \eta(t)}, \quad (10)$$

где  $\gamma$  - удельный вес жидкости.

Очевидно, что разность  $N_1 - N_2 = \Delta N$  представляет собой бесполезно затрачиваемую мощность на компенсацию дополнительных потерь из-за наличия возросшей шероховатости  $\Delta(t)$ . Стоимость этой электроэнергии можно найти как

$$C_3 = \sigma \Delta N t, \quad (11)$$

где  $\sigma$  - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии;  $t$  - время в часах.

С помощью выражения (11) можно сделать вывод о дальнейшей судьбе трубопроводной сети: продолжать эксплуатацию трубопровода или демонтировать его. Критерием служит стоимость ремонта, заключающаяся в очистке внутренней поверхности от отложений. Стоимость таких работ

$$C_0 = \Delta t \cdot \sigma_0, \quad (12)$$

где  $\sigma_0$  - стоимость работ одного дня по очистке трубопровода;  $\Delta t$  - время работ в днях.

Очевидно, что если  $C_0 > C_3$ , целесообразно отказаться от дальнейшей эксплуатации трубопровода. Если  $C_0 < C_3$ , то целесообразно выбрать такой срок начала ремонта, при котором  $C_3$  не превысит  $C_0$ .

На рисунке 2 показано, как рационально выбрать начало работ по очистке трубопровода. Время начала работ по очистке трубопровода от отложений  $t_2 = t_1$ , а окончание не должно выходить правее точки К, соответствующей времени  $t_2 = t_k$ . Соответственно  $\Delta t = t_2 - t_1 = t_k - t_n$ .

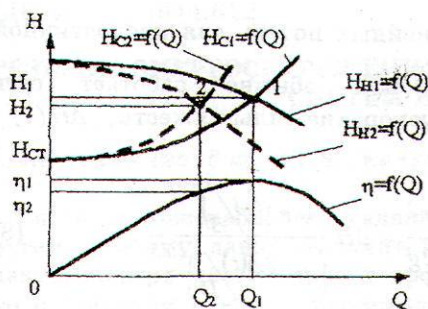


Рисунок 1 - Совместная работа насоса и

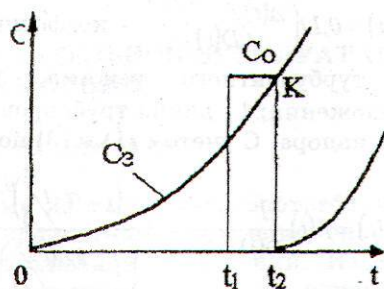


Рисунок 2 - Зависимость стоимости электроэнергии  $C_2$  и стоимости очистки трубопровода  $C_0$  от времени

Выражение (8) верно отражает влияние времени эксплуатации на величину потерь в трубопроводе при условии, что в нем поддерживается заданная величина средней скорости  $V$ . Однако более детальный анализ показывает, что средняя скорость также изменяется с течением времени. Это связано с тем, что центробежный насос развивает подачу, которая зависит от геометрических размеров рабочего колеса и частоты его вращения. Пренебрегая утечками через сальники, имеем

$$Q = \pi(D_2 - z\delta_2)b_2V_{2r}, \quad (13)$$

где  $D_2$ ,  $b_2$ ,  $\delta_2$  - соответственно наружный диаметр рабочего колеса, ширина канала на выходе и толщина кромки лопатки на выходе;  $V_{2r}$  - радиальная проекция абсолютной скорости;  $z$  - число лопаток.

Поскольку все вышеперечисленные величины не изменяются, то остается неизменной и подача насоса  $Q$ , которая поступает в трубопровод. Поэтому в уравнении (5) следует считать  $Q(t) = Q = const$ ,  $V = V(t)$ , то есть

$$Q(t) = \frac{\pi D^2}{4} \left(1 - \frac{2\Delta(t)}{D}\right)^2 V(t). \quad (14)$$

Из выражения (14) получим

$$V(t) = \frac{4Q}{\pi D^2 \left(1 - \frac{2\Delta(t)}{D}\right)^2} = \frac{V}{\left(1 - \frac{2\Delta(t)}{D}\right)^2}. \quad (15)$$

Подставляя в (8) вместо скорости  $V$  ее значение  $V(t)$  из (15), имеем

$$\Delta H(t) = \Delta H \frac{\left(1 + \alpha \cdot t / \Delta\right)^{0,25}}{\left(1 - 2\Delta(t) / D\right)^{5,25}}. \quad (16)$$

Или окончательно

$$\Delta H(t) = K_{CT} \Delta H, \quad (17)$$

где

$$K_{СТ} = \frac{(1 + \alpha \cdot t / \Delta)^{0,25}}{(1 - 2\Delta(t) / D)^{5,25}} \quad (18)$$

Очевидно, величина  $K_{СТ}$  будет увеличиваться при увеличении времени  $t$  эксплуатации трубопровода, поэтому  $K_{СТ}$  можно назвать коэффициентом старения трубопроводной сети, который характеризует снижение энергетической эффективности трубопроводной системы с течением времени. Элементарный анализ выражения (16) показывает, что при  $t > 0$  числитель  $(1 + \alpha \cdot t / \Delta)^{0,25} > 1$ , а знаменатель  $(1 - 2\Delta(t) / D)^{5,25} < 1$ . Таким образом, при  $t > 0$

всегда  $K_{СТ} > 1$  и интенсивно увеличивается с ростом  $t$ . Для новой трубопроводной сети  $K_{СТ} = 1$ . Чем дольше эксплуатируется трубопровод, тем больше  $K_{СТ}$  отличается от единицы, тем больше резерв энергосбережения.

В настоящее время накоплено достаточно экспериментального материала для того, чтобы воспользоваться предлагаемыми в данной работе формулами инженерных расчетов.

Правильно выбранное решение с учетом условий  $C_0 > C_э$  и  $C_0 < C_э$  позволяет сберечь энергию и сэкономить средства.

#### ВЫВОДЫ

1. На основе анализа условий работы систем водоснабжения выявлен резерв энергосбережения за счет устранения твердых отложений на стенках труб.
2. Предложены формулы, пригодные для инженерных расчетов.
3. Предложены условия для принятия обоснованного решения о дальнейшей судьбе водопроводной сети.

#### SUMMARY

*On the basis of analysis of working conditions of the water supply system the reserve of energy saving at the expense of removing the solid deposits on the pipe walls is revealed. The formulae suitable for the engineering calculations are suggested. The conditions for accepting the well grounded decision conserving the future of the water-supply net are suggested.*

Поступила в редколлегию 22 февраля 2000 г.

УДК 622.276.6

### ОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ НЕФТЕОТДАЧИ ПРОМЫСЛОВЫХ РАБОТАЮЩИХ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ ПОГРУЖНЫХ УСТРОЙСТВ ГИДРОУДАРНОГО И АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Э.Л.Гочилин, доц.; И.А.Ковалев, проф.

Известно, что существующие способы разработки нефтяных залежей не позволяют полностью извлекать нефть из природных коллекторов [1].

Естественные режимы работы залежей характеризуются коэффициентом первичной нефтеотдачи, значения которого, по данным М.А. Жданова, составляют: