

УДК 624.953.014.2.004.15

*С. С. НАСОНОВА, Р. В. АЛЕКСЕЕВ*

## **К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск**

Предложена методика оценки технического состояния резервуарных конструкций с позиций их повреждаемости (т.е. на основе понятия третьего предельного состояния), которая открывает новые перспективы решения разнообразных задач обеспечения надежности, оптимального проектирования, определения рациональных периодичностей технических обследований, а также технического и остаточного ресурсов нефтяных резервуаров и их конструктивных элементов.

В статье третьему предельному состоянию резервуара ставится в соответствие наличие в нем такой совокупности дефектов и необратимых повреждений, которая несовместна с нормативными требованиями к его работоспособности. Формулируются критерии наступления третьего предельного состояния основных конструктивных элементов и резервуара в целом.

Расчет и оценка технического состояния строительных металлоконструкций в настоящее время производится на основе метода предельных состояний [1]. Причем в соответствии с [2] традиционно рассматриваются предельные состояния (ПС) первой и второй группы. Первое ПС характеризуется исчерпанием несущей способности, вследствие чего конструкция теряет способность сопротивления внешним воздействиям или получает недопустимые остаточные изменения формы. Второе ПС характеризуется развитием в конструкции недопустимых деформаций от действующих нагрузок. Третье же ПС, предложенное Н.С.Стрелецким [1], характеризуемое появлением в конструкции недопустимой совокупности дефектов и повреждений, не получило должного развития и практически не используется, не смотря на то, что по сути своей именно оно должно было бы давать наиболее интегральную, а значит и объективную оценку технического состояния конструкций, находящихся в эксплуатации. Это объясняется тем, что если для первых двух ПС четко сформулированы и нормализованы критерии их наступления, то общие критерии наступления третьего ПС, вследствие накопления в конструкции критической массы строительно-монтажных дефектов и эксплуатационных повреждений, до сих пор не разработаны.

А отдельные попытки формулировки таких критериев, например [3], требуют дальнейшего осмысления и совершенствования.

В статье дается формализация условий наступления третьего ПС стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефтепродуктов. Предельному состоянию резервуара ставится в соответствие наличие в нем такой совокупности дефектов и необратимых повреждений, которая несовместна с нормативными требованиями к его работоспособности [4,8]. Оценка влияния этой совокупности дефектов и повреждений на работоспособность резервуара производится на основе системы безразмерных переменных коэффициентов, которые определяются отношением текущих (прогнозируемых или фактических) значений показателей работоспособности основных конструктивных элементов резервуара к их проектным значениям. Все эти коэффициенты формулируются в терминах случайных функций в виде моделей, отражающих совместное влияние на изменение проектных запасов прочности, устойчивости и герметичности резервуарных конструкций факторов начальной дефектности и эксплуатационной повреждаемости. Стальной резервуар рассматривается как система, состоящая из четырех основных конструктивных элементов: цилиндрической стенки, узла сопряжения стенки с днищем (уторного узла), днища и кровли. Считается, что резервуар работоспособен, если отвечает условиям прочности, устойчивости и герметичности. Прочность резервуара определяется совместной прочностью его цилиндрической стенки и уторного узла, устойчивость рассматривается в контексте общей устойчивости цилиндрической стенки, а герметичность резервуара

обуславливается герметичностью днища и кровли.

После изготовления и монтажа резервуар, как правило, имеет те или иные дефекты, обусловленные несовершенством существующих технологий [5,6]. Начальная дефектность нефтяных резервуаров связана в основном с несовершенствами геометрической формы и различного рода дефектами сварных швов. Сюда же можно отнести и использование в конструктивных элементах листов с отрицательными допусками на толщину проката [7]. В итоге фактор начальной дефектности практически всегда снижает проектную несущую способность резервуаров. В процессе эксплуатации происходит физический износ резервуарных конструкций, который проявляется главным образом в развитии и накоплении коррозионных и усталостных повреждений, а также неравномерных осадок основания. Все это постепенно ухудшает техническое состояние резервуара. Коррозия рассматривается далее как фактор, изменяющий сечение конструктивных элементов и их прочностные характеристики. При этом различается необратимый коррозионный износ, регламентируемый остаточной толщиной конструктивных элементов, и локальный коррозионный износ, определяемый глубиной местных коррозионных повреждений. Усталостные повреждения рассматриваются в контексте возможного подрастания трещиновидных дефектов, гипотетически имеющих в корпусе резервуара. Считается, что устранение необратимого коррозионного износа и усталостных повреждений требует капитальных ремонтов, а устранение локальных коррозионных повреждений возможно на основе несложных текущих ремонтов. Неравномерные осадки не имеют прямой связи со временем, но настолько часто встречаются в резервуарах, что в прогнозных оценках их следует учитывать в каждом рассматриваемом случае.

Цилиндрическая стенка резервуара, находящегося в эксплуатации, является несущим конструктивным элементом и, соответственно, должна отвечать требованиям прочности и устойчивости. Прочность стенки обуславливается прочностью всех ее поясов. С учетом факторов начальной дефектности и эксплуатационной повреждаемости условие прочности стенки можно представить в виде следующей системы неравенств

$$S_i^{\Pi}(t) = \eta_i \xi_{1i}(t) \xi_{2i}(t) \xi_{3i}(t) S_{i0}^{\Pi} \geq p_i r, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $S_i^{\Pi}(t)$ ,  $S_{i0}^{\Pi}$  — соответственно, текущее (действительное после  $t$  лет эксплуатации) и проектное значение несущей способности  $i$ -го пояса;  $p_i, n, r$  — соответственно, расчетное значение внутреннего давления в  $i$ -м поясе, число поясов и радиус средней поверхности резервуара;  $\eta_i$  — поправка, учитывающая возможное изменение проектной несущей способности  $i$ -го пояса вследствие его начальной дефектности после изготовления и мон-

тажа. Согласно [5] среднестатистическое значение этой поправки равно 0,87-0,88 для нижнего пояса и 0,97-0,98 — для остальных поясов (для резервуаров, не имеющих в основании фундаментного кольца под цилиндрической стенкой, эта поправка применительно к нижнему поясу и узлу сопряжения должна учитывать влияние неравномерных осадок и соответственно корректироваться коэффициентом  $\eta = 0,9 \div 0,95$ ;  $\xi_{1i}(t)$  — поправка, учитывающая возможное изменение проектной толщины  $i$ -го пояса вследствие коррозионного износа;  $\xi_{2i}(t)$  — поправка, учитывающая возможное изменение прочности  $i$ -го пояса вследствие его повреждения коррозией;  $\xi_{3i}(t)$  — поправка, учитывающая возможное изменение проектной несущей способности  $i$ -го пояса вследствие подрастания гипотетически имеющих в корпусе резервуара трещиновидных дефектов под воздействием циклического заполнения резервуара нефтепродуктом.

Поправки  $\xi_{1i}(t)$  и  $\xi_{2i}(t)$  согласно [4] имеют следующий вид

$$\xi_{1i}(t) = 1 - \frac{\varepsilon_i(t)}{\delta_{i0}}; \quad \xi_{2i}(t) = \exp\left(-\frac{\beta_i \varepsilon_i(t)}{k_{pi} \delta_{i0}}\right),$$

где  $\delta_{i0}$  — проектная толщина  $i$ -го пояса;  $\varepsilon_i(t)$  — текущее значение необратимого коррозионного износа  $i$ -го пояса, которое рассматривается как случайная величина, связанная со средней скоростью поверхностной коррозии пояса  $u_i$  и временем пребывания в эксплуатации  $t$  по приближенной формуле  $\varepsilon_i(t) \approx u_i t$ ;  $\beta_i, k_{pi}$  — коэффициенты, соответственно, шероховатости и питтингообразования.

