

УДК 621.643.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СРЕД

Кузеев И.Р.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Диньмухаметова Л.С.

*Самарский государственный университет путей сообщения
(филиал в г. Орске), г. Орск*

Пояркова Е.В.

*Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)
Оренбургского государственного университета, г. Орск
e-mail: yarko.e@mail.ru*

Аннотация. Произведена оценка прочности и безопасности эксплуатации сварного технологического трубопровода из стали 17Г1СУ диаметром 400 мм с толщиной стенки 10 мм, нагруженного внутренним давлением 6 МПа, предназначенного для транспортировки нефтепродуктов. Установлена зависимость изменения предельной несущей способности трубопровода от времени эксплуатации в агрессивной среде. Уточнен расчет напряжений в реальной конструкции с возможными несквозными дефектами. Обоснована целесообразность применения диаграмм неразрушимости при оценке ресурсных характеристик и живучести сварного оборудования из низколегированной стали.

Ключевые слова: сварные соединения, предельное состояние, несущая способность, прочность, остаточный ресурс

Потенциальная опасность риска катастрофических разрушений и связанных с этим материальных и экологических последствий и возможных человеческих жертв предопределяет настоятельную необходимость совершенствования методик оценки потенциальной опасности и риска, чтобы неразрушимость конструкций обеспечивалась на всех стадиях их жизненного цикла.

Оценка работоспособности сварных конструкций оборудования, являющегося опасным производственным объектом, определяется на основании анализа условий эксплуатации, результатов текущей диагностики и критериев предельного состояния, определяемых наиболее значимыми с позиции разрушения конструкций факторами.

Прочность определяет свойство элементов оборудования сопротивляться деформированию и разрушению под действием эксплуатационных нагрузок и внешних воздействий. Условие прочности имеет вид [1]:

$$Q_{max} \leq [\Phi]_n, \quad (1)$$

где $Q_{max} = \frac{P_{max}^3}{\delta(D)}$ – максимальное значение обобщенной ха-

раактеристики нагрузки [2]. Обобщенная нагрузка представляет собой комплекс внутренних силовых факторов, возникающих в металле от действия эксплуатационных нагрузок, при определенном уровне технического состояния;

$$[\Phi]_n = \frac{\Phi}{n} = \left\{ \frac{\sigma_m}{n_m}, \frac{\sigma_a}{n_a}, \frac{K_{1C}}{n_k}, \dots \right\} - \text{обобщенная характеристика несущей способ-}$$

ности (критерий предельного состояния);

p^{\exists} – параметры текущего нагружения;

$\delta(D)$ – определяющий параметр технического состояния (для случая оболочковых конструкций – толщина стенки).

На фактическую прочность конструктивных элементов оказывают влияние дефекты металлургического и технологического происхождения, снижающие их рабочее сечение, а также повреждающие факторы: коррозия, температурное разупрочнение и др. Доминирующим диагностическим признаком повреждений конструктивных элементов оборудования, эксплуатируемых в нефтесодержащих средах, является коррозия, ускоряемая напряженным состоянием с высоким гидростатическим давлением.

При эксплуатации трубопровода, нагруженного внутренним давлением, наступление предельного состояния соответствует потери его пластической устойчивости [3], и условие прочности принимает вид:

$$p^{\exists}_{max} \leq p_{max} / n, \quad (2)$$

где p^{\exists}_{max} – максимальное значение рабочего давления среды;

p_{max} – минимальное значение давления среды, соответствующее потере пластической устойчивости трубы;

n – коэффициент запаса на перепад давления, принимаемый равным 1,1.

Для оценки изменения несущей способности трубопровода в зависимости от времени эксплуатации проведены коррозионные испытания контрольных сварных соединений с целью определения зависимости скорости коррозии и механических свойств от длительности контакта со средой. Образцы выдерживались в агрессивных средах: дизельном топливе, ЕН-590 и керосине – в течение 1000, 2000, 3500, 4500, 8500, 17500 и 26000 часов. По результатам выявлено, что наибольшей коррозионной активностью обладает керосин, воздействие которого на исследуемый материал можно оценить на основании данных, представленных в табл. 1.

