

Добыча, транспорт и переработка нефти и газа

УДК 622.692.23-034.14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА ВАЛЬЦОВКИ РЕМОНТНЫХ ВСТАВОК ПРИ РЕМОНТЕ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ РУЛОНИРОВАНИЯ

П.А. Комаров

«Самарагипротрубопровод»
443020, г. Самара, ул. Ленинская, 25А

Описывается математическое моделирование ремонтных мероприятий, позволяющих избежать возникновения «хлопунов» в стенке ремонтируемого рулонного резервуара вертикального стального для хранения нефти и нефтепродуктов. «Хлопуны» в стенке резервуара возникают при устранении таких дефектов, как угловатость, недопустимое отклонение образующих стенки от вертикали, вмятины, при устранении непроектных конструктивных элементов методом замены участка стенки вальцованными под проектный радиус резервуара листами, не имеющими внутренних напряжений [1].

Ключевые слова: резервуар, РВС, стенка, угловатость, «хлопун», вмятина, недопустимое отклонение образующих стенки от вертикали, дефект, вставка, расчет.

В настоящее время значительная часть резервуарного парка Российской Федерации состоит из резервуаров, построенных от 10 до 40 лет тому назад по типовым сериям с использованием индустриального метода рулонирования.

В статье [2] выполнен анализ напряженно-деформированного состояния стенок резервуара, смонтированных методом промышленного рулонирования, а также показан механизм возникновения «хлопунов» в стенке резервуара при устранении следующих дефектов:

- недопустимое отклонение образующих от вертикали;
- недопустимая угловатость монтажных швов;
- устранение непроектных конструктивных элементов.

Вышеперечисленные дефекты устраняются методом вставок в соответствии с [3], свальцованных под проектный радиус резервуара. В связи с тем, что во вставках отсутствует напряженное состояние, а в стенке присутствуют значительные остаточные напряжения, которые создают остаточный момент, новые ремонтные вставки деформируются. В работе представлена методика ремонта, исключая деформирование вставок и, следовательно, возникновение «хлопунов».

Ремонтную вставку деформирует момент (рис. 1), присутствующий в рулонной стенке и стремящийся свернуть стенку к остаточному радиусу $R_{ост}$.

Остаточный радиус вычисляется по формуле [4], [5]

