

КОЭРЦИТИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ВХОДЕ И ВЫХОДЕ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

И.Н.Андронов*¹, Т.Т.Алиев², В.В.Мусонов³, И.Ф.Чупров¹

¹Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

²ОАО «Газпром трансгаз Ухта», Ухта, Россия; ³АО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород, Россия

Coercimetric Analysis of the Stressed State at the Input and Output of the Aerial Cooler Apparatus

I.N.Andronov¹, T.T.Aliev², V.V.Musonov³, I.F.Chuprov¹

¹Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia;

²Gazprom Transgaz Ukhta, Ukhta, Russia; ³«Giprogazcenter» JSC, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract

The paper presents a method of coercimetric analysis of the stress state in the pipeline wall at the inlet and outlet sections of the aerial cooler apparatus (ACA) of the gas compressor unit and compares the obtained values of longitudinal and circular stresses with the calculated results obtained on the basis of the finite element method, as well as with the results based on the experimental determination of stresses by means of hardness measurement. The obtained results indicate that these methods of coercimetric analysis allow adequately describe the stress state at the control points at the inlet and outlet of the ACA. The development of this method will allow the express analysis of the stress state in the elements of the structures of existing compressor stations and other objects of the gas transportation system (GTS), which will provide a significant economic effect to the enterprises of the gas industry due to reductions in the cost of maintaining and repairing the functioning elements of the GTS.

Keywords:

Coercimetric analysis;
Coercive force;
Finite element method;
Solidometry; Pipeline;
Air cooling unit section;
Annular and longitudinal stresses.

© 2018 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Трубопроводы площадных объектов газотранспортной системы (ГТС) и обвязка технологических агрегатов должны проходить оценку напряженного состояния. Решение данной задачи имеет особое значение для тех трубопроводов, которые работают в условиях высоких температур (трубопроводы после газоперекачивающего агрегата (ГПА) и обвязка аппарата воздушного охлаждения (АВО)). В стенках таких трубопроводов возникают значительные напряжения в результате температурных колебаний. На настоящий момент работы по оценке технического и напряженного состояния трубопроводов промплощадок сопряжены со значительными материальными и капитальными затратами. К тому же нет четко установленной методики, регламентирующей порядок проведения оценки напряженного состояния таких трубопроводов.

Задача исследования заключалась в оценке напряженного состояния трубопроводной обвязки на входе и выходе секций АВО методом

коэрцитиметрии и сравнение полученных значений напряжений с расчетными значениями, найденными на основе метода конечных элементов (МКЭ). Дополнительно провести оценку напряженного состояния методом твердометрии.

Проведены исследования изменения коэрцитивной силы (КС) в стенке трубопровода под действием механических напряжений на входных секциях АВО ГПА № 14 компрессорной станции Малоперанская.

Для проведения измерений использовался прибор КМ-445.1 (рис.1), который является переносным прибором общего применения для работы в лабораторных и производственных условиях и предназначен для изме-



Рис.1. Прибор КМ-445.1 для измерения КС

*E-mail: 010601mdtt@bk.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20180400371>

рения КС изделий из ферромагнитных материалов. Кроме того использовали приборы для измерений твердости: УЗИТ-2-М.

В работе выполнен анализ измеренных значений КС в определенных точках сечений на входных патрубках трубопроводной обвязки АВО компрессорной станции Малоперанская. Детально измерения КС этим прибором описаны в многочисленных работах, как в условиях одноосного напряженного состояния [1-3], так и при плоском напряженном состоянии [4].

Для измерения КС были определены соответствующие сечения, представленные на рисунке 2 пунктирными линиями, а также контрольные точки измерения, в часовой ориентации. Значения КС брались в контрольных точках в двух направлениях (в продольном – вдоль направления движения потока газа и перпендикулярном – кольцевом направлении). Полученные результаты соответственно вносились в журнал измерений, частично они представлены в таблице 1.

