

УДК 622.322

А.А. ТОПОРОВ (канд. техн. наук, доц.)**Т.В. КОСТЕНКО** (канд. техн. наук)**Е.А. ТЮРИН** (ст. преподаватель)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, г. Покровск

О.Н. ЛЫСЕНКО (аспирант)

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, г. Черкассы

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ШАХТНЫХ ВОДОПРОВОДОВ

В статье авторами предложена методика определения состояния элементов водопроводного оборудования на шахтах, которая позволяет определить остаточный ресурс на основе объективных критериев работоспособности. Для труб, в которых протекает коррозия и накопление твердых отложений, обоснованы два критерия. Методика позволяет установить влияние технологических и деградационных процессов на ресурс оборудования, оценить безопасность его работы и прогнозировать его работу.

Ключевые слова: трубопровод, деградация, гидравлическое сопротивление, остаточный ресурс

Водоотлив является одним из важнейших технологических процессов при подземной разработке месторождений. Без него шахта не может продолжать работу и функционирует несколько часов. При выходе из строя элементов систем водоотлива возникает угроза безопасности шахтеров и снижается надежность производственных процессов. Затопления действующих подземных горных выработок из-за прорывов воды, представляют угрозу жизни и здоровью горнорабочих, а также горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ. Они влекут за собой значительные материальные потери, вызванные остановками проходческих, сокращением добычных работ и повреждением шахтного оборудования [1].

Важное влияние имеет надежное функционирование пожарно-оросительных трубопроводов, обеспечивающих пылеподавление, профилактику внезапных выбросов и пожарную профилактику и тушение.

Один из основных элементов водоснабжения и водоотлива (водооборота) на шахтах – трубопроводы, при работе которых основными процессами являются:

организация движения потоков рабочих и вспомогательных сред путем создания давления определенной величины, необходимой для преодоления гидравлического сопротивления трубопроводной сети;

движение потоков в различных конструктивных оформлениях: прямоточное, противоточное, перекрестное или комбинированное течение потоков;

соприкосновение или контактирование потоков через промежуточную стенку.

Общие критерии надежного функционирования обечаек (труб) [2]:

$$S_{MIN} \rangle S_{ОТБ} \quad (1)$$

$$\Delta P_{CP} \rangle [\Delta P_{CP}] \quad (2)$$

Условие (1), учитывающее напряженно-деформированное состояние обечайки, описывает критерии функционирования, исходя из условия прочности. Условие (2), учитывающее гидравлическое течение потоков, описывает критерий функционирования исходя из условия изменения гидравлического сопротивления.

В процессе эксплуатации оборудования водооборота на шахтах происходит постепенное накопление различного типа повреждений и возникновение дефектов – деградация трубопроводов [3, 4]. Одним из наиболее распространенных типов повреждений является коррозионно-эрозионный износ, воздействие которого учитывается при выборе номинальной толщины стенки. При этом начальная толщина стенки уменьшается, приближаясь к минимально допустимой.

Другой тип повреждения связан с ухудшением механических характеристик материала и, как следствие, снижением допустимых напряжений. Оба типа повреждения приводят к постепенному уменьшению допустимого внутреннего давления в обечайке. Допустимое давление не должно опускаться ниже рабочего.

Рассмотрим основные условия эксплуатации обечайки более подробно. Условие эксплуатации из условия прочности [5], учитывающее толщину стенки:

$$S_{MIN} \geq S_{ОТБ}$$

где S_{MIN} – минимальная толщина стенки,
 $S_{ОТБ}$ – отбраковочная толщина стенки.

Определяющим при оценке остаточного ресурса из условия прочности обечаек является расчет на действие внутреннего давления. Эксплуатация обечайки считается возможной, если фактическая толщина стенки всех элементов превышает отбраковочную.