$$R_{ост} = \frac{2R_{св}}{k^3 - 3k + 2}. \quad (1)$$

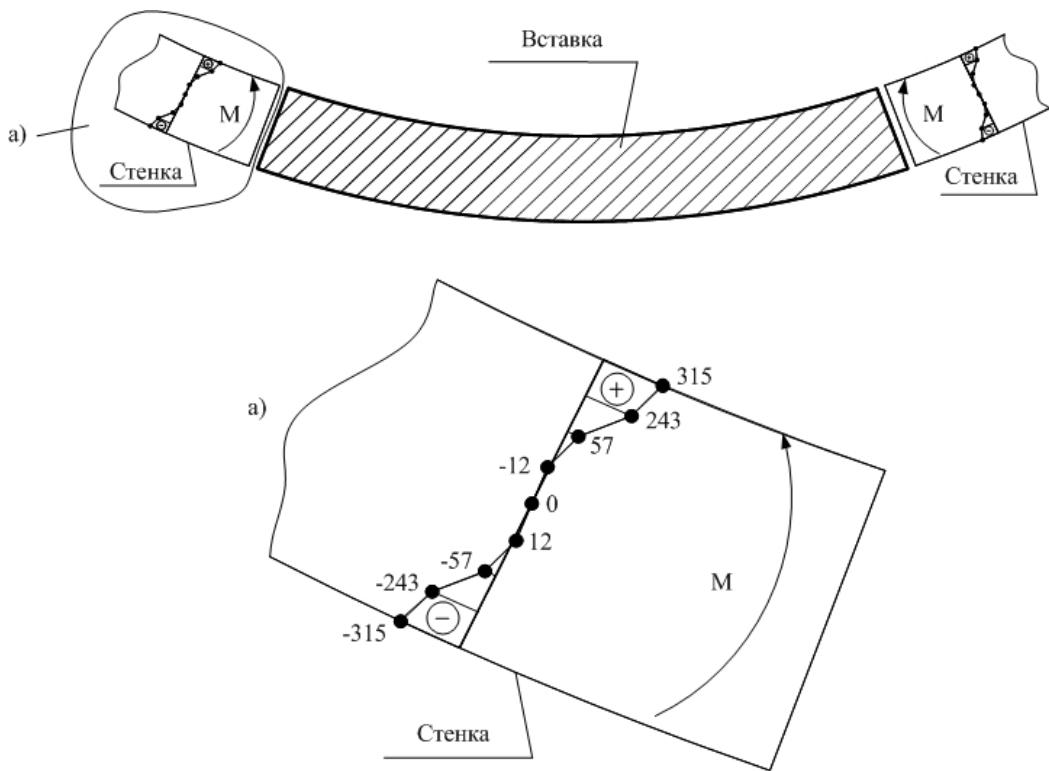


Рис. 1. Ремонтная вставка в рулонизируемой стенке

Для того чтобы нейтрализовать момент, действующий на ремонтную вставку, необходимо, чтобы во вставке присутствовал точно такой же момент (рис. 2).

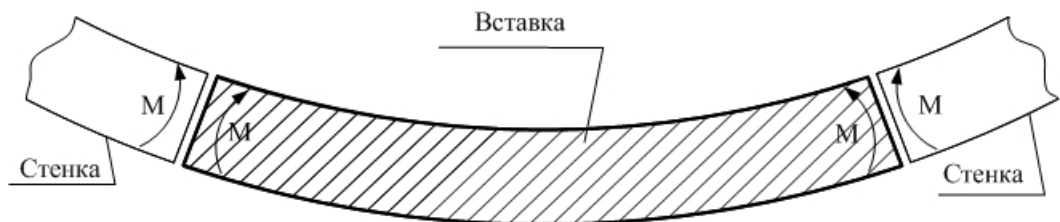


Рис. 2. Ремонтная вставка с остаточным моментом

Определим, на какой радиус необходимо свальцевать лист ремонтной вставки, чтобы при приведении этого листа к проектному радиусу (радиусу резервуара) в нем возник момент, равный моменту в рулонной стенке.

На рис. 3 представлен участок вставки, первоначально свальцованной на радиус R_g (а) и далее разогнутой при помощи специальной оснастки на проектный радиус R_{np} (б). Оснастка устроена таким образом, что вставка претерпевает чистый изгиб (прикладывается чистый момент).

