

УДК 621.65; 621.51

И.В. Дворовенко, А.Р. Богомолов, А.А. Тихонов, Д.Ю. Васютин

О РАВНОМЕРНОСТИ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ ПОРШНЕВЫМИ НАСОСАМИ

В поршневых насосах перемещение жидкости идет за счет возвратно-поступательного движения поршня внутри цилиндра. При движении поршня одноцилиндрового насоса простого действия вправо (рис.1) происходит увеличение объема рабочей камеры и ее заполнение жидкостью через всасывающий клапан, при движении поршня влево происходит уменьшение объема рабочей камеры и вытеснение жидкости из камеры через нагнетательный клапан. Следовательно, в поршневых насосах простого действия подача жидкости в нагнетательный трубопровод имеет прерывистый характер.

Для реализации возвратно-поступательного движения поршня в основном используется кривошипно-шатунный механизм, преобразующий вращательное движение вала электродвигателя или редуктора в поступательное движение ползуна, связанного с поршнем через шток. За один оборот кривошипа поршень совершает два хода – ход всасывания и ход нагнетания (рабочий ход). Скорость движения поршня зависит от угла поворота кривошипа, увеличивается от нуля в нижней

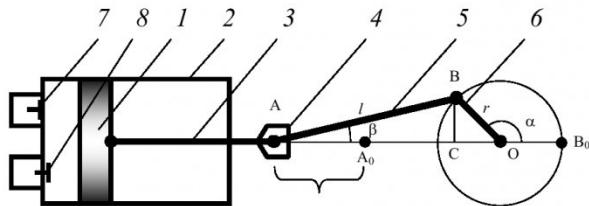


Рис. 1. Расчетная схема поршневого насоса:
1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 – шток; 4 – крейцкопф (ползун); 5 – шатун; 6 – кривошип; 7, 8 – клапаны; $A_0B_0=AB=l$; $OB_0=OB=r$; $A_0A=x$

"мертвой точке" до максимального значения и затем уменьшается снова до нуля в верхней "мертвой точке".

Подача поршневого насоса зависит от скорости перемещения поршня и является неравномерной

$$Q=wF, \text{ м}^3/\text{с},$$

где w – скорость движения поршня, м/с; F – площадь поперечного сечения поршня, м^2 .

Для определения скорости перемещения поршня необходимо установить закон движения поршня, т.е. зависимость хода поршня x от угла поворота кривошипа α . В [1-3] принимают допущение, что длина шатуна значительно превосходит длину кривошипа ($l/r > 5$) и для описания закона движения поршня используется приближенная формула

$$x=r(1-\cos\alpha), \text{ м}, \quad (1)$$

где l – длина шатуна, м; r – длина кривошипа, м.

Скорость перемещения поршня определяется как производная хода поршня от времени τ

$$w=\frac{dx}{d\tau}=\frac{dx}{d\alpha}\frac{d\alpha}{d\tau}=r\omega\cdot\sin\alpha, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения кривошипа, рад/с.

Подача поршневого насоса простого действия изменяется по синусоиде

$$Q=F\omega\cdot\sin\alpha. \quad (3)$$

График подачи в зависимости от угла поворота кривошипа изображен на рис.3 (линия 1). Таким образом, только один ход поршня одноцилиндрового насоса простого действия из двух является рабочим и движение поршня является неравномерным, т.е. подача жидкости в нагнетательный трубопровод не постоянна.

Неравномерная подача во многих технологических процессах нежелательна, а в некоторых случаях недопустима. Существует несколько способов уменьшения неравномерности подачи. Одним из распространенных методов является использование нескольких насосов, работающих параллельно на нагнетательный трубопровод, но с запаздыванием угла поворота кривошипа. Поршни насосов создают чередуемость ходов подачи во времени, что приводит к выравниванию общей подачи. Насосные установки по неравномерности подачи классифицируют по кратности действия: однократного или простого, двукратного, четырехкратного, трехкратного действия. Наибольшую равномерность подачи имеют насосы трехкратного действия. По литературным данным насосные установки большей кратности в промышленности не применяются. Наибольшую равномерность подачи имеют насосы трехкратного действия.

Целью данной работы является исследование влияния отношения длины шатуна к длине кривошипа (l/r) на равномерность подачи насосной установки и расширение ряда кратности насосов по равномерности подачи. Решение задачи проводилось численно с применением Microsoft Excel. При проведении расчетов предполагалось, что отсутствуют утечки жидкости через неплотности и отсутствует возврат жидкости из цилиндра насоса во всасывающий трубопровод и из нагнетательного трубопровода в цилиндр насоса из-за запаздывания закрытия клапанов.