Для 8 входных секций АВО выполнено измерение значений КС в продольном - H_{Cnp} и в кольцевом - $H_{Cк}$ направлениях для 128 контрольных точек (часовой ориентации 12, 3, 6 и 9 часов). Типичные лепестковые диаграммы для продольных и кольцевых значений КС представлены на рисунках 3 и 4. Диаграммы свидетельствуют об угловой анизотропии измеренных значений КС. Чрезвычайно важно отметить, что величина произведения значений КС является практически постоянной величиной, т.е. $H_{Cnp} \cdot H_{Cк} \approx const$ (рис. 5).

Это говорит о том, что если продольная компонента КС уменьшается, то кольцевая компонента будет возрастать.

В [4] было показано, что КС в условиях действия растягивающих напряжений уменьшается в продольном направлении и возрастает в поперечном. В терминах настоящей статьи эта мысль выразится в виде (1) и (2):

$$a - b\sigma_{np} + \mu b\sigma_{к} = H_{Cnp} \quad (1)$$

$$a - b\sigma_{к} + \mu b\sigma_{np} = H_{Cк} \quad (2)$$

где a и b - некоторые размерные константы, μ - коэффициент Пуассона трубной стали равный 0.3.

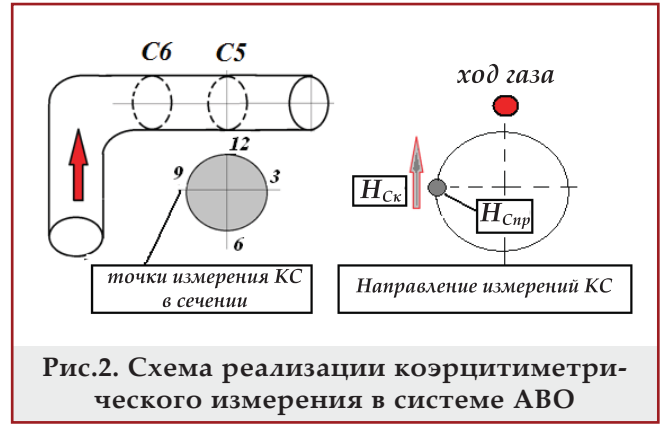


Рис.2. Схема реализации коэрцитиметрического измерения в системе АВО

Решая систему линейных уравнений (1) и (2), находим:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} H_{Cnp} & \mu\sigma_{к} - \sigma_{np} \\ H_{Cк} & \mu\sigma_{np} - \sigma_{к} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \mu\sigma_{к} - \sigma_{np} \\ 1 & \mu\sigma_{np} - \sigma_{к} \end{vmatrix}} = \frac{H_{Cnp}(\mu\sigma_{np} - \sigma_{к}) - H_{Cк}(\mu\sigma_{к} - \sigma_{np})}{\mu\sigma_{np} - \sigma_{к} + \mu(\sigma_{np} - \sigma_{к})} = \frac{H_{Cnp}(\mu\sigma_{np} - \sigma_{к}) - H_{Cк}(\mu\sigma_{к} - \sigma_{np})}{(\sigma_{np} - \sigma_{к})(1 + \mu)}, \quad (3)$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} 1 & H_{Cnp} \\ 1 & H_{Cк} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \mu\sigma_{к} - \sigma_{np} \\ 1 & \mu\sigma_{np} - \sigma_{к} \end{vmatrix}} = \frac{H_{Cк} - H_{Cnp}}{\sigma_{np} - \sigma_{к} + \mu(\sigma_{np} - \sigma_{к})} = \frac{H_{Cnp} - H_{Cк}}{(\sigma_{к} - \sigma_{np})(1 + \mu)}. \quad (4)$$