На основании полученных результатов рассчитывали предельную несущую способность трубопровода по критерию пластической устойчивости, используя выражение [3]:

$$p_{max} = \sigma_s \frac{S_0}{R_0} \left(\frac{2}{3} \right)^{\epsilon_p} (1 - K_{\sigma} + K_{\sigma}^2)^{\frac{\epsilon_p - 1}{2}}, \quad (3)$$

где S_0 , R_0 – толщина стенки и радиус трубы;

ε_p – равномерная логарифмическая деформация при одноосном растяжении, определяемая по формуле:

$$\varepsilon_p = \ln(1 + \delta_p), \quad (4)$$

$K_\sigma = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ – коэффициент напряженного состояния.

Таблица 1. Влияние длительности воздействия агрессивной среды на изменение механических свойств сварных соединений стали 17Г1СУ

Длительность воздействия, ч	Предел прочности σ_b , МПа	Предел текучести σ_m , МПа	Относительное остаточное удлинение δ , %	Ударная вязкость KCV , МДж/м ²	Скорость коррозии, мм/год
0	520,00	420,00	27,0	3,441	-
1000	522,18	421,84	26,8	2,513	0,401
2000	522,86	422,52	26,6	1,412	0,168
3500	523,64	423,36	26,5	0,912	0,129
4500	523,80	423,47	26,5	0,762	0,122
8500	523,90	423,57	26,5	0,618	0,052
17500	531,56	426,20	25,8	0,593	0,026
26000	548,80	420,10	25,4	0,561	0,027

Установленная таким образом графическая зависимость изменения предельной несущей способности от времени эксплуатации представлена на рис. 1.

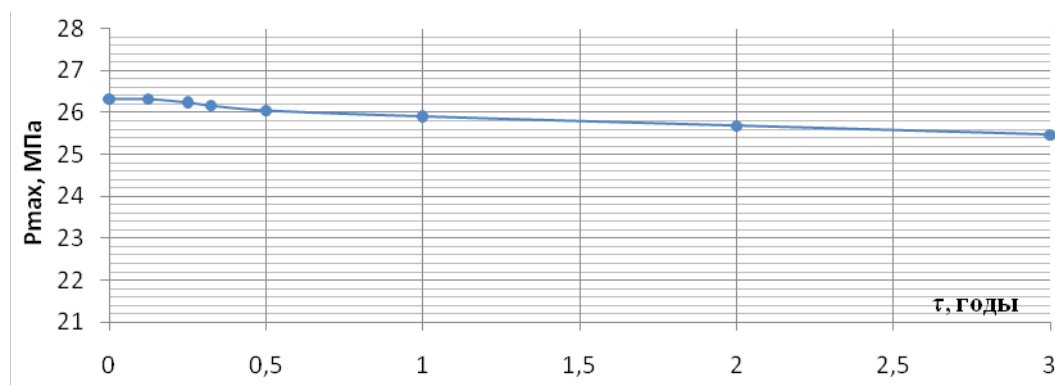


Рис. 1. Изменение предельной несущей способности технологического трубопровода при эксплуатации в нефтесодержащей среде

Иллюстративный материал подтверждает, что в течение первого полугодия эксплуатации происходит интенсивное снижение несущей способности трубопровода – величина которой уменьшается на 3 % в год. При дальнейшей эксплуатации значение несущей способности стабилизируется: снижение этого показателя не превосходит 1 % в год.

Остаточный ресурс исследуемого технологического трубопровода после трех лет эксплуатации по критерию предельного состояния вязкого разрушения p_{max}^3 с учетом коррозионного износа стенки можно определить по формуле:

$$T = \frac{p_{max} / n - p_{max}^3}{\frac{dp_{max}}{d\tau}} \quad (5)$$

Руководствуясь стабильным замедленным изменением значений несущей способности после первого года эксплуатации, примем ее годовой градиент равным усредненному значению 1 % в год. Подсчитанный таким образом ресурс по истечении трех лет эксплуатации составил 17,5 лет.