Поправка  $\xi_{3i}(t)$  согласно [4] определяется соотношением

$$\xi_{3i}(t) = \sqrt{\frac{l^*(t)}{l_0}},$$

где  $l_0, l^*(t)$  — соответственно, начальное и текущее значение полудлины гипотетического трещиновидного дефекта в конструктивном элементе. При этом величина  $l_0$  определяется по статистическим данным натуральных обследований резервуаров, а значение  $l^*(t)$  рассматривается в контексте возможного изменения  $l_0$  под воздействием циклической нагрузки (для этого может быть использовано, например уравнение Париса-Эрдогана [5]). Поскольку для резервуаров, находящихся в эксплуатации, количество циклов нагрузки-разгрузки неразрывно связано со временем, то и  $l^*(t)$  всегда можно представить как функцию времени. Заметим, что расчетные значения поправки  $\xi_{3i}(t)$  в зависимости от расчетного количества циклов нагружения и разности напряжений в поясе при максимальном и минимальном уровне залива резервуара нефтепродуктом приведены в [4].

Коэффициентом влияния имеющейся в *i*-м поясе совокупности дефектов и повреждений на его несущую способность назовем отношение текущего значения несущей способности пояса к ее проектному значению

$$\lambda_i^{\Pi}(t) = \frac{S_i^{\Pi}(t)}{S_{i0}^{\Pi}} = \eta_i \left( 1 - \frac{\varepsilon_i(t)}{\delta_{i0}} \right) \exp \left( - \frac{\beta_i \varepsilon_i(t)}{k_{pi} \delta_{i0}} \right) \sqrt{\frac{l^*(t)}{l_0}} \quad (2)$$

Разложив правую часть (2) в ряд Тейлора по степеням  $h_i(t) = \varepsilon_i(t)/\delta_{i0}$  и пренебрегая в силу малости  $h_i(t)$  членами этого ряда, начиная со второго, можно записать приближенное равенство

$$\lambda_i^{\Pi}(t) \approx \eta_i \xi_{3i}(t) \left( 1 - \frac{(1+k_{pi})\varepsilon_i(t)}{k_{pi}\delta_{i0}} \right) \quad (3)$$

Если рассматривать скорость необратимого коррозионного износа  $u_i$  как случайную величину, распределенную по нормальному закону, а  $\eta_i$  и  $\xi_{3i}(t)$  — как величины детерминированные, то в любой момент времени значение коэффициента  $\lambda_i^{\Pi}(t)$  является случайной величиной, также распределенной по нормальному закону с математическим ожиданием  $\bar{\lambda}_i(t)$  и среднеквадратическим отклонением  $\tilde{\lambda}_i(t)$ :

$$\bar{\lambda}_i(t) = \eta_i \xi_{3i}(t) \left( 1 - \frac{(1+k_{pi})\bar{\varepsilon}_i(t)}{k_{pi}\delta_{i0}} \right);$$

$$\tilde{\lambda}_i(t) = \eta_i \xi_{3i}(t) \left( \frac{1+k_{pi}}{k_{pi}} \right) \frac{\tilde{\varepsilon}_i(t)}{\delta_{i0}},$$

где  $\bar{\varepsilon}_i(t)$ ,  $\tilde{\varepsilon}_i(t)$  — соответственно, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение величины необратимого коррозионного износа *i*-го пояса на момент времени *t*, определяемые либо на основе статистических характеристик скорости коррозии, либо по фактическим данным замеров толщины листов пояса.

Важно отметить, что коэффициент  $\lambda_i^{\Pi}(t)$  является безразмерной случайной функцией необратимого коррозионного износа и зависит от времени *t* как от детерминированного параметра. Очевидно, что  $\lambda_i^{\Pi}(t)$  имеет максимальное значение, равное  $\eta_i$  в начальный момент эксплуатации  $t=0$  и уменьшается по мере развития повреждений. При этом, принимая во внимание (1), легко видеть, что минимально допустимым (критическим) значением функции  $\lambda_i^{\Pi}(t)$  является величина  $\alpha_i = p_{i,r}/S_{i0}^{\Pi}$ , которая соответствует наступлению предельного состояния *i*-го пояса и определяется по проектным параметрам резервуара.