Определяя для серии из N экспериментальных или расчетных точек значения параметров a_i и b_i с использованием пакета Microsoft Office Excel 2007, находим средние значения по всей экспериментальной или расчетной выборке:

$$\bar{a} = \sum_{i=1}^N a_i / N; \quad \bar{b} = \sum_{i=1}^N b_i / N.$$

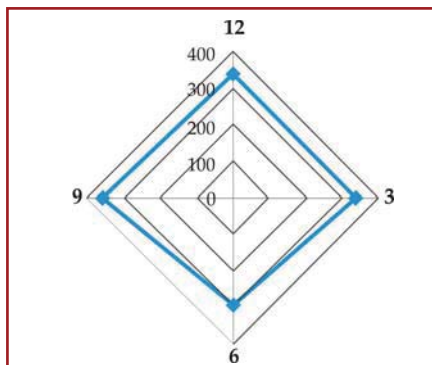


Рис.3. Лепестковая диаграмма величины КС, измеренной в продольном направлении. Для сечения C_5 на входе пятой секции АВО

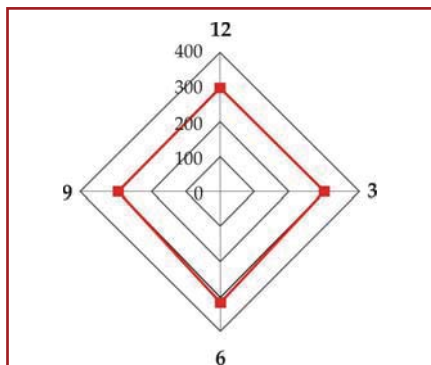


Рис.4. Лепестковая диаграмма величины КС, измеренной в кольцевом направлении. Для сечения C_5 на входе пятой секции АВО

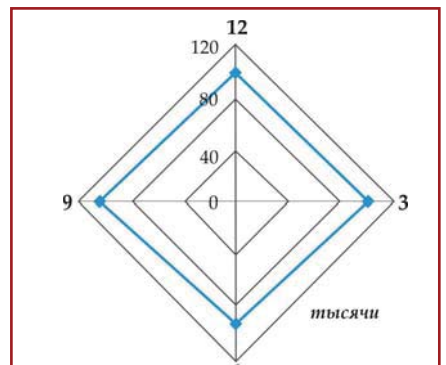


Рис.5. Лепестковая диаграмма произведений продольных и кольцевых значений КС. Для сечения C_5 на входе пятой секции АВО

Таблица 1

Результаты измерения величины КС для продольного - H_{Cnp} и поперечного направления - $H_{Cк}$ и их произведения - $H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$ для сечений C_5 и C_6 ГПА

Секция АВО	Сечение. Значения КС и их произведения	Вход				Выход			
		(Часовая ориентация)							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	сеч. C_5	12 Т.5.2	3 Т.5.3	6 Т.5.4	9 Т.5.1	12 Т.5.2	3 Т.5.3	6 Т.5.4	9 Т.5.1
	H_{Cnp} , А/м	328	337	304	356	331	286	338	330
	$H_{Cк}$, А/м	310	286	309	297	287	286	251	256
	$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	101680	96382	93936	105732	94997	81796	84838	84480
	сеч. C_6	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	357	327	316	339	316	330	326	338
	$H_{Cк}$, А/м	261	263	254	257	268	251	265	257
$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	93177	86001	80264	87123	84688	82830	86390	86866	
2	сеч. C_5	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	336	363	386	389	324	318	328	337
	$H_{Cк}$, А/м	354	360	388	363	265	264	287	257
	$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	118944	130680	149768	141207	85860	83952	94136	86609
	сеч. C_6	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	339	382	363	351	311	320	338	336
	$H_{Cк}$, А/м	308	310	319	291	262	257	268	255
$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	104412	118420	115797	102141	81482	82240	90584	85680	
3	сеч. C_5	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	336	310	311	350	340	317	343	376
	$H_{Cк}$, А/м	320	306	318	277	280	293	278	283
	$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	107520	94860	98898	96950	95200	92881	95354	106408
	сеч. C_6	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	327	321	336	345	346	329	340	366
	$H_{Cк}$, А/м	285	257	293	262	299	278	274	301
$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	93195	82497	98448	90390	103454	91462	93160	110166	
4	сеч. C_5	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	309	337	315	332	325	353	335	306
	$H_{Cк}$, А/м	312	292	304	289	273	255	300	263
	$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	96408	98404	95760	95948	88725	90015	100500	80478
	сеч. C_6	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	312	312	321	337	323	317	331	329
	$H_{Cк}$, А/м	279	266	269	266	270	247	264	263
$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	87048	82992	86349	89642	87210	78299	87384	86527	
5	сеч. C_5	12	3	6	9	12	3	6	9
	H_{Cnp} , А/м	336	335	317	358	321	357	328	310
	$H_{Cк}$, А/м	295	300	291	287	277	271	258	262
	$H_{Cnp} \cdot H_{Cк}$	99120	100500	92247	102746	88917	96747	84624	81220

продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	сеч. С ₆	12	3	6	9	12	3	6	9
	H _{С_{нр}} , А/м	311	332	312	322	315	331	347	344
	H _{С_к} , А/м	259	278	271	272	264	260	268	277
	H _{С_{нр}} · H _{С_к}	80549	92296	84552	87584	83160	86060	92996	95288
6	сеч. С ₅	12	3	6	9	12	3	6	9
	H _{С_{нр}} , А/м	321	364	351	356	362	310	372	281
	H _{С_к} , А/м	329	316	330	298	270	269	267	258
	H _{С_{нр}} · H _{С_к}	105609	115024	115830	106088	97740	83390	99324	72498
	сеч. С ₆	12	3	6	9	12	3	6	9
	H _{С_{нр}} , А/м	356	377	377	363	299	314	325	308
	H _{С_к} , А/м	281	288	331	267	255	261	244	253
H _{С_{нр}} · H _{С_к}	100036	108576	124787	96921	76245	81954	79300	77924	
7	сеч. С ₅	12	3	6	9	12	3	6	9
	H _{С_{нр}} , А/м	299	317	340	314	349	320	365	341
	H _{С_к} , А/м	301	304	282	306	324	286	276	278
	H _{С_{нр}} · H _{С_к}	89999	96368	95880	96084	113076	91520	100740	94798
	сеч. С ₆	12	3	6	9	12	3	6	9
	H _{С_{нр}} , А/м	310	325	324	310	352	349	333	313
	H _{С_к} , А/м	273	255	251	264	294	283	256	267
	H _{С_{нр}} · H _{С_к}	84630	82875	81324	81840	103488	98767	85248	83571
8	сеч. С ₅	12	3	6	9	12	3	6	9
	H _{С_{нр}} , А/м	300	330	320	307	463	403	397	377
	H _{С_к} , А/м	305	288	297	292	342	372	328	346
	H _{С_{нр}} · H _{С_к}	91500	95040	95040	89644	158346	149916	130216	130442
	сеч. С ₆	12	3	6	9	12	3	6	9
	H _{С_{нр}} , А/м	312	312	321	337	407	375	386	397
	H _{С_к} , А/м	279	266	269	266	318	314	333	319
	H _{С_{нр}} · H _{С_к}	87048	82992	86349	89642	129426	117750	128538	126643

С учетом вышесказанного уравнения (1) и (2) запишутся как:

$$\mu\bar{b}\sigma_{\kappa} - \bar{b}\sigma_{np} = H_{Снр} - \bar{a} \quad (5)$$

$$-\bar{b}\sigma_{\kappa} + \mu\bar{b}\sigma_{np} = H_{Ск} - \bar{a}. \quad (6)$$

Откуда из (5) и (6) находим значения кольцевых и продольных напряжений:

$$\sigma_{\kappa} = \frac{\begin{vmatrix} H_{Снр} - \bar{a} & -\bar{b} \\ H_{Ск} - \bar{a} & -\mu\bar{b} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \mu\bar{b} & -\bar{b} \\ -\bar{b} & \mu\bar{b} \end{vmatrix}} = \frac{\mu\bar{b}(H_{Снр} - \bar{a}) + \bar{b}(H_{Ск} - \bar{a})}{\bar{b}^2(\mu^2 - 1)}, \quad (7)$$

$$\sigma_{np} = \frac{\begin{vmatrix} \mu\bar{b} & H_{Снр} - \bar{a} \\ -\bar{b} & H_{Ск} - \bar{a} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \mu\bar{b} & -\bar{b} \\ -\bar{b} & \mu\bar{b} \end{vmatrix}} = \frac{\mu\bar{b}(H_{Ск} - \bar{a}) + \bar{b}(H_{Снр} - \bar{a})}{\bar{b}^2(\mu^2 - 1)}. \quad (8)$$

Применяя последние формулы (7) и (8), устанавливаются кольцевые и продольные напряжения.