Принимая во внимание выявленное интенсивное снижение ударной вязкости исследуемого материала под действием коррозионных сред [7, 8], при оценке фактического состояния исследуемого вида оборудования необходимо учитывать деградацию свойств металла в условиях малоциклового нагружения ($N = 10^3$ циклов/год) и наличие несплошностей. Кроме того, при проведении диагностики нередко случаи обнаружения дефектов, размеры которых близки к предельным, но устранение их сопряжено с неоправданно высокими затратами, возможностью возникновения новых дефектов или технически не представляется возможным.

В перечисленных случаях необходимо производить уточненный расчет прочности и ресурса оборудования, оценивая его живучесть – свойство сохранять ограниченную работоспособность при наличии повреждений. Весьма рациональным для этого является сопоставление данных текущей диагностики с диаграммой неразрушимости $\lg K_I - \lg N$ (рис. 2) [4, 9, 10], построенной для конкретной конструкции или группы конструкций из идентичных материалов. Для построения этих диаграмм используются экспериментально полученные на модельных образцах статистически обоснованные зависимости скорости роста усталостных трещин от коэффициента интенсивности напряжений (КИН).

Область на диаграмме, лежащая ниже линии ABCD – область полной неразрушимости, в которой трещиноподобные несплошности и технологические трещины не увеличивают своих размеров.

В области выше линии АВ и ее продолжения ВН трещины ведут себя как нестабильные.

В области выше BCD, но ниже ВН, трещины растут достаточно медленно по мере накопления усталости металла у их вершин. Это область относительной неразрушимости, когда конструкция работоспособна, но трещины увеличивают свои размеры.

В сосудах давления и трубопроводах возможно наступление течи (разгерметизация) в точке G до достижения трещиной нестабильного состояния в точке Н. Кроме того, причиной нарушения работоспособности может явиться наступление общей текучести сечения при приближении напряжений в нетто-сечении к

пределу текучести (данное предельное состояние не может быть выражено через КИН, поэтому на диаграмме его не обозначают). Таким образом, для обеспечения полной неразрушимости за период эксплуатации необходимо предупредить наступление трех предельных состояний:

I – нестабильного разрушения;

II – появления трещин;

III – общей текучести.

Для обеспечения относительной неразрушимости эти требования смягчаются тем, что допускается появление и ограниченный в некоторых пределах рост трещин.

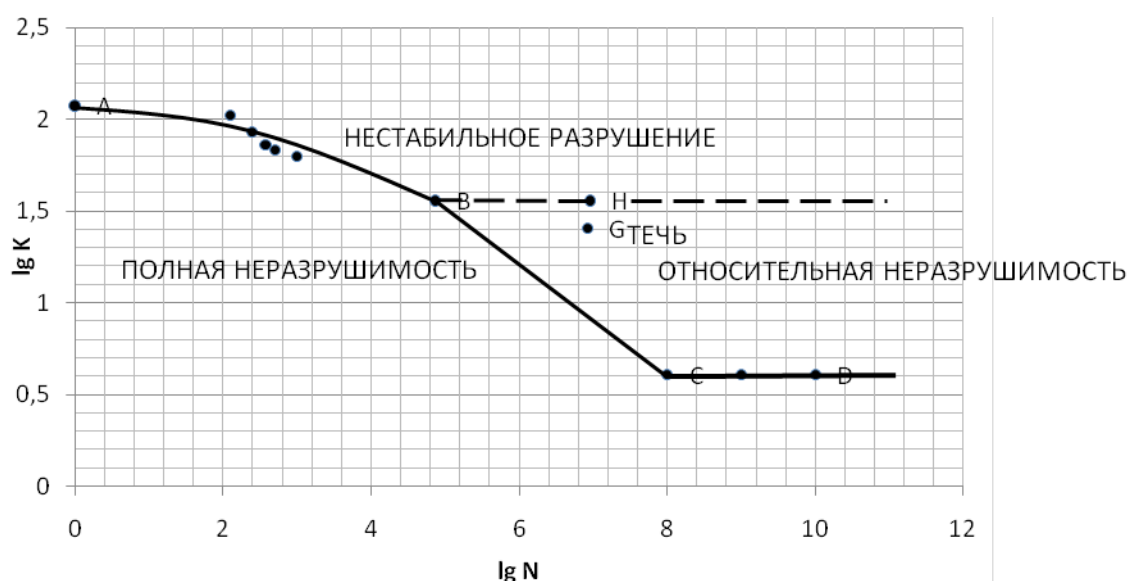


Рис. 2. Диаграмма неразрушимости сварного трубопровода из стали 17Г1СУ, эксплуатируемого в меркаптансодержащей среде