Вероятность того, что на протяжении времени *t* значения функции  $\lambda_i^{\Pi}(t)$  не выйдут за пределы критической величины  $\alpha_i$  определяется веро-

ятностью выполнения неравенства

$$\eta_i \xi_{3i}(t) \left( 1 - \frac{(1+k_{pi})\varepsilon_i(t)}{k_{pi}\delta_{i0}} \right) - \alpha_i \geq 0.$$

Эта вероятность вычисляется по формуле

$$P_i^{\Pi}(t) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\tilde{y}_i(t)\sqrt{2\pi}} \exp \left[ - \frac{1}{2} \left( \frac{y_i - \bar{y}_i(t)}{\tilde{y}_i(t)} \right)^2 \right] dy, \quad (4)$$

где  $y_i$  — случайная величина, распределенная по нормальному закону с математическим ожиданием  $\bar{y}_i(t)$  и среднеквадратическим отклонением  $\tilde{y}_i(t)$

$$\bar{y}_i(t) = \bar{\lambda}_i(t) - \alpha_i; \quad \tilde{y}_i(t) = \tilde{\lambda}_i(t).$$

Переходя к нормированной случайной величине  $z_i = (y_i - \bar{y}_i(t))/\tilde{y}_i(t)$ , вероятность  $P_i^{\Pi}(t)$  можно выразить через хорошо известную в теории вероятностей функцию нормированного нормального распределения

$$P_i^{\Pi}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-w_i}^{\infty} \exp \left( - \frac{z_i^2}{2} \right) dz = \Phi(w_i), \quad (5)$$

где  $w_i = \bar{y}_i(t)/\tilde{y}_i(t)$ .

Согласно [1], цель расчета конструкций по методу предельных состояний состоит в недопущении с определенной обеспеченностью наступления предельных состояний или перехода в запредельные состояния конструкций в течение всего срока их эксплуатации, а также в процессе изготовления и монтажа. Соотношение (5) позволяет сформулировать критерий прочности цилиндрической стенки по третьему ПС с обеспеченностью  $p^*$ . Такой критерий имеет вид следующей системы неравенств:

$$\bar{\lambda}_i(t) - \alpha_i \geq \tilde{\lambda}_i(t) w^*, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где параметр  $w^*$  определяется из уравнения  $P^* = \Phi(w^*)$  по требуемой степени обеспеченности ненаступления предельного состояния резервуарных конструкций  $p^*$ .

Критерий прочности узла сопряжения стенки с днищем по третьему ПС формулируется аналогично (6) в виде следующего неравенства

$$\bar{\lambda}_x(t) - \alpha_x \geq \tilde{\lambda}_x(t) w^*, \quad (7)$$

где  $\bar{\lambda}_x(t)$ ,  $\tilde{\lambda}_x(t)$  — соответственно, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение коэффициента влияния имеющихся дефектов и повреждений уторного узла на его несущую способность;  $\alpha_x = M_0(t)/S_{x0}^{\Pi}$ ;  $M_0(t)$ ,  $S_{x0}^{\Pi}$  — соответственно, текущее значение изгибающего момента в точках сопряжения нижнего пояса с днищем и проектное значение несущей способности уторного узла.

Условие устойчивости цилиндрической стенки резервуара, находящихся в эксплуатации, с уче том имеющих дефектов и повреждений согласно [2,8] можно записать в виде следующего неравенства

$$S_c^y(t) = \frac{\sigma_1[\delta_{\min}(t)]}{\sigma_{cr1}[\delta_{\min}(t)]} + \frac{\sigma_2[\delta_c(t)]}{\sigma_{cr2}[\delta_c(t)]} \leq 1, \quad (8)$$