В качестве примера расчетов по уравнениям (3) и (4) параметров a и b представлены в таблицах 2 и 3 для сечения С₅ секции 5 и сечения С₆ секции 6. Там же приведены экспериментальные значения КС и расчетные значения кольцевых и продольных значений напряжений, полученные путем отдельных расчетных изысканий МКЭ с

помощью программного комплекса ANSYS [5, 6]. А также расчетные значения напряжений, выполненные по формулам (7) и (8) на основе экспериментальных данных КС, приведенных в таблице 1.

На рисунке 6 приведены лепестковые диаграммы расчетных значений продольных (рис.6а) и кольцевых (рис.6б) напряжений для сечения S_5 пятой секции на входе АВО. Определенных МКЭ – синяя линия и через КС – красная линия. Расчеты эмпирических коэффициентов - a_i и b_i , а также их средних величин \bar{a} и \bar{b} выполнены для часовых ориентаций 12, 3, 6 и 9 по четырем продольным и четырем кольцевым значениям КС (в таблице 1 указанные значения КС выделены жирным).

Аналогичные диаграммы для сечения S_6 шестой секции на входе АВО представлены на рисунке 7. Также на рисунках 8 и 9 представлены лепестковые диаграммы на выходе АВО указанных сечений соответствующих секций.

Рисунок 6а показывает, что значения продольных напряжений найденные по КС для 12 и 6 часовой ориентации существенно превышают расчетные значения напряжений по МКЭ примерно в 1.5-2 раза. При хорошем совпадении значений для 9 и 3 часовой ориентации.

Из рисунка 6б видно, что значения кольцевых напряжений найденные по расчетам МКЭ и по КС практически совпадают для всех часовых ориентаций.

Рисунок 7 показывает, что значения продольных и кольцевых напряжений найденным по КС как правило существенно превышают расчетные значения напряжений по МКЭ для всех часовых ориентаций примерно в 1.5-2 раза. Такая же тенденция остается и для кольцевых значений напряжений 9 и 3 часовой ориентации при практически полном совпадении для 12 и 6 часовой ориентации.

Аналогичные закономерности наблюдаются и для выходных секций, где по кольцевым напряжениям наблюдается хорошее совпадение расчетных значений по МКЭ и КС для всех часовых ориентаций. По продольным напряжениям наблюдается удовлетворительное совпадение для трех из четырех часовых ориентаций.

Кроме сравнения расчетных значений напряжений, полученных по МКЭ и КС была предпринята попытка сопоставить значения напряжений, полученных по КС и по методике измерения твердости. Для двух контрольных точек 12 и 3 часовой ориентации шестой секции сечения осуществляли измерения твердости. Где расчет напряжений осуществляли согласно методике подробно описанной в [7, 8]. В таблице 4 приведены значения напряжений и расчетных параметров для двух контрольных точек сечения S_6 , шестой секции.

Анализ значений в таблице 4 показывает, что расхождение величины расчетных значений напряжений сделанных по КС и по твердометрии не превышает 6%. Это свидетельствует о том, что развитие расчетных и инструментальных

методов определения напряжений позволит дать возможность мониторинга технического состояния трубопроводной обвязки АВО.