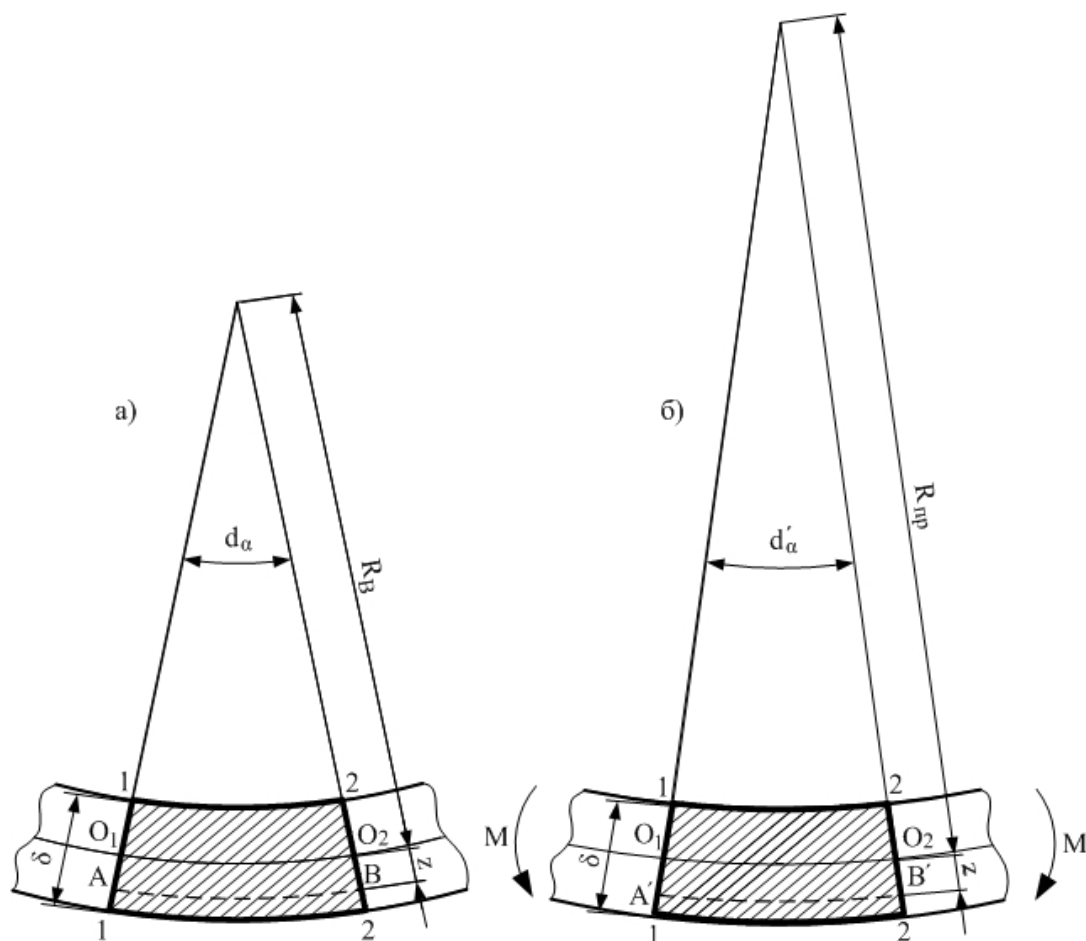


Рис. 3. Вальцованная ремонтная вставка, претерпевающая разгиб до проектного радиуса с целью получить остаточный момент M :

1-1, 2-2 – бесконечно близкие друг к другу сечения; O_1O_2 – отрезок, принадлежащий нейтральному слою; δ – толщина вставки; M – изгибающий момент; d_α, d'_α – углы между бесконечно близкими сечениями 1-1 и 2-2; z – расстояние от нейтрального слоя до рассматриваемого волокна; AB – недеформированное волокно; $A'B'$ – деформированное волокно при изгибе; E – модуль упругости

Вследствие того, что нейтральный слой не деформируется, справедливы следующие выражения:

$$R_g d_\alpha = R_{np} d'_\alpha; \quad (2)$$

$$AB = (R_g + z) d_\alpha; \quad (3)$$

$$A'B' = (R_{np} + z) d'_\alpha. \quad (4)$$

Тогда деформация при изгибе волокна AB равна

$$\Delta l = AB - A'B'; \quad (5)$$

$$\Delta l = (R_{\epsilon} + z)d\alpha - (R_{np} + z)d\alpha'.$$

Подставим в уравнение $d\alpha'$, выраженное через (2):

$$\Delta l = (R_{\epsilon} + z)d\alpha - (R_{np} + z)\frac{R_{\epsilon}}{R_{np}}d\alpha = \frac{R_{np}(R_{\epsilon} + z)d\alpha - (R_{np} + z)R_{\epsilon}d\alpha}{R_{np}}.$$

Относительная деформация волокна равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{AB - A'B'}{AB} = \frac{R_{np}(R_{\epsilon} + z)d\alpha - (R_{np} + z)R_{\epsilon}d\alpha}{R_{np}(R_{\epsilon} + z)d\alpha}. \quad (6)$$

После преобразований последнее выражение примет вид

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{z(R_{np} - R_{\epsilon})}{R_{np}(R_{\epsilon} + z)}. \quad (7)$$

Примем во внимание, что $R_{\epsilon} \gg z$, тогда

$$R_{\epsilon} + z \approx R_{\epsilon}$$

и окончательно формула (7) приводится к виду

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{z(R_{np} - R_{\epsilon})}{R_{np}R_{\epsilon}}. \quad (8)$$

Напряжения по сечению вставки, испытывающей чистый изгиб, отражены на рис. 4.