где  $S_c^y(t)$  — текущее значение показателя устойчивости стенки;  $\sigma_1[\delta_{\min}(t)]$ ,  $\sigma_2[\delta_c(t)]$  — текущие значения меридиональных и кольцевых напряжений, возникающих в стенке от, соответственно, продольных и радиальных внешних на грузок [8];  $\sigma_{cr1}[\delta_{\min}(t)]$ ,  $\sigma_{cr2}[\delta_c(t)]$  — критические значения напряжений при сжатии в, соответственно, осевом и радиальном направлении [8];  $\delta_{\min}(t)$ ,  $\delta_c(t)$  — текущие значения, соответственно, мини мальной и средней толщины цилиндрической стенки

Коэффициентом влияния имеющейся в цилиндрической стенке совокупности дефектов и повреждений на его устойчивость назовем отношение текущего показателя устойчивости к его проектному значению

$$\lambda_c^y(t) = \frac{S_c^y(t)}{S_{c0}^y}. \quad (9)$$

Принимая во внимание [2] при расчете компонентов неравенства (8) и производя преобразования, аналогичные тем, которые были выполнены выше при определении  $\lambda_c^I(t)$ , можно показать, что

$$\lambda_c^y(t) \approx \frac{1}{1 - \frac{5\varepsilon_c(t)}{2\delta_{c0}}}, \quad (10)$$

где  $\delta_{c0}$ ,  $\varepsilon_c(t)$  — средние значения, соответственно, проектной толщины поясов стенки и их необратимого коррозионного износа.

Коэффициент  $\lambda_c^y(t)$  является безразмерной случайной функцией величины  $\varepsilon_c(t)$  и зависит от времени  $t$  как от детерминированного параметра. Очевидно что, эта функция имеет максимальное значение, равное 1 в начальный момент эксплуатации и увеличивается по мере развития повреждений, причем, принимая во внимание (8), легко видеть, что максимально допустимым (критическим) значением функции  $\lambda_c^y(t)$  является величина  $\alpha_c = 1/S_{c0}^y$ , которая соответствует наступлению предельного состояния стенки и определяе тся по проектным параметрам резервуара. Математическое ожидание  $\bar{\lambda}_c(t)$  и среднееквадратическое отклонение  $\tilde{\lambda}_c(t)$  этой функции определяются по формулам

$$\bar{\lambda}_c(t) = \frac{1}{1 - \frac{5\bar{\varepsilon}_c(t)}{2\delta_{c0}}}, \quad \tilde{\lambda}_c(t) = \frac{5\tilde{\varepsilon}_c(t)}{2\delta_{c0}},$$

где  $\bar{\varepsilon}_c(t)$ ,  $\tilde{\varepsilon}_c(t)$  — соответственно, математическое

ожидание и среднееквадратическое отклонение случайной величины  $\varepsilon_c(t)$ :

$$\bar{\varepsilon}_c(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\varepsilon}_i(t); \quad \tilde{\varepsilon}_c(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \tilde{\varepsilon}_i^2(t)}.$$

Вероятность того, что на протяжении времени  $t$  значения функции  $\lambda_c^y(t)$  не выйдут за пределы критической величины  $\alpha_c$  определяется вероятностью выполнения неравенства

$$S_{c0}^y - \left(1 - \frac{5\varepsilon_c(t)}{2\delta_{c0}}\right) \geq 0. \quad (11)$$

В любой момент времени левая часть данного неравенства является нормально распределенной случайной величиной. Поэтому критерий устойчивости цилиндрической стенки по третьему ПС с обеспеченностью  $p^*$  можно записать аналогично (6) и (7) в виде следующего неравенства

$$\frac{1}{\alpha_c} - \frac{1}{\bar{\lambda}_c(t)} \geq \tilde{\lambda}_c(t) w^*. \quad (12)$$

Днище и кровля резервуара выполняют главным образом ограждающую функцию, обеспечивая его герметичность. В соответствии с [8] условие герметичности резервуара сводится к ограничению на остаточную толщину листов днища и настила кровли.