По результатам сравнения значений напряжений, полученных методами коэрцитиметрии и МКЭ, можно сделать вывод о том, что описанная расчетная модель напряженного состояния на входе и выходе АВО хорошо коррелируется с результатами коэрцитиметрического анализа. В дополнении достоверность результатов коэрцитиметрического анализа подтверждается оценкой напряженного состояния методом твердометрии. Все приведенные результаты достоверно описывают фактическое напряженное состояние трубопроводной обвязки АВО.

Приведенные выше результаты свидетельствуют о том, что сочетание методов аналитического расчета на основе МКЭ в линейно-упругой постановке, а также экспериментальных методов твердометрии и коэрцитиметрического анализа позволяют адекватно описывать распределение кольцевых и продольных напряжений в определенных точках трубопроводной обвязки на входе АВО. Развитие предложенного подхода позволит разработать экспресс-методику анализа напряженного состояния трубопроводной обвязки АВО. При этом предполагается существенное сокращение времени полного экспресс-анализа напряженного состояния АВО конкретной компрессорной станции с помощью предлагаемых инструментальных и расчетных методов.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Результаты коэрцитиметрического анализа адекватно описывают напряженное состояние трубопроводной обвязки АВО, что подтверждается расчетной моделью построенной МКЭ.

2. Имеется незначительная угловая анизотропия измеренных значений КС.

3. Произведение величин продольных и кольцевых напряжений есть некая квазипостоянная величина, т.е. при увеличении значений продольных напряжений значения кольцевых напряжений соответственно уменьшаются и наоборот.

4. Результаты коэрцитиметрии и твердометрии приблизительно равны, расхождение между значениями напряжений не превышает 6%.

5. Проведенные исследования подтверждают возможность применения в качестве средств оценки напряженного состояния трубопроводов инструментальные методики.

6. Представлены основания для разработки и совершенствования существующих инструментальных методов оценки напряженного состояния трубопроводов и других элементов конструкций объектов ГТС.

В статье представлены результаты измерений, которые были получены в рамках проведения научно-исследовательских работ выполненных Ухтинским государственным техническим университетом для ООО «Газпром трансгаз Ухта».

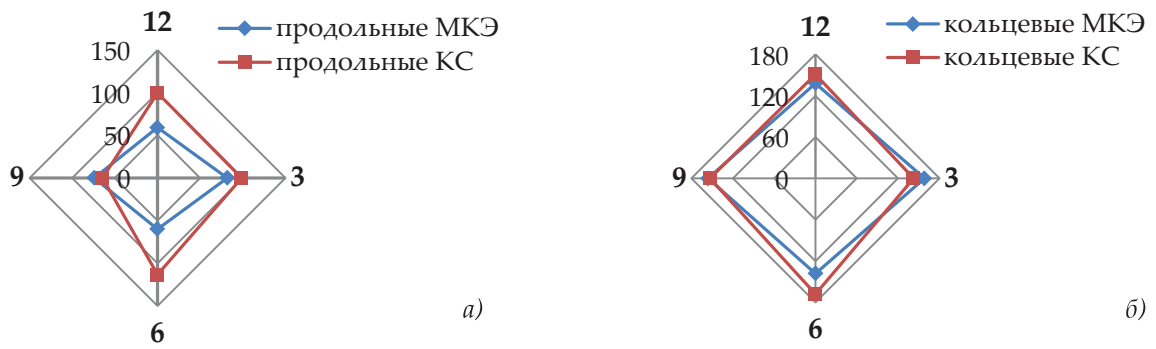


Рис.6. Продольные (а) и кольцевые (б) напряжения в сопоставлении методов МКЭ и КС, сечение C_5 пятой секции (вход АВО)

