

ТРАНСПОРТНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

621.01

К ОЦЕНКЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОПРОВОДЕ

Д-р техн. наук, проф. В. Н. СЫЗРАНЦЕВ, д-р техн. наук, проф. С. Л. ГОЛОФАСТ,
инж. В. В. ЧЕРПАКОВ

Применен математический аппарат, разработанный в рамках теории непараметрической статистики. Восстановленный закон изменения функции плотности является основой для реализации численных алгоритмов расчета вероятности безотказной работы газопровода по критериям прочности.

The mathematical apparatus developed within the limits of the theory of nonparametric statistics is applied. The restored law of variation of density function is fundamental for realization of numerical algorithms for calculating probability of non-failure operation in the gas conduit by criteria of durability.

В ситуации, сложившейся в трубопроводной отрасли в настоящее время, когда 5 % от общего числа магистральных газопроводов эксплуатируется в интервале от 1 года до 10 лет, 39 % — 10—20 лет; 32 % — от 20—30 лет; 14 % — от 30—40 лет; 10 % преодолели 40-ти летний срок эксплуатации, особую актуальность приобретают вероятностные методы расчета газопроводов на прочность, что позволяет оценить как вероятность их безотказной работы, так и осуществить прогнозирование остаточного ресурса.

Одной из основных нагрузок, учитываемых при расчетах газопроводов на прочность, является давление газа. Давление в газопроводах в процессе эксплуатации меняется случайным образом. В качестве примера приведем данные по давлению нагнетания ($P_{\text{нагн}}$) на КС Губкинская за 2006 год (гистограмма на рис. 1). Из анализа рис. 1 следует, что давление изменяется в пределах от 62,2 до 76,0 МПа. Разница в изменении давлений достигает 18%. Давление в течение года меняется как постепенно, так и скачкообразно (скачки достигают 6,0 МПа). Иллюстрация изменения давления на входе ($P_{\text{всас}}$) в эту же КС за данный период времени показана в виде гистограммы рис. 2.

При расчетах прочностной надежности газопроводов традиционно принимается [1], что закон распределения давления не противоречит нормальному. В то же время представленные на рис. 1 и рис. 2 гистограммы функций плотности распределения $P_{\text{нагн}}$ и $P_{\text{всас}}$, свидетельствуют, что эти законы не только далеки от нормального распределения, но и не могут быть описаны на основе стандартных законов, предложенных и исследованных в рамках параметрической статистики. Подобные показанным на рис. 1 и 2 функции плотности распределения получены при обработке результатов измерения давления газа и температуры на входе и выходе 14 компрессорных станций эксплуатируемых на территории Западной Сибири.

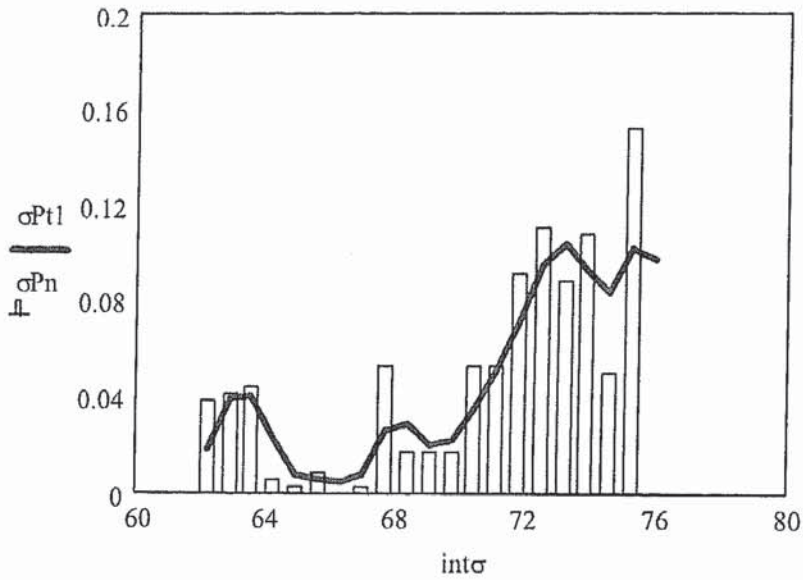


Рис. 1. Функция плотности распределения $P_{\text{инт}}$ за 2006 г.

