

УДК 624.953: 043

**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ВРЕЗКИ  
ЛЮКА-ЛАЗА В СТЕНКУ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА**

φ А.И.Айнабеков, А.В.Протопопов, Ш.Т.Ешимбетов  
ЮКГУ им.М.Ауезова, г.Шымкент

К числу наиболее ответственных зон конструкции резервуара относятся места врезки люка-лаза и ввода трубопроводов – соединение патрубков люка и трубопроводных систем со стенкой резервуара.

Опыт эксплуатации резервуаров показывает, что в зонах врезки патрубков из-за геометрических особенностей пересекающихся оболочек возникают значительные концентрации

напряжений, являющиеся источником появления и развития пластических деформаций, усталостных трещин, разрывов.

Согласно СН РК 3.05-24-2004 [1] установка люков-лазов в резервуарах должна производиться с учетом конструктивных решений, месторасположения, применяемых материалов и не должна снижать прочность, надежность и долговечность конструкции в целом.

Анализ конструкции резервуарах объемом 10, 20, 50 и 100 тыс. м<sup>3</sup> при условии укрепления зоны ослабления усиливающим листом, поясом и патрубком показал, что отношения расчетных площадей патрубка ( $A_n$ ) и усиливающего листа ( $A_{ул}$ ) находятся в пределах 0,7-0,13 [2]. Этим отношениям соответствует коэффициент концентрации 2,68-2,42. При этом меньшие коэффициенты концентрации соответствуют более крупным резервуарам и высокопрочным сталям. Следовательно, в резервуарах объемом 10, 20, 50 и 100 тыс. м<sup>3</sup> коэффициент концентрации напряжений на контуре ослабления находится за пределами патрубка в начале усиливающего листа и при отношении площадей  $A_n/A_{ул} = 0,092$  будет равен 2,57, т.е. напряжения будут больше в 2,57 раза. На долю патрубка приходится 0,43  $\sigma_n$  ( $\sigma_n$  - номинальное напряжение по неослабленному сечению). Это означает, что напряжения на контуре ослабления за счет патрубка уменьшаются на 0,43  $\sigma_n$ . Если выразить влияние патрубка на уменьшение концентрации напряжений в процентах, получится 14%, то на долю усиливающего листа со стенкой приходится 86%, т.е. наблюдается неравномерное распределение напряжений между патрубком и усиливающим листом.

С учетом вышесказанного, для увеличения доли патрубка предложен вариант усиления узла врезки люка-лаза в стенку резервуара (рисунок 1).

Особенность предлагаемой конструкции заключается в том, что для увеличения доли патрубка вокруг него предусмотрено дополнительное кольцо и усилено сопряжение стенки с патрубком дополнительным усиливающим листом. Вследствие этого вдвое увеличена расчетная толщина патрубка и вчетверо - расчетная площадь. Увеличение площади патрубка приводит к перераспределению напряжений между патрубком и усиливающим листом и равнопрочности элементов узла врезки в стенку резервуара. Вместе с тем, регулируя параметры элементов усиления, можно регулировать напряженное состояние зоны врезки, получая оптимальную конструкцию.

Проведен расчетный эксперимент узла врезки люка-лаза в стенку резервуара по конструктивному решению [1] и по предложенному способу усиления.

Рассматривался узел врезки патрубка диаметром 630 мм, толщиной 6 мм. Угловые координаты точек оболочки резервуара принимались 0°, 30°, 60° и 90°, осевые координаты в зависимости от протяженности зоны концентрации, принимались  $l = 5$  мм, 130 мм и  $l = 260$  мм. Расчетные осевые координаты по патрубку ( $x$ ) принимались - 5 мм, 100 мм и  $l = 200$  мм.

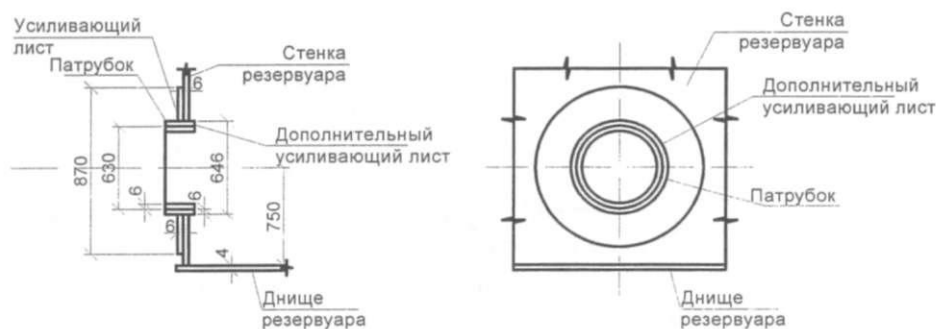


Рисунок 1 - Усиление узла врезки люка-лаза резервуара

В расчетной точке вычислялись осевые, окружные и сдвигающие напряжения в элементах конструкции и главные напряжения по формулам:

в стенке резервуара

$$\sigma_{\alpha} = \frac{1}{h} \left( N_{\alpha} \mp \frac{6}{h} M_{\alpha} \right); \sigma_{\beta} = \frac{1}{h} \left( N_{\beta} \mp \frac{6}{h} M_{\beta} \right); \tau_{\alpha\beta} = \frac{1}{h} S \quad (1)$$

в патрубке

$$\sigma_{\zeta} = \frac{1}{h_1} \left( \eta_{\zeta} \mp \frac{6}{h_1} m_{\zeta} \right); \sigma_{\omega} = \frac{1}{h_1} \left( n_{\omega} \mp \frac{6}{h_1} m_{\omega} \right); \tau_{\zeta\omega} = \frac{1}{h_1} S, \quad (2)$$

где знаки перед вторыми слагаемыми выбраны в зависимости от того, на какой поверхности оболочки (наружной или внутренней) определяются напряжения.

Главные напряжения определены по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{1}{2} \left[ \sigma_{\alpha} + \sigma_{\beta} + \sqrt{(\sigma_{\alpha} - \sigma_{\beta})^2 + 4\tau_{\alpha\beta}^2} \right] \\ \sigma_2 &= \frac{1}{2} \left[ \sigma_{\alpha} + \sigma_{\beta} - \sqrt{(\sigma_{\alpha} - \sigma_{\beta})^2 + 4\tau_{\alpha\beta}^2} \right] \\ \sigma'_1 &= \frac{1}{2} \left[ \sigma_{\zeta} + \sigma_{\omega} + \sqrt{(\sigma_{\zeta} - \sigma_{\omega})^2 + 4\tau_{\zeta\omega}^2} \right] \\ \sigma'_2 &= \frac{1}{2} \left[ \sigma_{\zeta} + \sigma_{\omega} - \sqrt{(\sigma_{\zeta} - \sigma_{\omega})^2 + 4\tau_{\zeta\omega}^2} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Результаты расчетного эксперимента в виде сравнительных кривых напряжение-координата точки приведены на рисунках 2 и 3.

Анализ характера кривых показывает, что по мере удаления от линии сопряжения стенки резервуара с патрубком концентрация напряжений в стенке и трубке значительно уменьшается в осевых направлениях, плавно затухая в окружных направлениях.

Эпюры осевых напряжений в наиболее напряженных точках в области  $0 \leq \omega \leq 90^{\circ}$  и окружных напряжений в наружных точках стенки резервуара в области  $0 \leq \omega \leq 30^{\circ}$  с погрешностью 5-10% почти сливаются в одну, что свидетельствует о напряженном состоянии в этих областях, близких напряженному состоянию осесимметричных оболочек.

Анализ эпюр осевых напряжений в стенке резервуара показывает, что напряжения в наружных точках стенки в области, близкой к сопряжению, в 1,8-2 раза выше, чем во внутренних точках. А также установлено качественное изменение характера распределения напряжений во внутренних точках по сравнению с наружными точками стенки с патрубком; кривая напряжения принимает горизонтальный вид, что указывает на ослабление влияния концентрации в зоне с координатами  $120 \div 140$  мм и выше.

Как и следовало ожидать, окружные напряжения в наружных и во внутренних точках стенки в области, близкой к сопряжению с патрубком, значительно повышаются, плавно уменьшаясь по мере удаления от сопряжения. Однако характер распределения окружных напряжений во внутренних точках стенки качественно отличается от распределения напряжений в наружных точках. В области координат  $5 \div 8$  мм окружные напряжения резко уменьшаются, а в области 8 мм и более плавно повышаются, переходя в горизонтальную кривую, равную номинальному напряжению в неослабленном сечении.

Следует отметить, что значения осевых напряжений в 1,4-1,8 раза превысили окружные напряжения в зоне, близкой к сопряжению патрубка со стенкой.

Анализ кривых напряжений в стенке патрубка в наружных и внутренних точках показал одинаковый характер распределения напряжений, независимо от угловых координат точек приблизительно одинаковые значения напряжений в наружных точках, несколько (в 1,2-1,6 раза) низкое значение осевых напряжений во внутренней стенке патрубка по сравнению с наружным.