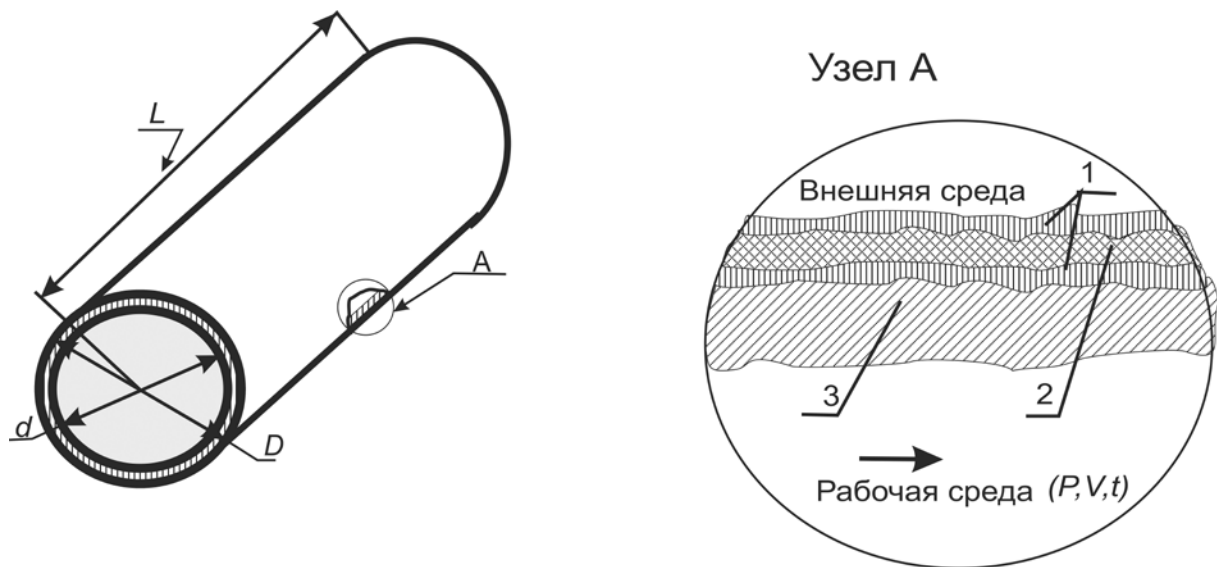


Рис. 1. Подверженная деградационным процессам обечайка: 1,2,3 – зоны оболочки, соответственно, коррозии; эрозии; отложения

При определении отбраковочной толщины стенки оценивается несущая способность элементов в целом, в отличие от проверочного расчета, когда определяется напряжение в наиболее опасной точке.

$$S_{ОТБ} = \frac{n \cdot P \cdot \alpha \cdot D_H}{2(R_1 + n \cdot R)}; \text{ при } \frac{R_2^H \cdot m_3}{R_1^H \cdot m_2} \geq 0.75 \quad (3)$$

$$S_{ОТБ} = \frac{n \cdot P \cdot \alpha \cdot D_H}{2(0.9 \cdot R_2^H \cdot m_3 + n \cdot R)}; \text{ при } \frac{R_2^H \cdot m_3}{R_1^H \cdot m_2} < 0.75 \quad (4)$$

где $S_{ОТБ}$ – толщина стенки обечайки, при которой запрещается эксплуатация, м;
 P – рабочее давление в обечайке, МПа;
 D_H – наружный диаметр элемента обечайки, м;
 n – коэффициент перегрузки рабочего давления в трубе,
 R_1^H – нормативное сопротивление, равное наименьшему значению временного сопротивления разрыву материала труб, принимаемое по ГОСТу или ТУ; МПа,
 R_2^H – нормативное сопротивление. Равно наименьшему значению предела текучести при растяжении, сжатии и изгибе материала стенок, принимаемое по ГОСТу или ТУ, МПа,

α - коэффициент несущей способности, $\alpha = 1$, для труб, конических переходов, выпуклых заглушек эллиптической формы; для отводов гладких и сварных; для отводов трубы радиусом R к наружному диаметру D ;

m_2 – коэффициент условий работы трубопровода, величина которого принимается в зависимости от транспортируемой среды: для токсичных, горючих, взрывоопасных и сжиженных газов - 0,6; для инертных газов (азот, воздух и т.п.) или токсичных, горючих, взрывоопасных жидкостей - 0,75; для инертных жидкостей - 0,9;

m_3 – коэффициент условий работы материала труб при повышенных температурах, для условий работы промышленных трубопроводов принимается равным 1.

Расчет остаточного ресурса труб по минимальной толщине стенок труб можно оценить путем выборочного измерения этого размера. Среднеквадратическое отклонение замеряемой толщины:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (S_K - S_{CP})^2}, \quad (5)$$

$$S_{CP} = \frac{\sum_{i=40}^N S_K}{N} \quad (6)$$

где N - число участков замера (если $N < 10$, то σ не вычисляют, т.к. точность ее оценки при этом недостаточна)

S_K, S_{CP} – соответственно, значения замеренной и средней толщины.