Нестабильное разрушение сварной конструкции может возникнуть в случае:

$$K_{I_{max}} \geq \frac{K_{I_{cd}}}{n_m \sqrt{n_a}}, \quad (6)$$

где $K_{I_{max}}$ – КИН, вычисляемый по известным или приближенным размерам дефекта;

$K_{I_{cd}}$ – критический динамический КИН;

n_m – коэффициент запаса на свойства металла;

n_a – коэффициент запаса на рассеяние размеров; $n_a = 1,2$ [4].

При расчете $K_{I_{max}}$ напряжения следует считать равными:

– для сварных конструкций, не подвергаемых дополнительной обработке после получения неразъемного соединения с целью снижения уровня остаточных

напряжений – пределу текучести сварного соединения σ_m ;

– для обрабатываемых конструкций – сумме напряжений от эксплуатационных нагрузок σ_ε и собственных остаточных $\sigma_{ост}$ напряжений (если эта сумма оказывается большей σ_m , то расчет следует вести по σ_m) [4].

Коэффициент запаса на свойства металла необходимо рассчитывать посредством статистического анализа результатов определения ударной вязкости стали рассматриваемой марки по данным предприятий-изготовителей [4]:

$$n_M = 1 + \frac{\overline{KCV} - 2S_{KCV}}{KCV}, \quad (7)$$

где S_{KCV} – среднее квадратичное отклонение случайной величины.

В данной работе при определении коэффициента запаса на свойства в качестве выборки использованы результаты механических испытаний проката, производимого с января 2007 г. по ноябрь 2009 г. на металлургическом комбинате ОАО «Уральская сталь» (г. Новотроицк Оренбургской области), рассчитанное значение n_M составило 1,4.

Для определения K_{1cd} воспользовались полученной в [5] эмпирической зависимостью:

$$K_{1cd} = 126,26 KCV^{0,3689}. \quad (8)$$

Число циклов, при котором наблюдаются первые признаки старта усталостных трещин на контуре дефектов [4]:

$$N_0 \geq \frac{\rho(1,5 - 2\mu)}{C n_m^n C_R (K_{1max} \sqrt{n_a})^n (1,25 - \mu)}, \quad (9)$$

где ρ – радиус локальной зоны, принимаемый при определении локальных пределов выносливости равным 0,5мм;

μ – коэффициент Пуассона;

C, n – коэффициенты, находимые по кинетическим диаграммам усталостного разрушения: $C = 1,95 \cdot 10^{-11} (\text{МПа})^{-n} \cdot \text{м}^{(1-n/2)} \cdot \text{цикл}^{-1}$; $n = 2,6$ [6];

C_R – коэффициент, отражающий влияние асимметрии цикла нагружений R : для $R \geq 0$ $C_R = (1 - R)^{n-1}$, $R \leq 0$ $C_R \approx 1$ [4].

K_{1max} – максимальное (алгебраически) значение КИН в цикле.

При определении R в расчетах считается, что [4]:

– в конструкциях, не подвергаемых «послесварочной» обработке, напряжение изменяется

от $\sigma_{max} = \sigma_m$ до $\sigma_{min} = \sigma_m - \Delta\sigma$, где $\Delta\sigma = \sigma_{\varepsilon max} - \sigma_{\varepsilon min}$, т.е. $R = (\sigma_m - \Delta\sigma) / \sigma_m$;

– в обрабатываемых конструкциях принимается

$$R = (\sigma_{\varepsilon min} + \sigma_{ост}) / (\sigma_{\varepsilon max} + \sigma_{ост}).$$

Скорость роста усталостных трещин определяется выражением:

$$\frac{da}{dN} = C K_{1max}^n, \quad (10)$$

где a – глубина трещины, мм;

N – число циклов нагружений.