Если окружные напряжения в наружных точках резко уменьшаются по мере удаления от узла сопряжения, то во внутренней стороне патрубка наблюдается плавное его снижение, причем окружные напряжения в наружных точках при  $\omega = 60^\circ$  в 1,8 раза выше, чем во внутренних точках. Такое же снижение в пределах 1,2-1,8 раза наблюдаются и в других точках патрубка.

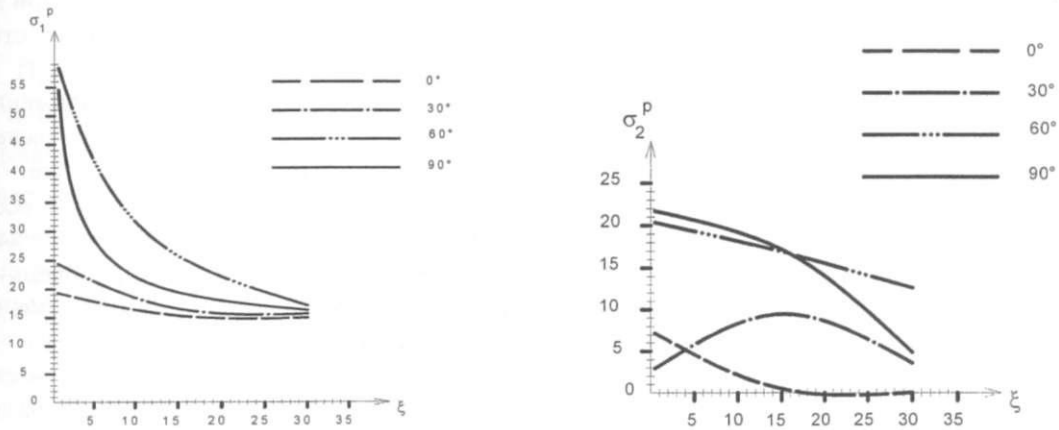


Рисунок 2 - Характер распределения напряжений в стенке резервуара

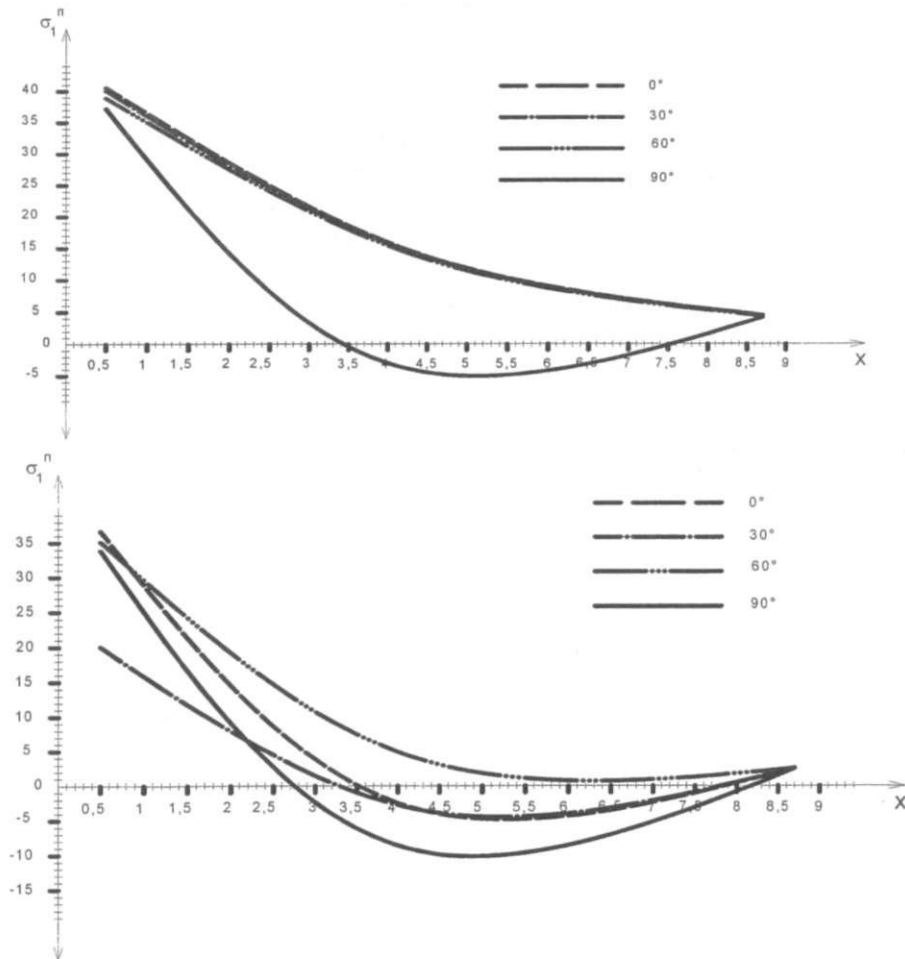


Рисунок 3 - Характер распределения напряжений в стенке патрубка

Доля осевых напряжений, воспринимаемых стенкой резервуара, составила 35-28%, патрубка – 65-72%, доля окружных напряжений, воспринимаемых стенкой резервуара, составила 35-32%, - патрубка 65-68 %.

На втором этапе расчетного эксперимента был произведен расчет предлагаемого конструктивного решения узла врезки. Замечено, что усиление патрубка в месте сопряжения со стенкой резервуара благоприятно влияет на напряженное состояние зоны узла врезки. Так, наблюдается резкое снижение окружных (в 1,8-2,2 раза) и осевых напряжений (1,6-2,0 раза). При этом характер кривой эпюр осевых напряжений заметно изменился, особенно во внутренней стенке патрубка.

Благоприятным фактором можно считать то обстоятельство, что доля напряжений в стенке усиленного узла и в стенке патрубка уравнились. Так, в точках узла сопряжений стенки резервуара с патрубком в точке  $\omega = 0^\circ$  окружные напряжения составили в стенке – 2,10 кН/см<sup>2</sup>, а в патрубке -1,60 кН/см<sup>2</sup>, что составляет в долях и соответственно 57% и 43%, осевые напряжения - в стенке 2,45 кН/см<sup>2</sup>, а в патрубке 1,82 кН/см<sup>2</sup>, что составило в долях 56% и 44%.

Усиление патрубка изменило и характер кривых напряжений, которые приобрели равномерный, без характерных максимумов и минимумов, вид, что указывает на снижение концентрации в зоне врезки и равномерное нагружение патрубка и стенки в зоне.