Полное уравнение закона движения поршня для схемы, изображенной на рис.1 запишется в виде:

$$x=r(1-\cos\alpha)-l(1-\cos\beta), \quad (4)$$

где β – угол подъема шатуна, град.

Исключая из уравнения (4) $\cos\beta$, можно записать $BC = l \cdot \sin\beta = r \cdot \sin\alpha$, откуда

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2\alpha} \quad . \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим уравнение закона движения поршня, зависящее только от угла поворота кривошипа:

$$x = r(1 - \cos\alpha) + \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2\alpha} - 1. \quad (6)$$

На рис. 2 показаны зависимости хода поршня от угла поворота кривошипа, рассчитанные по уравнениям (1) – линия 4 на рисунке и (6), построенные при значениях l/r . При малых значениях l/r линии отличаются от графика, построенного по (1), причем чем меньше отношение l/r тем больше отличие. При накальных значениях α перемещение поршня, рассчитанное по (1), происходит быстрее, при углах $\alpha > 90^\circ$ более интенсивный ход поршня получается по уравнению (6). Этот факт можно объяснить тем, что сначала происходит подъем шатуна, а затем его опускание. Уравнение (1) не учитывает это явление и поэтому наблюдается различие графиков.

Скорость перемещения поршня можно получить, продифференцировав (6) по времени τ :

$$w = \frac{dx}{d\tau} = r\omega \cdot \sin\alpha \left(1 - \frac{r \cdot \cos\alpha}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2\alpha}} \right) . \quad (7)$$

Уравнение подачи поршневого насоса простого действия запишется в виде:

$$Q = Fr\omega \cdot \sin\alpha \left(1 - \frac{r \cdot \cos\alpha}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2\alpha}} \right) . \quad (8)$$

На рис. 3 представлены графики зависимости подачи простого насоса от угла поворота кривошипа, построенные по уравнениям (3) и (8) при различных значениях l/r . При малых значениях l/r линии, построенные по уравнению (8) отличаются от линии 4, при значении $l/r > 50$ наблюдается слияние графиков подач с линией 4.

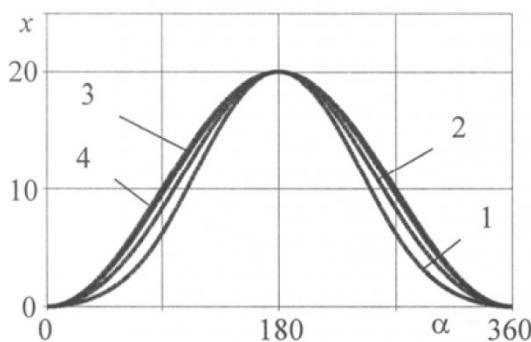


Рис. 2. Зависимость хода поршня от угла поворота кривошипа при различных значениях l/r : 1 - 1,5; 2 - 5; 3 - 20; 4 - расчет по (1)

На основании полученных результатов можно сделать заключение о том, что отношение длины шатуна к длине кривошипа влияет на диаграмму подачи поршневого насоса только при $l/r < 10$, при больших значениях влиянием второго слагаемого в (8) можно пренебречь, получая (3).

Второй задачей исследования было определение числа параллельно работающих на сеть насосов, имеющих наиболее равномерный график подачи. Для этого были исследованы насосные установки, состоящие из 2-10 насосов, построены графики подачи каждого насоса установки и суммарные графики подачи насосной установки при различных значениях l/r , определены значения максимальной и минимальной мгновенной подачи установки, значения средней подачи, степень неравномерности подачи. На рис. 4 представлены суммарные графики подачи насосных установок, рассчитанные по уравнению (3), на рис. 5-7 изображены суммарные графики подачи насосных установок различной кратности при разных значениях l/r . Диаграммы средних подач насосных установок не изображены, чтобы не загромождать рисунок.

Из представленных графиков видно, что при количестве насосов в установке, равном 4, 6, 8, 10 диаграммы суммарной подачи остаются неизменными при любых значениях отношения l/r , за исключением очень малых. У насосных установок, имеющих нечетное число насосов, амплитуда подачи уменьшается с ростом отношения l/r . Следует также отметить, что амплитуда суммарной подачи у трехкратного насоса больше, чем у четырехкратного при отношении, меньшем 3.