Для предотвращения общей текучести необходимо соблюдение условия:

$$\sigma_s \leq \frac{\sigma_T}{n_m n_p}, \quad (11)$$

где n_p – коэффициент запаса на неточность расчета напряженно-деформированного состояния; $n_p = 1,2$ [4].

Расчет минимального значения КИН в случае возникновения вероятности разгерметизации конструкции проводили, исходя из положения, что приближение вершины поверхностной трещины к противоположной поверхности стенки оболочки может привести к наступлению пластической неустойчивости оставшейся перемычки и ее разрыву. При этой предпосылке в качестве условия неработоспособности выступает неравенство:

$$a_\phi \geq a_{кр}, \quad (12)$$

где $a_\phi, a_{кр}$ – фактическая и критическая глубина трещины, мм.

Анализ возможных условий разгерметизации, представленный в работе [2], позволяет установить в качестве критической глубину трещины, равную 0,7 толщине стенки. В таком случае КИН можно определить по формуле:

$$K_{1max} = \sigma_{max} \sqrt{\pi a_{кр}}. \quad (13)$$

В случае достижения трещиной глубины порядка 10 мм, соответствующей толщине ее стенки, трещина переходит в нестабильное состояние, и следовательно, возникает вероятность нестабильного разрушения конструкции (точка Н на диаграмме $\lg N - \lg K$). Минимальное число циклов, при котором возможно наступление разгерметизации (точка G), а также минимальное число циклов, при котором трещина переходит в нестабильное состояние (точка Н), определяли на основании уравнения Пэриса:

$$\frac{da}{dN} = C \left(\frac{K_{1max}}{K^*} \right)^n, \quad (14)$$

где K^* – КИН, соответствующий точке перегиба на кинетической диаграмме:

$$K^* = 7,37 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} [6].$$

Условие полной неразрушимости имеет вид:

$$K_{1max} < \frac{K_{thR}}{n_m \sqrt{n_a}}, \quad (15)$$

где K_{thR} – пороговое значение КИН, при котором начинается рост трещин при циклических нагрузках с учетом асимметрии нагружений, при $R = 0$ $K_{thR} = 6,2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [6].

В иных случаях необходимо производить пересчет K_{thR} , используя зависимость [6]:

$$K_{thR} = K_{thR=0} (1 - 0,46 R). \quad (16)$$

Результаты расчетов величин, характеризующих предельные состояния исследуемых соединений, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Расчет параметров предельных состояний сварных элементов технологического трубопровода

Параметр состояния*	Численное значение
K_{Icd} , МПа·м ^{1/2}	155
Минимальное значение КИН, соответствующее возникновению нестабильного разрушения, МПа·м ^{1/2}	103
Число циклов, соответствующее зарождению усталостных трещин, МПа·м ^{1/2} **	$7,3 \cdot 10^4$
Число циклов, соответствующее образованию сквозной трещины в условиях превышения коэффициентом интенсивности значения K_{thR}	10^8
Скорость роста усталостных трещин, м/цикл **	10^{-10}
Максимальное значение КИН, соответствующее условию полной неразрушимости, МПа·м ^{1/2}	4,13
Минимальное число циклов, при котором возможно наступление разгерметизации конструкции	$8,3 \cdot 10^6$
Минимальное число циклов, соответствующее переходу трещины в нестабильное состояние	$9 \cdot 10^6$
Значение КИН, соответствующее наступлению разгерметизации	25,4
Минимальное рабочее напряжение, способствующее возникновению общей текучести, МПа	250

Примечание:

*Параметры предельных состояний рассчитаны с допущением, что уровень остаточных растягивающих напряжений в течение всего процесса роста трещины сохраняется неизменным.

**Найдены экстремальные величины, исходя из условия равенства значения КИН пороговому значению [4].

По приведенным табличным результатам построена диаграмма неразрушимости, представленная ранее на рис. 2.

Остаточный ресурс в данном случае стало возможным определить по формуле:

$$T = \frac{\frac{K_{Icd}}{n_m \sqrt{n_a}} - K_{I_{max}}}{\frac{d(K_{I_{max}})}{d\tau}}, \quad (17)$$

где $\frac{d(K_{I_{max}})}{d\tau}$ – уточняется и вычисляется по данным текущей и предшествующей диагностики.