Вероятную минимальную толщину стенки с учетом не контролируемых участков поверхности определяют для доверительной вероятности 95% применительно к ответственному оборудованию:

$$S_{MIN} = S_{CP} - 2 \cdot \sigma \quad (7)$$

При необходимости более точной оценки остаточной толщины стенки на каком-либо участке число измерений N увеличивают, имея в виду, что уменьшение ошибки контроля пропорционально \sqrt{N} .

Средняя скорость коррозии стенки элемента трубы определяется по формуле:

$$V_{CP} = \frac{S_K - S_{MIN}}{\tau} \quad (8)$$

где τ – время эксплуатации, лет

Остаточный ресурс объекта определяется по формуле:

$$\tau = \frac{S_{MIN} - S_{ОТЕ}}{V_{CP}} \quad (9)$$

Следует отметить, что определение остаточного ресурса по коррозионно-эрозионному износу толщин стенок элементов оборудования на шахтах является главным, но не единственным критерием оценки работоспособности.

Одним из критериев работоспособности оборудования водооборота на шахтах может являться условие гидравлического течения потоков. Эксплуатация элементов трубопроводов на

шахтах из гидравлического условия течения рабочей среды:

$$\Delta P_{CP} > [\Delta P_{CP}].$$

Оценка остаточного ресурса из условия обеспечения течения потоков является определением гидравлического сопротивления труб. Оно является технологическим параметром, который измеряется на входе и выходе из оборудования. В общем случае ΔP_{CP} вычисляется по формуле [6]:

$$\Delta P_{CP} = \Delta P_{СК} + \Delta P_{ТР} + \Delta P_{М.С.} + \Delta P_{ПОД} + \Delta P_{ДОП} \quad (10)$$

где $\Delta P_{СК}$ – потери давления на создания скорости потока на выходе из системы;
 $\Delta P_{ТР}$ – потери давления на преодоление сопротивления трения;
 $\Delta P_{М.С.}$ – потери давления на преодоление местных сопротивлений;
 $\Delta P_{ПОД}$ – потери давления на подъем жидкости;
 $\Delta P_{ДОП}$ – разность давления в пространствах нагнетания и всасывания.

Вышеуказанные величины имеют постоянную величину, кроме $\Delta P_{ТР}$, которая изменяет свое значение в результате накопления отложений.

Формула определения мощности подающего насосного оборудования $\Delta P_{ТР}$, входит как составляющая ΔP_{CP} :

$$N = \frac{V \cdot \Delta P_{CP}}{1000 \cdot \eta} \quad (11)$$

где V – объемный расход жидкости, м³/с;
 ΔP_{CP} – повышение давления, которое сообщается насосом перекачиваемому рабочему потоку;

ΔP_{CP} равно полному гидравлическому сопротивлению системы трубопроводов и оборудования водооборота на шахтах.

$$V = \omega \cdot f \quad (12)$$

где f – площадь поперечного сечения потока, м²;
 ω – скорость истечения жидкости, м/с.

Выразив из формулы определения мощности гидравлическое сопротивление системы, получим:

$$\Delta P_{CP} = \frac{N \cdot 1000 \cdot \eta}{V} \quad (13)$$

Необходимо заметить, что для гидравлической системы существует понятие напорной характеристики, то есть взаимосвязь между напором и производительностью. Изменение сечения приводит к изменению производительности. График характеристики системы пойдет более круто. Рабочая точка сдвинется влево и производительность насоса снизится (рис.2).

Для получения ресурса работы по критерию образования отложений и увеличения сопротивления системы во времени можно предложить следующие зависимости:

$$\tau_T = \frac{\Delta P_{CP} - [\Delta P_{CP}]}{V_{CP,\Delta P}} \quad (14)$$

Как правило, деграционные процессы протекают по нелинейной модели:

$$\delta = a \cdot \tau^M \quad (15)$$

где a – параметр, определяющийся из условий работы;
 M – определяется из экспериментальных исследований.

