

УДК 621.651+004.942
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ЦИЛИНДРЕ
АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА

В. П. ЗАЙЦЕВ

Индивидуальный предприниматель Зайцев Вячеслав Петрович
УНП 491357068
Гомель, Беларусь

Рассмотрим вопросы повышения адекватности существующего физико-математического описания рабочего процесса в цилиндре аксиально-поршневого насоса. При высоких рабочих давлениях нельзя игнорировать влияние на рабочий процесс нелинейных факторов, связанных со сжимаемостью жидкости.

Новизна разработанной модели состоит в том, что она рассматривает модуль объемной упругости рабочей жидкости как некоторую непрерывную гладкую функцию, зависящую от давления в полости цилиндра. В известных моделях модуль объемной упругости выступает либо как постоянная величина [1], либо как дискретная или дискретно-линеаризированная.

Математическая модель построена на основании совокупности обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений неразрывности потока сжимаемой жидкости, решенных относительно функции давления в цилиндре насоса $P(t)$. В общем случае совокупность дифференциальных уравнений состоит из набора функций следующего вида:

$$Q_K(t) = Q_{СЖ}(t) + Q_{ОК}(t) + Q_{УТ}(t), \quad (1)$$

где $Q_K(t)$ – кинематическая подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{СЖ}(t)$ – расход сжатия, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{ОК}(t)$ – расход через окно блока цилиндров; $Q_{УТ}(t)$ – расход, обусловленный утечками жидкости из цилиндра, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$Q_K(t) = S_{\Pi} \cdot R \cdot \omega \cdot \text{tg } \gamma \cdot \sin \omega t. \quad (2)$$

$$Q_{СЖ}(t) = \frac{V(t)}{K_T} \frac{d}{dt} \frac{P(t) - P_{И}(t)}{E(P(t), P_{И}(t))}. \quad (3)$$

$$Q_{ОК}(t) = \mu S(t) \sqrt{\frac{2(P(t) - P_{И}(t) - P_{ПН}(t))}{\rho(P(t), P_{И}(t))}}. \quad (4)$$

$$Q_{УТ}(t) = K_{УТ} \cdot \sqrt{\frac{2(P(t) - P_{И}(t) - P_K)}{\rho(P(t), P_{И}(t))}}. \quad (5)$$

В уравнениях (2–5) использованы следующие обозначения: S_{Π} – площадь поперечного сечения поршня, м^2 ; R – межосевой радиус блока цилиндров, м ; ω – угловая скорость блока, $\text{рад}/\text{с}$; γ – угол наклона траверсы, рад ; $V(t)$ – функция, определяющая мгновенный объем жидкости в цилиндре, м^3 ; K_T – коэффициент, учитывающий температурные факторы;

$P(t)$ – искомая функция давления в цилиндре, Па; $P_{и}(t)$ – функция давления, обусловленного инерционными свойствами жидкости, Па; $E(P(t), P_{и}(t))$ – оператор динамического модуля объемной упругости жидкости, Па; μ – коэффициент расхода через окно блока цилиндров и распределительный диск; $S(t)$ – функция площади живого сечения окна блока и распределительного диска, m^2 ; $P_{пн}(t)$ – функция переходного процесса в напорной полости насоса, Па; $\rho(P(t), P_{и}(t))$ – оператор динамической плотности рабочей жидкости, kg/m^3 ; $K_{ут}$ – коэффициент утечек; P_K – давление в корпусе насоса, Па.

Совокупность дифференциальных уравнений имеет сложный характер поведения и увеличенную меру нелинейности из-за использования динамического модуля объемной упругости. Поэтому интеграл такой совокупности не имеет аналитического решения и не выражается в элементарных функциях. Решение осуществляется численным методом Эйлера первого порядка точности. Результатом моделирования является индикаторная диаграмма. На рисунке 1 изображено семейство индикаторных диаграмм, полученных в результате моделирования рабочего процесса аксиально-поршневого насоса АЗ-100/42.00РО.2 при различных значениях давления в напорной полости P_F , МПа.

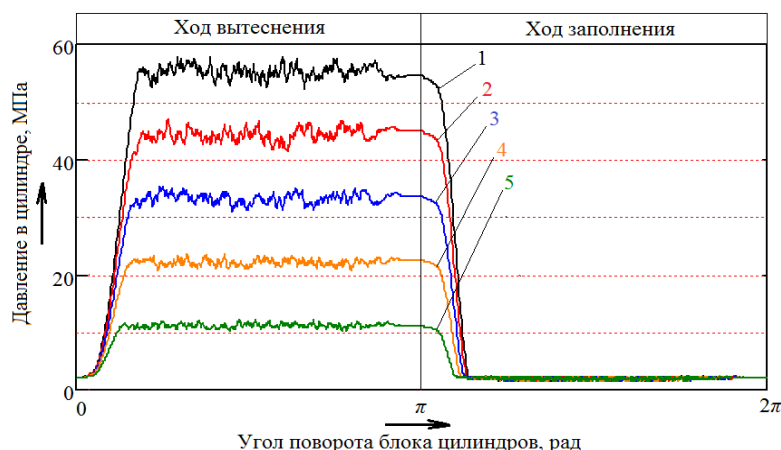


Рис. 1. Семейство индикаторных диаграмм аксиально-поршневого насоса: 1 – при $P_F = 50$ МПа; 2 – при $P_F = 40$ МПа; 3 – при $P_F = 30$ МПа; 4 – при $P_F = 20$ МПа; 5 – при $P_F = 10$ МПа

Использование динамического модуля объемной упругости рабочей жидкости позволяет получать надежные результаты моделирования, которые возможно использовать при проектировании новой техники и модернизации существующих образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Jian, Shi.** Dynamic pressure gradient model of axial piston pump and parameters optimization / Shi Jian, Li Xin, Wang Shaoping // *Mathematical Problems in Engineering* [Electronic resource]. – Hindawi Publishing Corporation, 2014. – vol. 2014. – 10 p. – Mode of access: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2014/352981>. – Date of access: 19.10.2017.