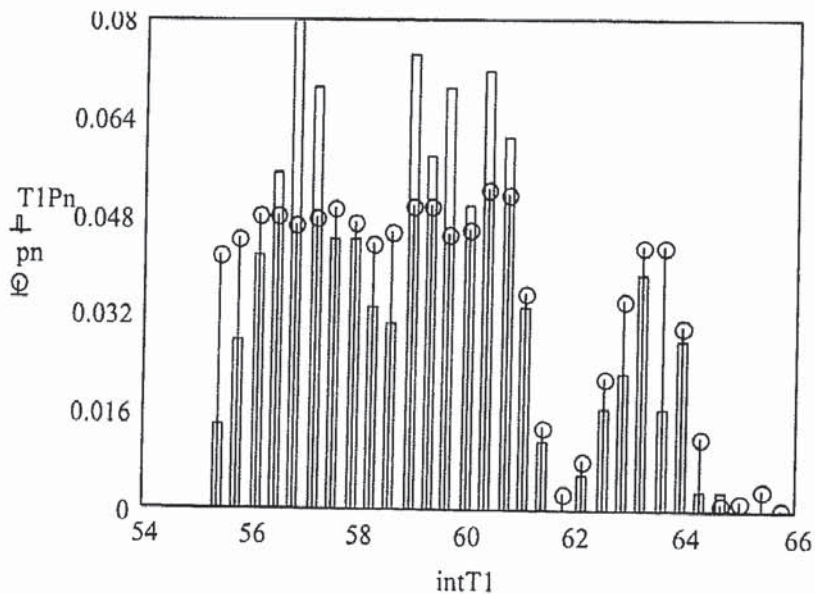


Рис. 2. Функция плотности распределения $P_{\text{всac}}$ за 2006 г.

В теории прочности при решении задач оценки вероятности безотказной работы или прогнозирования ресурса используют различные законы распределения случайных величин: нормальное распределение, гамма — распределение, распределение Вейбула и другие. Все эти законы являются унимодальными и имеют легкие «хвосты» распределения плотности. Полученные на основе обработки конкретных экспериментальных данных гистограммы (рис. 1, 2) функций плотности распределения величин давления характеризуются несколькими экстремумами, что при решении задач прочностной надежности трубопроводов исключает возможность использования методов параметрической статистики. С развитием высокопроизводительной вычислительной техники появилась возможность

решения подобных задач на основе методов непараметрической статистики [2—4]. В качестве примера на рис. 1 (линия), а на рис. 2 (кружок) показаны результаты восстановления функций плотности распределения давления нагнетания и давления всасывания с использованием математического аппарата, разработанного в рамках теории непараметрической статистики, — путем минимизации функции эмпирического риска [2].

Оценка неизвестной функции плотности получена в виде разложения по системе тригонометрических функций

$$f_N(P) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \varphi_i(P), \quad (1)$$

где λ_i — коэффициенты, определяемые в процессе минимизации функции эмпирического риска [2], N — число членов разложения, $\varphi_i(P)$ — тригонометрическая функция [2, 3].

Выражение (1) позволяет построить непараметрический датчик, с помощью которого можно получить выборку исследуемой случайной величины требуемой длины. Восстановленный закон изменения функции плотности является основой для реализации численных алгоритмов расчета вероятности безотказной работы газопровода по критериям прочности, рассмотренных в работах [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харитоновский В. В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. — М.: ОАО «Издательство «Недра»», 2000. — 467 с.
2. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под редакцией В.Н. Вапника. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. — 816 с.
3. Сызранцев В. Н., Невелев Я. П., Голофаст С. Л. К расчету вероятности безотказной работы нефтегазового оборудования методами непараметрической статистики / Методы компьютерного проектирования и расчета нефтяного и газового оборудования: Сб. материалов III Российской межвуз. научн. — практ. конф. с межд. участием. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. — С. 118—123
4. Сызранцев В. Н., Невелев Я. П., Голофаст С. Л. Восстановление функций плотности распределения вероятности при решении прочностных задач / Методы компьютерного проектирования и расчета нефтяного и газового оборудования: Сб. материалов III Российской межвуз. научн.-практ. конф. с межд. участием. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. — С. 109—117.