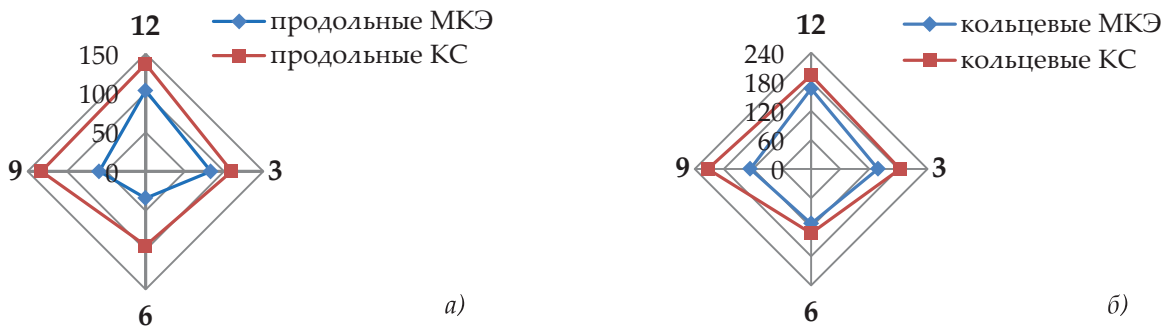


Рис.7. Продольные (а) и кольцевые (б) напряжения в сопоставлении методов МКЭ и КС, сечение C_6 шестой секции (вход АВО)

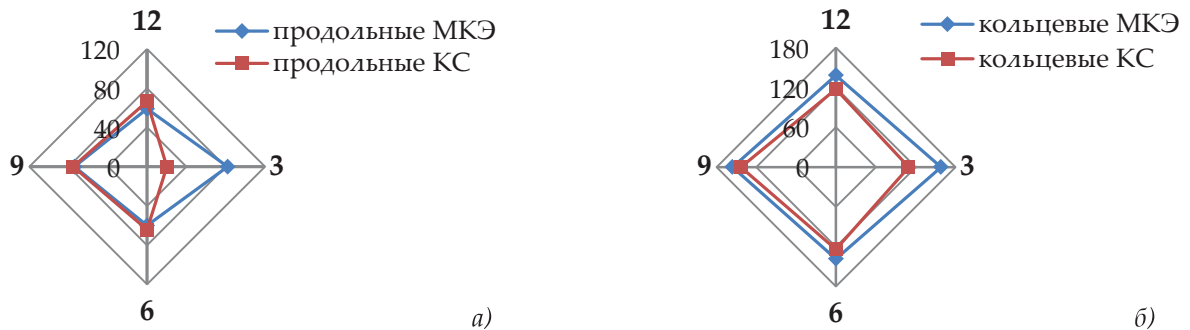


Рис.8. Продольные (а) и кольцевые (б) напряжения в сопоставлении методов МКЭ и КС, сечение C_5 пятой секции (выход АВО)

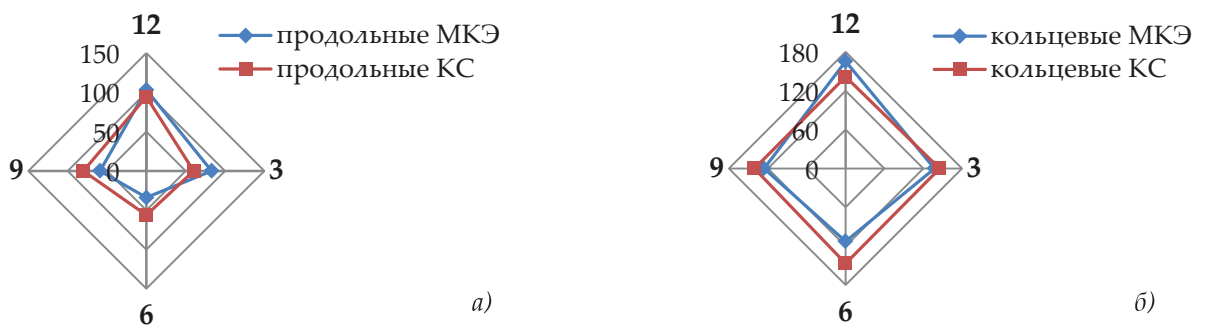


Рис.9. Продольные (а) и кольцевые (б) напряжения в сопоставлении методов МКЭ и КС, сечение C_6 шестой секции (выход АВО)