Требование к остаточной толщине листов днища можно записать в виде следующего неравенства

$$\delta_{d0} - \varepsilon_d(t) \geq \delta_d^-, \quad (13)$$

где  $\delta_{d0}$ ,  $\delta_d^-$  — соответственно, проектная и минимально допустимая толщина листов днища (согласно [8] в расчетах следует принимать  $\delta_d^- = \delta_{d0}/2$ );  $\varepsilon_d(t)$  — текущее значение необратимого коррозионного износа листов днища, рассматриваемое как случайная величина, распределенная по нормальному закону с математическим ожиданием  $\bar{\varepsilon}_d(t)$  и среднееквадратическим отклонением  $\tilde{\varepsilon}_d(t)$ .

Коэффициентом влияния имеющихся дефектов и повреждений на остаточную толщину днища назовем отношение текущего значения толщины данного конструктивного элемента к ее проектному значению

$$\lambda_d^r(t) = 1 - \frac{\varepsilon_d(t)}{\delta_{d0}}. \quad (14)$$

Данный коэффициент является безразмерной случайной функцией величины  $\varepsilon_d(t)$  и зависит от времени как от детерминированного параметра. Эта функция имеет максимальное значение, равное 1 в начальный момент эксплуатации и уменьшается по

мере развития повреждений. Ее критическим значением является величина  $\alpha_d = \delta_d^- / \delta_{d0}$ , которая соответствует наступлению предельного состояния днища. В любой момент времени коэффициент  $\lambda_d^A(t)$  является нормально распределенной случайной величиной. Поэтому критерий того, что после  $t$  лет эксплуатации степень влияния совокупности имеющихся дефектов и повреждений на остаточную толщину днища с обеспеченностью  $p^*$  не превысит критический уровень, соответствующий наступлению предельного состояния можно записать аналогично (6), (7) и (12) в виде следующего неравенства

$$\bar{\lambda}_d(t) - \alpha_d \geq \tilde{\lambda}_d(t) w^* \quad (15)$$

где  $\bar{\lambda}_d(t)$ ,  $\tilde{\lambda}_d(t)$  — соответственно, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение коэффициента  $\lambda_d^A(t)$ .

Критерий ненаступления предельного состояния кровли формулируется аналогично (15) в виде следующего неравенства

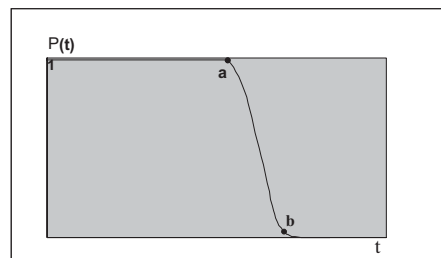
$$\bar{\lambda}_k(t) - \alpha_k \geq \tilde{\lambda}_k(t) w^* \quad (16)$$

Приведенные выше частные критерии (6), (7), (12), (15) и (16) определяют общий критерий ненаступления третьего ПС резервуара. Отдельно эти неравенства можно применять для анализа ПС, соответственно, нижних и верхних поясов, уторного узла, днища и кровли. Все составляющие расчетных формул данного критерия кроме параметра  $w^*$  легко определяются по проектным параметрам резервуаров, статистическим данным о коррозионном и усталостном износе их конструктивных элементов, а также на основе действующих нормативных документов. Что касается величины  $w^*$ , то она требует соответствующего обоснования.

На рисунке показана типичная траектория изменения во времени вероятности ненаступления ПС основных конструктивных элементов нефтяных резервуаров.

Приведенная кривая имеет три характерных участка: до точки а, между точками а и б и за точкой б. Первый из этих участков отвечает надежной работе конструктивных элементов, второй соответствует ускоренному возрастанию влияния

накопленных дефектов и повреждений на работоспособность конструктивных элементов, что приводит к лавинообразному возрастанию риска наступления их предельного состояния, а третий отражает неработоспособное состояние резервуарных конструкций.