В работах [1,2] степень неравномерности подачи определяется как отношение максимальной мгновенной подачи к средней, степень неравномерности насосных установок, состоящих из одного, двух, трех и четырех параллельно включенных насосов, равна соответственно π , $\pi/2$, $\pi/3$, $\sqrt{2}\pi/4$. В данной работе степень неравномерности подачи насосной установки оценивалась по трем показателям:

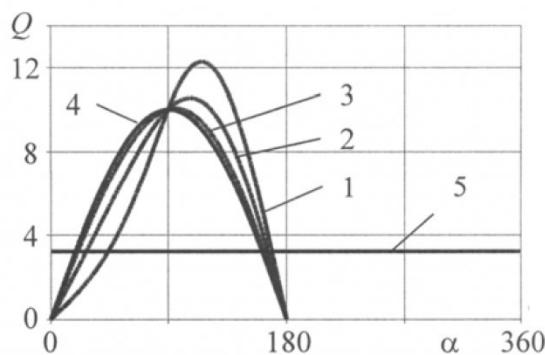


Рис. 3. Зависимость подачи поршневого насоса простого действия от угла поворота кривошипа при различных значениях l/r : 1 - 1,5; 2 - 3; 3 - 10; 4 - расчет по (3); 5 – линия средней подачи

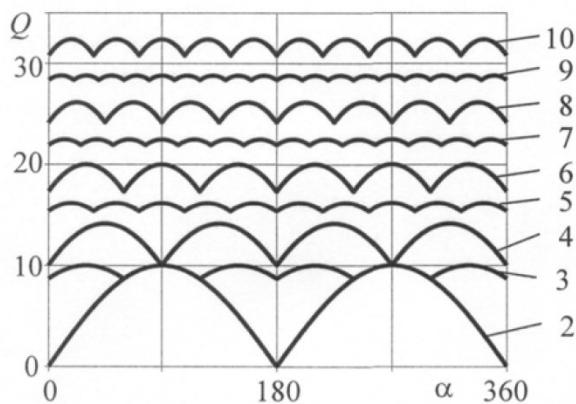


Рис. 4. Диаграммы суммарной подачи насосных установок, построенные по (3), номер графика соответствует количеству насосов в установке

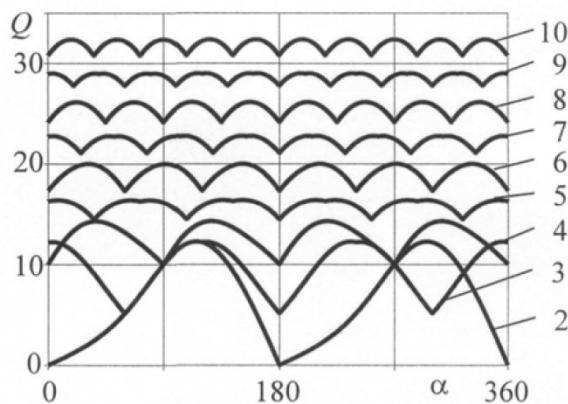


Рис. 5. Диаграммы суммарной подачи насосных установок, построенные по (8), при отношении $l/r=1,5$

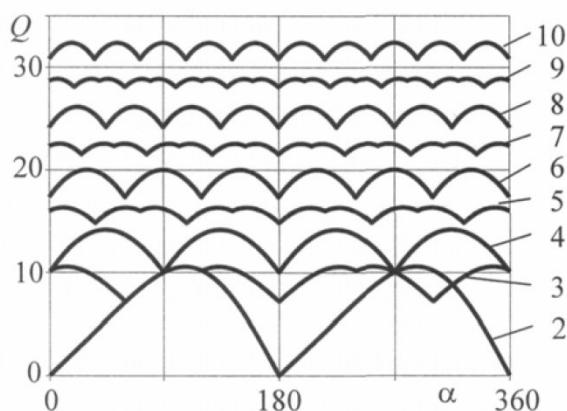


Рис. 6. Диаграммы суммарной подачи насосных установок, построенные по (8), при отношении $l/r=3$

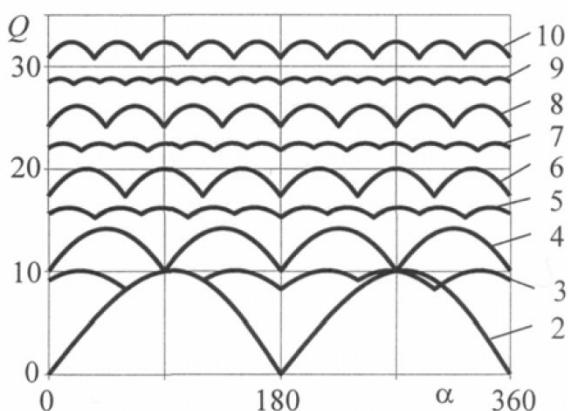


Рис. 7. Диаграммы суммарной подачи насосных установок, построенные по (8), при отношении $l/r=10$

1. как отношение максимальной подачи к средней,
2. как отношение минимальной подачи к средней,
3. как отношение амплитуды подачи (разности между максимальной и минимальной подачами) к средней.

