

Раздел 6

ЭКОЛОГИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.8.084

А.Е. Костров

Пермский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ДАВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Представлен расчет показателя безопасности рабочего места оператора химического производства на примере технологического трубопровода хлора. Установлены зависимости показателя безопасности от действующего давления и диапазона допустимых значений давления в трубопроводе.

Как известно, технологические трубопроводы являются одними из самых ответственных конструкций на предприятиях нефтяной, газовой и химической промышленности, они в значительной мере определяют безопасность и эффективность функционирования всего производства.

Для оценки безопасности технологических трубопроводов воспользуемся формулой расчета показателя безопасности рабочего места [1]:

$$B_{p,m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{3} \left[\frac{\left(\varphi_i^{\text{доп}} - \left(\varphi_i(t) + \frac{C_1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\varphi_i(t) - M(\varphi_i(t)))^2}{2\sigma_1^2} \right] \exp(-\lambda_1 t) \right) \right)}{\varphi_i^{\text{доп}}} \right] + \left(\frac{\left(\rho_i(t) + \frac{C_2}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\rho_i(t) - M(\rho_i(t)))^2}{2\sigma_2^2} \right] \exp(-\lambda_2 t) \right) - \rho_i^{\text{доп}}}{\rho_i^{\text{доп}}} \right) + \tag{1}$$

$$+ \left[\frac{\tau_i^{\text{доп}} - \left(\tau_i(t) + \frac{C_3}{\sigma_3 \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\tau_i(t) - M(\tau_i(t)))^2}{2\sigma_3^2} \right] \exp(-\lambda_3 t) \right)}{\tau_i^{\text{доп}}} + \sum_{i=1}^N \Delta_{T_i} + \sum_{i=1}^N \Delta_{E_k} + \sum_{i=1}^N \Delta_{S_i^ч} \right],$$

где $B_{p.m}$ – показатель безопасности рабочего места; N – количество опасных факторов; φ_i – мощность; ρ_i – приведенное расстояние опасного воздействия; τ_i – время опасного воздействия; λ_i – интенсивность i -го события; C_1, C_2, C_3 – коэффициенты усечения нормального закона распределения φ, ρ, τ ; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – среднеквадратическое отклонение усеченного нормального закона φ, ρ, τ ; $\sum_{i=1}^N \Delta_{T_i}, \sum_{i=1}^N \Delta_{E_k}$ и $\sum_{i=1}^N \Delta_{S_i^ч}$ – слагаемые, характеризующие влияние техники на факторы природы и человека, природы на факторы техники и человека и влияние человека на факторы природы и техники; индекс i относится к i -му источнику опасности.

В качестве примера возьмем технологический трубопровод хлора. Источником опасности в данной ситуации является транспортируемая среда – хлор, которая обладает химической энергией (φ_2 , концентрация вещества) и механической энергией (φ_1 , рабочее давление). Температура транспортируемого хлора 25–30 °С, поэтому далее температурный фактор опасности учитывать не будем. За приведенное расстояние опасного воздействия будем принимать толщину стенки трубопровода ρ_1 . Время опасного воздействия – это время нахождения персонала в опасной зоне при аварийной ситуации, после достижения ПДК веществ в рабочей зоне τ_1 ; $\varphi_1^{\text{доп}}$ – допустимое рабочее давление; $\varphi_2^{\text{доп}}$ – предельно допустимая концентрация (ПДК) хлора; $\rho_1^{\text{доп}}$ – допустимая толщина стенки; $\tau_1^{\text{доп}}$ – время, за которое человек получит смертельное отравление после достижения ПДК опасных веществ в рабочей зоне. Значения $\varphi_1^{\text{доп}}, \varphi_2^{\text{доп}}, \rho_1^{\text{доп}}, \tau_1^{\text{доп}}$ берутся из паспорта трубопровода и СНИП.