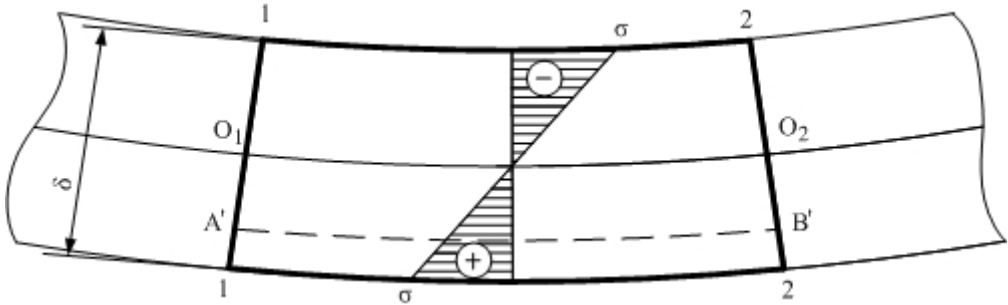


Рис. 4. Эпюра напряжений во вставке, разогнутой до проектного радиуса R_{np}

Напряжения по сечению отражаются линейной зависимостью

$$\sigma = E\varepsilon; \quad (9)$$

$$\sigma(z) = \frac{Ez(R_{np} - R_{\epsilon})}{R_{np}R_{\epsilon}}. \quad (10)$$

Напряжение по сечению создает момент. Остаточный момент во вставке равен

$$M_{ост} = \int_{-\frac{\delta}{2}}^{\frac{\delta}{2}} \sigma(z) z dF, \quad (11)$$

где $dF = l_d dz$; l_d – ширина вставки.

С учетом приведенных выше зависимостей остаточный момент примет вид

$$M_{ост} = -\frac{l_d E (R_{np} - R_e) \delta^3}{12 R_{np} R_e}. \quad (12)$$

Рассмотрим конкретный пример. Для рулонизируемой стенки резервуара с проектным радиусом $R_{np} = 22,8 м$ остаточный момент на один погонный метр сечения стенки толщиной 11 мм с пределом текучести стали $\sigma_T = 315 МПа$ в соответствии с [6] составляет

$$M_{ост.н} = 6045 \frac{Нм}{м}.$$

Следовательно, остаточный момент в разогнутой с радиуса R_e до R_{np} вставке высотой $l_d = 1,49 м$ должен составлять

$$M_{ост} = 9007,05 Нм.$$

Выполнив элементарные преобразования, из (12) получаем, что вставка должна быть свальцована на заводе-изготовителе на радиус

$$R_e = 3,24 м.$$

Очевидно, что это значение получено без учета коррозии стенки и перераспределения напряжений в результате дальнейшей эксплуатации резервуара. В процессе разгиба с радиуса R_e до проектного радиуса R_{np} вставка не испытывает пластических деформаций, чистый изгиб проходит в упругой зоне. Тем не менее материал вставки должен иметь гарантированный предел текучести $\sigma_T = 335 МПа$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД-23.020.00-КТН-296-07. Руководство по оценке технического состояния резервуаров.
2. Комаров П.А., Тянь В.К., Худяков А.В. Системный анализ и математическое моделирование ремонта металлоконструкций стальных резервуаров, изготовленных методом рулонирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1(2). – С. 435-438.
3. РД-23.020.00-КТН-283-09. Правила ремонта и реконструкции резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 куб. м.
4. Николаев Н.В., Иванов В.А., Новоселов В.В. Стальные вертикальные резервуары низкого давления для нефти и нефтепродуктов. – СПб.: Центр «Лифтнефтегаз», 2006. – 335 с.
5. Раевский Г.В. Изготовление стальных вертикальных цилиндрических резервуаров методом сворачивания. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной лит-ры, 1952. – 114 с.

Статья поступила в редакцию 2 октября 2012 г.

CALCULATION THE RADIUS OF THE ROLLED INSERTS IN DURING PROCESS OF REPAIR STEEL TANKS MANUFACTURING BY METHOD OF ROLLING

P.D. Komarov

«Samaragiprotuboprovod»
25A, Leninskaja st., Samara, 443020

In this work provides descriptions mathematic modeling of the repair operation which prevent appearing dents in the wall of the rolling vertical steel tanks for the storing oil. The dent in the wall appear in during eliminate such defects as the awkward, the impermissible wall's deviations, the dents, the elimination unprotect constrictions with method exchange the part of the wall by rolled leafs with project radius of the tank, which have not inner stress [1].

Keywords: tank, wall, awkward, dent, impermissible wall's deviation, defect, inset, calculation.