В первых двух случаях наименьшая неравномерность подачи стремится к единице, в третьем – к нулю. На рис. 8-10 изображены графики степени неравномерности подачи для различных насосных установок в зависимости от отношения l/r . На основании полученных графиков можно отметить,

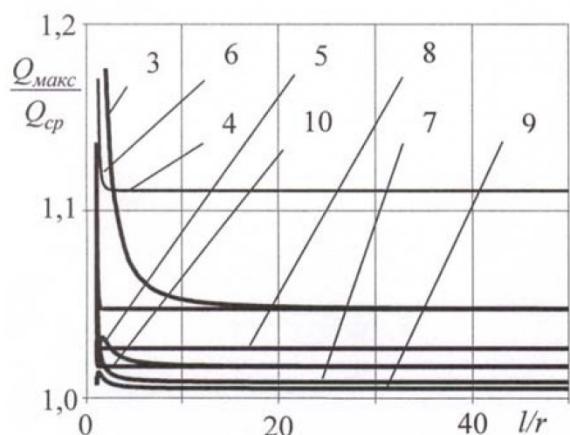


Рис.8. Степень неравномерности подачи, как отношение максимальной мгновенной подачи к средней

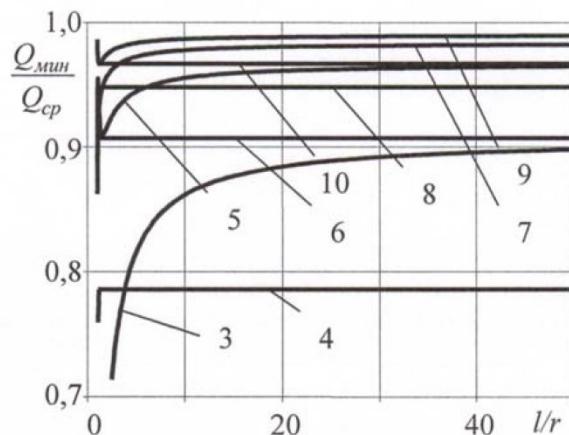


Рис.9. Степень неравномерности подачи, как отношение минимальной мгновенной подачи к средней

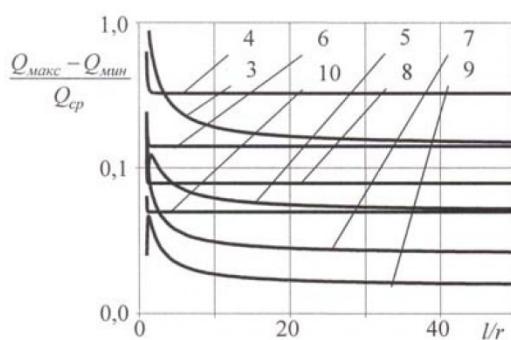


Рис.10. Степень неравномерности подачи, как отношение амплитуды подачи к средней подаче

что неравномерность подачи не зависит от отношения при четном числе насосов в насосной уста-

новке, при $l/r < 5$ у четырехкратной насосной установки меньше, чем у трехкратной установки. У насосных установок, состоящих из 4, 6, 8, 10 насосов степень неравномерности не зависит от отношения l/r .

На основании проведенных исследований можно принять следующую классификацию насосов по кратности действия от максимальной до минимальной неравномерности подачи при отношении длины шатуна к длине кривошипа больше 5:

1, 2, 4, 3, 6, 8, 5, 10, 7, 9.

По результатам данной работы на кафедре процессов, машин и аппаратов химических производств разработана лабораторная работа "Исследование расходной характеристики поршневых насосов".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учеб.: В 2 кн. / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. – М.: Логос, Высш. шк., 2002. – Кн. 1. – 912 с.
2. Поляков В.В. Насосы и вентиляторы: Учеб. для вузов / В.В. Поляков, Скворцов Л.С. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.
3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. М., Энергия, 1977. – 424 с.

□ Авторы статьи:

Дворовенко Игорь Викторович - канд. техн. наук, доц. каф. процессов, машин и аппаратов химических производств	Богомолов Александр Романович - канд. техн. наук, доц. каф. процессов, машин и аппаратов химических производств	Тихонов Александр Александрович - студент гр. МХ-012	Васютин Дмитрий Юрьевич - студент гр. МХ-011
--	--	--	--