Вероятность ненаступления ПС конструктивных элементов РВС

С учетом высокой степени ответственности строительных металлоконструкций нефтяных резервуаров гарантия ненаступления их предельных состояний должна быть близкой к единице. Тем самым рабочая траектория изменения вероятности  $P(t)$  в период эксплуатации должна ограничиваться точкой а. Согласно [9] фактический риск отказов большинства нефтяных резервуаров, находящихся в эксплуатации, определяется величиной, лежащей в диапазоне от  $10^{-4}$  до  $10^{-3}$ . Поэтому для определения значения параметра  $w^*$  в системе неравенств (6), (7), (12), (15) и (16) можно рекомендовать выбирать величину  $p^*$  не менее, чем 0,999.

В табл. 1 приведены некоторые расчетные значения параметра  $w^*$  в зависимости от заданной величины  $p^*$ .

В табл. 2 отражено изменение во времени вероятности ненаступления предельного состояния основных конструктивных элементов типового проекта резервуара объемом 5000 м<sup>3</sup> с высотой стенки 11,92 м, диаметром 22,8 м, толщиной днища и кровли, соответственно, 4 и 3 мм и толщиной поясов 10, 8, 7,6, 6, 6, 6, 6 мм.

Из табл. 2 следует, что риск наступления ПС днища и уторного узла резко возрастает после 20 лет эксплуатации, нижних поясов и кровли — в период 30–35 лет, а верхних поясов — после

Таблица 2

Вероятности ненаступления ПС конструктивных элементов РВС

Время (годы)	Днище	Уторный узел	Нижние пояса	Верхние пояса	Кровля
10	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
20	0,9992	0,9997	0,9999	0,9999	0,9999
25	0,7673	0,9608	0,9999	0,9999	0,9999
30	0,1788	0,5200	0,9966	0,9999	0,9990
35	0,0131	0,4841	0,9463	0,9999	0,9712
40	0,0015	0,4602	0,7823	0,9991	0,8485

40 лет.

Таблица 1

**Значения параметра  $w^*$  в зависимости от величины  $P^*$**

$P^*$	0,9990	0,9992	0,9995	0,9997	0,9999
$w^*$	3,10	3,16	3,30	3,44	3,72

**Выводы**

Предложенная методика оценки технического состояния резервуарных конструкций с позиций их повреждаемости (т.е. на основе понятия третьего предельного состояния) открывает новые перспективы решения разнообразных задач обеспечения надежности, оптимального проектирования, определения рациональных периодичностей технических обследований, а также технического и остаточного ресурсов нефтяных резервуаров и их конструктивных элементов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Стрелецкий Н.С.* Первоочередные вопросы развития методики предельных состояний // Развитие методики расчета по предельным состояниям. — М.Стройиздат, 1971. — С.87-95.
2. *СНиП 11-23-81.* Стальные конструкции. Нормы проектирования. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. — 96 с.
3. *Оценка безопасности эксплуатируемых сооружений на основе понятия третьего предельного состояния / Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Югов А.М., и др. // Металеві конструкції. — Макіївка: ДонДаба. — 2002. — Т.5. — № 1. — С.97-101.*
4. *Правила технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту // Доповнення та зміни. — К.:Укрнафтопродукт, 1997. — 297 с.*
5. *Егоров Е.А.* Исследования и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных резервуаров, находящихся в эксплуатации. — Днепропетровск: Навчальна книга, 2002. — 95 с.
6. *Овчинников И.Г., Кудайбергенов Н.Б., Шейн А.А.* Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций. — Саратов: СГТУ, 1999. — 316 с.
7. *ГОСТ 19903-74.* Сталь листовая горячекатаная. Сортамент. — М.: Изд-во Стандартов, 1974. — 16 с.
8. *Відомчі будівельні норми України ВБН 2.2-58.2-94.* Резервуари вертикальні сталеві для збереження нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93.3кПа. — Київ, 1994. — 98 с.
9. *Прохоров В.А.* Оценка параметров безопасности эксплуатации нефтехранилищ в условиях Севера. — М.: Недра, 1999. — 141 с.

Поступила в редакцию 7.11.2011