Резюмируя вышеизложенное, заключаем: по итогам диагностики реальной конструкции с выявленными дефектами и наличии достоверной информации о фактически действующих в ней напряжениях, рекомендовано производить существенно скорректированный расчет КИН для построения диаграммы неразрушимости с целью оценки прочности и определения остаточного ресурса сварных элементов оборудования, изготовленных из низколегированных сталей, свойства которых идентичны исследуемой нами.

Литература

1. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность: в 2-х ч. Ч. 1: Критерии прочности и ресурса. Новосибирск: Наука, 2005. 493 с.
2. Куркин С.А., Лавряков Ю.Ю. Оценка работоспособности стыковых сварных соединений при наличии несквозных дефектов // Заводская лаборатория. 1981. № 4. С. 66 - 70.
3. Ланчаков Г.А., Зорин Е.Е., Пашков, Ю.И., Степаненко А.И. Работоспособность трубопроводов. В 3-х ч. Ч. 2. Сопrotивляемость разрушению. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. 350 с.
4. Винокуров В.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности; под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
5. Аммосов А.П., Аммосов Г.С. Вязкость разрушения в оценке распространения хрупкой трещины в стальных конструкциях при пониженной температуре // Сварочное производство. 2008. № 6. С. 3 - 9.
6. Мамаева Е.И., Матвиенко Ю.Г., Приймак О.А., Чуваев С.В. Расчетные зависимости для оценки скорости роста усталостных трещин в низколегированных сталях // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. № 2 (74). С. 38 - 46.
7. Пояркова Е.В., Кузеев И.Р., Грызунов В.И., Пояркова Т.В. Влияние агрессивных сред на комплекс механических свойств сварных элементов // Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных конструкционных материалов и технологий: сб. докл. межд. науч. конф. М.: Машиностроение, 2009. С. 450 - 455.
8. Кузеев И.Р., Пояркова Е.В., Диньмухаметова Л.С. Исследование коррозионного поведения сварных соединений технологических установок с целью оценки их остаточного ресурса // Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: материалы III международ. науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. С. 156 - 160
9. Диньмухаметова Л.С., Пояркова Е.В., Кузеев И.Р. Оценка остаточного ресурса сварных соединений с несплошностями // Прочность и разрушение материалов и конструкций: материалы VI международ. науч. конф. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2010. С. 577 - 582
10. Диньмухаметова Л.С., Пояркова Е.В., Кузеев И.Р. Применение диаграмм неразрушимости для оценки работоспособности сварных конструкций с дефектами сплошности // Мировое сообщество. Проблемы и пути решения. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. № 29. С. 33 - 38.

FORECASTING THE OPERATION SAFETY OF WELDED DESIGNS IN THE CONDITIONS OF OILCONTAINING ENVIRONMENTS

I.R. Kuzeev

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

L.S. Dinmuchametova

Orsk Branch of Samara State University of Railway Transport, Orsk, Russia

E.V. Poyarkova

*Orsk Humane and Technological Institute
(Branch of Orenburg State University), Orsk, Russia
e-mail: yarko.e@mail.ru*

Abstract. *The estimation durability and safety of operation of the welded technological pipeline from a steel 17G1SU in diameter 400 mm with thickness of a wall of 10 mm, loaded with internal pressure 6 MPa, intended for transportation of oil products is made. Dependence of change of limiting bearing ability of the pipeline on operation time in an excited environment is established. Calculation of pressure in a real design with the revealed not through defects is essentially specified. The expediency of application of diagrams of an indestructibility is proved at an estimation of resource characteristics and survivability of the welded equipment from low-alloy steels.*

Keywords: *welded joints, limiting condition, bearing ability, durability, residual resource*