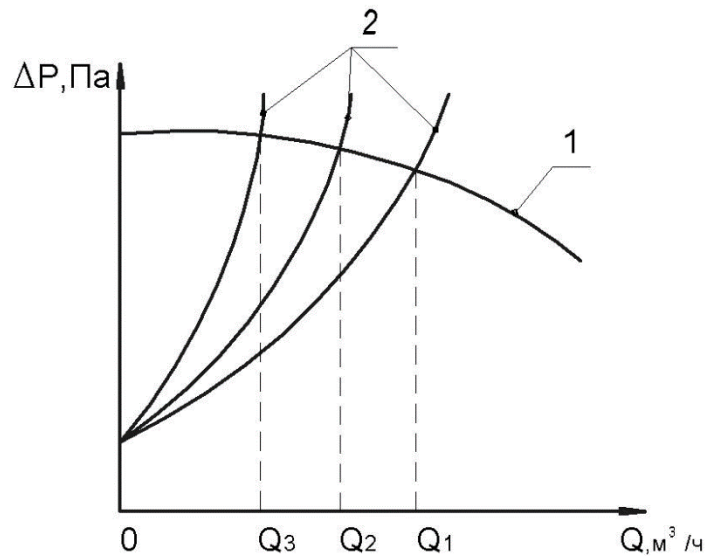


Рис. 2. Зависимость изменения производительности ($Q_1 > Q_2 > Q_3$) насоса от изменения характеристик деградирующей системы:
1,2 – соответственно, характеристики насоса и системы.

В дальнейшем будем полагать, что параметр a имеет нормальное распределение. При $M=1$ процесс деградации происходит с постоянной скоростью a , при $M>1$ - ускоряется, при $M<1$ - замедляется. В общем случае совместное условие работоспособности элементов оборудования водооборота на шахтах будет иметь вид:

$$\begin{array}{ccc} S_{MIN} \setminus S_{ОТБ} & \longrightarrow & S_{MIN} \setminus (S_{ОТБ} - 2 \cdot \sigma) \cdot \tau^M, \\ \Delta P_{CP} \setminus [\Delta P_{CP}] & & \Delta P_{CP} \setminus F([\Delta P_{CP}]) (\tau^M). \end{array}$$

Предложенная модифицированная методика определения состояния элементов водопроводного оборудования на шахтах позволяет определить остаточный ресурс на основе критериев работоспособности. Так для труб, в которых протекает коррозия и образование отложений, предложено использовать два критерия. Эта методика позволяет установить влияние технологических и деградационных процессов на ресурс оборудования, оценить безопасность его работы и прогнозировать его работу.

Бibliографический список

1. Технологии XXI века: Том 1. Электродгидравлика / А.Г. Мнухин, А.М. Брюханов, И.В. Иорданов, Н.А. Громовой, В.А. Мнухин - Макеевка-Донецк: ВИК, 2012. - 432с.
2. Топоров А.А., Боровлев В.Н., Третьяков П.В., Акусова А.А. Особенности прогнозирования работы химического оборудования с помощью модифицированного гамма-процентного ресурса // НЗ4 Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Хімія і хімічна технологія / гол. ред. Башков Е.О. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – Випуск 17 (187), С.192-199.
3. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. - М.:Машиностроение,1990. - 448с.
4. Топоров А.А., Боровлев В.Н., Третьяков П.В. Изменение расчетных схем элементов оборудования в процессе эксплуатации// Машиностроение и техносфера XVII Международной научно-технической конференции. т.3. Донецк 2010, С.169-174
5. ГОСТ 153-39.4-010-2002 Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений
6. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов – В 2-х книгах: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995, 400 с.

Надійшла до редакції 20.03.2017

А.А. Топоров, Т.В. Костенко, Є.А. Тюрін
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, м. Покровськ

О.М. Лисенко

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, м. Черкаси

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ДЕГРАДАЦІЇ ШАХТНИХ ВОДОПРОВІДІВ

В статті авторами запропоновано методику визначення стану елементів водопровідного обладнання на шахтах, яка дозволяє визначити залишковий ресурс на основі об'єктивних критеріїв працездатності. Для труб, в яких протікає корозія і накопичення твердих відкладень, обгрунтовані два критерії. Методика дозволяє встановити вплив технологічних і деградаційних процесів на ресурс устаткування, оцінити безпеку його роботи і прогнозувати його роботу.

Ключові слова: трубопровід, деградація, гідравлічний опір, залишковий ресурс

A. Toporov, T. Ostenko, Y. Tiurin

State higher educational establishment "Donetsk national technical university", Ukraine, Pokrovsk

O. Lysenko

Cherkasy institute of fire safety named after Chernobyl Heroes of National university of civil defense of Ukraine, Cherkasy

CRITERIA FOR ESTIMATION OF DEGRADATION FOR MINE WATER SUPPLY

In the article the authors propose a technique for determining the state of elements of water supply equipment in mines which allows to determine the remaining resource based on objective performance criteria. For the pipes in which corrosion and accumulation of solid deposits occur, two criteria are justified. Methodology allows to determine the influence of technological and degradation processes on the resource of equipment and evaluate its safety and predict its performance.

Keywords: pipeline, degradation, hydraulic resistance, residual life