Величину слагаемых влияния $\sum_{i=1}^N \Delta_{T_i}, \sum_{i=1}^N \Delta_{E_k}$ и $\sum_{i=1}^N \Delta_{S_i^ч}$ на данном этапе разработки автоматизированной системы учитывать не будем и примем их за нулевые значения. Расчет данных величин является задачей дальнейшего исследования. После подстановки всех значений в формулу (1) получим

$$B_{p.m} = \frac{1}{6} \left[\frac{\varphi_1^{\text{доп}} - \left(\varphi_1(t) + \frac{C_1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\varphi_1(t) - M(\varphi_1(t)))^2}{2\sigma_1^2} \right] \exp(-\lambda_1 t) \right)}{\varphi_1^{\text{доп}}} + \right]$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\varphi_2^{\text{доп}} - \left(\varphi_2(t) + \frac{C_2}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\varphi_2(t) - M(\varphi_2(t)))^2}{2\sigma_2^2} \right] \exp(-\lambda_2 t) \right)}{\varphi_2^{\text{доп}}} \right) + \\
& + 2 \left(\frac{\left(\rho_1(t) + \frac{C_3}{\sigma_3 \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\rho_1(t) - M(\rho_1(t)))^2}{2\sigma_3^2} \right] \exp(-\lambda_3 t) \right) - \rho_1^{\text{доп}}}{\rho_1^{\text{доп}}} \right) + \\
& + 2 \left(\frac{\tau_1^{\text{доп}} - \left(\tau_1(t) + \frac{C_4}{\sigma_4 \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\tau_1(t) - M(\tau_1(t)))^2}{2\sigma_4^2} \right] \exp(-\lambda_4 t) \right)}{\tau_1^{\text{доп}}} \right) \Bigg]. \quad (2)
\end{aligned}$$

Показатель безопасности рабочего места $B_{p.m}$ должен быть всегда больше 0:

$$B_{p.m} > 0.$$

Если хотя бы одно из слагаемых (2) становится отрицательным или равным нулю, то показатель безопасности становится равным 0, так как выполняется условие опасной ситуации.

Проведем моделирование расчета показателя безопасности рабочего места оператора химических производств от действующих давлений в технологическом трубопроводе. В основе программы моделирования будет лежать формула (2). В эту программу вводим максимальные и минимальные значения рабочего давления в трубопроводе, толщины стенки, концентрации хлора и времени отравления, зарегистрированные за время эксплуатации:

$$P_{\min} = 0,6 \text{ атм}; P_{\max} = 1,4 \text{ атм};$$

$$C_{\min} = 67 \%; C_{\max} = 83 \%;$$

$$\rho_{\min} = 8,7 \text{ мм}; \rho_{\max} = 10,2 \text{ мм};$$

$$\tau_{\min} = 0 \text{ мин}; \tau_{\max} = 3 \text{ мин}.$$

Программа самостоятельно вычисляет величину математического ожидания и среднеквадратического отклонения введенных параметров. Коэффи-

коэффициенты усечения нормальных законов распределения C_1, C_2, C_3, C_4 принимаем равными единице, а $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 - 1 \cdot 10^{-7}$.

Величины действующих и допустимых значений толщины стенки трубопровода, концентрации хлора и времени отравления следующие:

$$C^{\text{доп}} = 98 \% ; C = 74 \% ;$$

$$\rho^{\text{доп}} = 6,2 \text{ мм} ; \rho = 9 \text{ мм} ;$$

$$\tau^{\text{доп}} = 5 \text{ мин} ; \tau = 0 \text{ мин} .$$

Допустимое значение давления в трубопроводе $P^{\text{доп}} = 1,5 \text{ атм}$.

Построим график зависимости показателя безопасности рабочего места оператора от действующих значений давления. Для этого величину действующих значений давления будем изменять от минимального до максимального значения давления, зафиксированного за время эксплуатации.