По сравнению с вариантом без усиления напряжения в точках сопряжения значительно снизились: окружные напряжения в стенке резервуара в наружных точках в 1,6-2,4 раза, во внутренних точках в 1,8-2,4 раза; в патрубке в наружных точках в 1,6-2,3 раза, во внутренних точках в 1,4-2,6 раза. Наблюдается снижение и осевых напряжений: в стенке резервуара в наружных точках в 1,7-2,2 раза, во внутренних точках в 1,4-2,4 раза, в патрубке в наружных точках в 2-2,2 раза, во внутренних точках в 1,8-2,5 раза.

Амплитуда разброса напряжений в элементах усиления снизилась, длина области влияния концентрации напряжений снизилась до 2,5 раза. По результатам проведенных расчетов сделаны следующие выводы:

- в узле врезки люка и ввода трубопроводов в стенку наблюдается значительная концентрация напряжений и неравномерное их распределение в элементах врезки;
- конструктивное решение узла врезки, рекомендованное действующим СН РК, не является оптимальным решением проблемы, так как не устраняет главной проблемы зон врезок, заключающейся в неравномерном нагружении элементов узла врезки;
- предложенный конструктивный способ усиления зоны врезки люка и ввода трубопроводов, уменьшая концентрацию напряжений в зоне врезки, перераспределяет усилия в элементах усиления таким образом, что они нагружаются равномерно, т.е. получен равнопрочный конструктивный элемент.

## Литература

- 1 СН РК 3.05.-24-2004 Инструкция по проектированию, изготовлению и монтажу вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.
- 2 Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры.-М.: Недра, 1987.- С.201.

## Қорытынды

Мақалада тік цилиндрлі резервуар қабырғасына люк-лаз түтікшесін ендіру аймағындағы кернеудің шоғырлануы және кернеулердің түйін элементтеріне таралуы есептік түрде зерттелді. Бұл аймақты нығайтудың жаңа тәсілі ұсынылды. Ұсынылған тәсіл кернеулердің түйін элементтеріне біркелкі таралуын қамтамасыз етеді.

## Summary

In clause is investigated concentration of pressure and distribution of pressure in a zone of input of the hatch - лаза in a wall of a cylindrical environment. The new constructive decision amplification of this unit is offered which will allow in regular intervals to distribute pressure between elements of amplification.