References

1. Makhutov N.A. Konstruktsionnaya prochnost', resurs i tekhnogennaya bezopasnost': v 2-kh ch. Ch. 1: Kriterii prochnosti i resursa (Structural strength, service life and technogenic safety: in 2 parts. Part 1. Strength and life criteria). Novosibirsk, Nauka, 2005. 493 p.
2. Kurkin S.A., Lavryakov Yu.Yu. Otsenka rabotosposobnosti stykovykh svarnykh soedinenii pri nalichii neskvoznykh defektov (The butt welded joints operability evaluation in the presence of non-through defects), *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 1981, Issue 4, pp. 66 - 70.
3. Lanchakov G.A., Zorin E.E., Pashkov, Yu.I., Stepanenko A.I. Rabotosposobnost' truboprovodov. V 3-kh ch. Ch. 2. Soprotivlyaemost' razrusheniyu (Serviceability of pipelines. In 3 parts. Part 2. Resistance to destruction). Moscow, Nedra-Biznestsentr, 2001. 350 p.
4. Vinokurov V.A., Nikolaev G.A. Svarnye konstruktsii. Mekhanika razrushe-niya i kriterii rabotosposobnosti (Welded structures. Fracture mechanics and efficiency criteria.), Ed. B.E. Paton. Moscow, Mashinostroenie, 1996. 576 p.
5. Ammosov A.P., Ammosov G.S. Vyazkost' razrusheniya v otsenke rasprostraneniya khрупkoi treshchiny v stal'nykh konstruktsiyakh pri ponizhennoi temperature

(Fracture toughness estimated by brittle crack propagation in steel structures at lower temperature), *Svarochnoe proizvodstvo*, 2008, Issue 6, pp. 3 - 9.

6. Mamaeva E.I., Matvienko Yu.G., Priimak O.A., Chuvaev S.V. Raschetnye zavisimosti dlya otsenki skorosti rosta ustalostnykh treshchin v nizkolegirovannykh stalyakh (Theoretical dependences for evaluation of the fatigue crack growth rate in low-alloyed steels), *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2008, Issue 2 (74), pp. 38 - 46.

7. Poyarkova E.V., Kuzeev I.R., Gryzunov V.I., Poyarkova T.V. Vliyanie aggressivnykh sred na kompleks mekhanicheskikh svoystv svarnykh elementov (Aggressive media influence to set of mechanical properties of welded elements), *Innovatsionnaya deyatel'nost' predpriyatii po issledovaniyu, obrabotke i polucheniyu sovremennykh konstruktivnykh materialov i tekhnologii: sb. dokl. mezhd. nauch. konf. (Enterprises Innovation activities of enterprises in the research, processing and design of modern construction materials and technologies: Conference proceedings)*. Moscow, Mashinostroenie, 2009. pp. 450 - 455.

8. Kuzeev I.R., Poyarkova E.V., Din'mukhametova L.S. Issledovanie korrozionnogo povedeniya svarnykh soedinenii tekhnologicheskikh ustanovok s tsel'yu otsenki ikh ostatochnogo resursa (The study on corrosion behavior of welded joints of technological units in order to evaluate their residual life), *Promyshlennaya bezopasnost' na vzryvopozharoopasnykh i khimicheskii opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh: materialy III mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. (Industrial safety at potentially explosive and chemically dangerous production facilities. Proceedings of the III Intern. sci.-pract. conf.)*. Ufa, UGNTU, 2009. pp. 156 - 160

9. Din'mukhametova L.S., Poyarkova E.V., Kuzeev I.R. Otsenka ostatochnogo resursa svarnykh soedinenii s nesploshnostyami (Assessment of residual life welded joints with a discontinuity), *Prochnost' i razrushenie materialov i konstruktivnykh materialov VI mezhdunarod. nauch. konf., (Proceedings of V Intern. conf. "Strength and fracture of materials and structures")*. Orenburg, IPK OGU, 2010. PP. 577 - 582

10. Din'mukhametova L.S., Poyarkova E.V., Kuzeev I.R. Primenenie diagramm nerazrushimosti dlya otsenki rabotosposobnosti svarnykh konstruktivnykh materialov s defektami sploshnosti (The indestructibility diagrams application to assess health of welded structures with continuity defects), *Mirovoe soobshchestvo: problemy i puti resheniya (World community: problems & ways to solve them)*, Issue 29. Ufa: UGNTU, 2011. PP. 33 - 38.