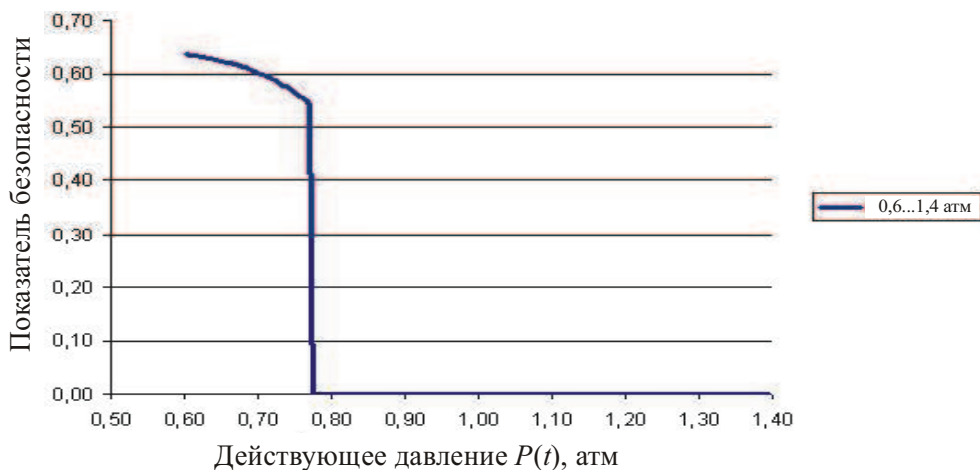


Рис. 1. Зависимость показателя безопасности от действующего давления

По графику видно, что показатель безопасности $V_{p,m}$ становится равным 0 уже при значении действующего давления 0,78 атм. Это обуславливается тем, что сумма действующего давления и вероятного разброса действующего давления под воздействием случайных факторов становится равной или превышает допустимое давление в технологическом трубопроводе.

Принято считать, что допустимое значение задается в виде фиксированной величины, в действительности из-за разброса параметров стали [2, 3] при плавке, при изготовлении трубопровода и других факторов его нужно считать величиной случайной, подчиненной усеченному нормальному закону распределения. Тогда в выражение (2) вместо $\varphi_1^{\text{доп}}$, $\varphi_2^{\text{доп}}$, $\rho_1^{\text{доп}}$, $\tau_1^{\text{доп}}$ следует

подставлять диапазон значений. После подстановки график зависимости показателя безопасности рабочего места от действующего давления в трубопроводе будет представлять семейство кривых, показанных на рис. 2.

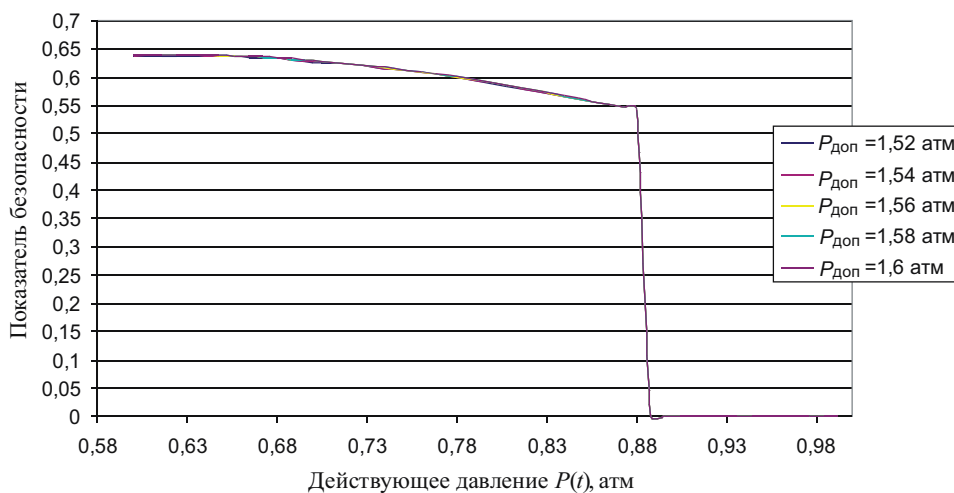


Рис. 2. Зависимость показателя безопасности от действующего давления и диапазона допустимого рабочего давления

Таким образом, нами разработан механизм контроля технического состояния технологического трубопровода, который позволяет учитывать возможный разброс параметров давлений и механических свойств материала трубопровода и, соответственно, более точно уловить наступление состояния опасности и своевременно сигнализировать об этом персонал.

Список литературы

1. Трефилов В.А. Теоретические основы безопасности производственной деятельности. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 84 с.
2. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: справ. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.
3. Справочник по машиностроительным материалам: в 4 т. / под общ. ред. Г.И. Погодина-Алексеева. – М.: Машгиз, 1959. – Т.1: Сталь / под ред. Ю.А. Геллера. – 907 с.

Получено 27.04.2010