Таблица 2

Кольцевые (σ_k^i) и продольные (σ_{np}^i) значения напряжения и коэффициенты a_i , b_i и \bar{a} , \bar{b} , а так же кольцевые (H_{Ck}^i) и продольные (H_{Cnp}^i) значения КС для сечения C_5 , пятой секции АВО

На входе											
n, по порядку	Точка	Исходные параметры				Результаты расчетов					
		σ_k^i , МПа Расчет МКЭ	σ_{np}^i , МПа Расчет МКЭ	H_{Ck}^i , А/м	H_{Cnp}^i , А/м	a_i , А/м	\bar{a} , А/м	b_i , А/м· МПа	\bar{b} , А/м· МПа	σ_k^i , МПа Расчет по КС	σ_{np}^i , МПа Расчет по КС
1	Т 5.1 12 ч	138.1	59	295	336	366.6	369.4	0.52	0.615	150.8	99.6
2	Т 5.2 3 ч	158.2	82	300	335	372.7	369.4	0.46	0.615	142.4	98.7
3	Т 5.3 6 ч	138.2	60	291	317	321.1	369.4	0.26	0.615	168.2	113.3
4	Т 5.4 9 ч	155.8	74	287	358	417.3	369.4	1.22	0.615	153.3	64.5
На выходе											
1	Т 5.1 12 ч	138.1	59	277	321	303.2	341.5	0.43	0.66	117.6	66.4
2	Т 5.2 3 ч	158.2	82	271	357	387.0	341.5	0.88	0.66	109.6	20
3	Т 5.3 6 ч	138.2	60	258	328	341.0	341.5	0.79	0.66	124.1	64.2
4	Т 5.4 9 ч	155.8	74	262	320	334.9	341.5	0.55	0.66	143.1	75.5

Таблица 3

Кольцевые (σ_k^i) и продольные (σ_{np}^i) значения напряжения и коэффициенты a_i , b_i и \bar{a} , \bar{b} , а так же кольцевые (H_{Ck}^i) и продольные (H_{Cnp}^i) значения КС для сечения C_6 , шестой секции АВО

На входе											
n, по порядку	Точка	Исходные параметры				Результаты расчетов					
		σ_k^i , МПа Расчет МКЭ	σ_{np}^i , МПа Расчет МКЭ	H_{Ck}^i , А/м	H_{Cnp}^i , А/м	a_i , А/м	\bar{a} , А/м	b_i , А/м· МПа	\bar{b} , А/м· МПа	σ_k^i , МПа Расчет по КС	σ_{np}^i , МПа Расчет по КС
1	Т 6.1 12 ч	165.5	103	281	356	405.2	427.8	0.92	0.93	192.9	136.9
2	Т 6.2 3 ч	137.6	83	288	377	429.3	427.8	1.25	0.93	183.2	109.6
3	Т 6.3 6 ч	112.6	34	331	377	490.2	427.8	0.45	0.93	132.4	94.4
4	Т 6.4 12 ч	125.8	59	267	363	386.5	427.8	1.1	0.93	212.9	132.6
На выходе											
1	Т 6.1 12 ч	165.5	103	255	299	337.3	332.3	0.54	0.68	141.4	94.1
2	Т 6.2 3 ч	137.6	83	261	314	345.2	332.3	0.75	0.68	145.1	60.1
3	Т 6.3 6 ч	112.6	34	244	325	325.2	332.3	0.79	0.68	146.6	56.3
4	Т 6.4 12 ч	125.8	59	253	308	321.3	332.3	0.63	0.68	140.3	80.1

Таблица 4

Кольцевые (σ_k^i) и продольные (σ_{np}^i) значения напряжения и коэффициенты a_i , b_i и \bar{a} , \bar{b} сечения S_6 , шестой секции АВО для ориентации 12 и 3 ч.

n, по порядку	Точка	Исходные параметры				Результаты расчетов					
		σ_k^i , МПа Твердо- метрия	σ_{np}^i , МПа Твердо- метрия	H_{Ck}^i , А/м	H_{Cnp}^i , А/м	a_i , А/м	\bar{a} , А/м	b_i , А/м· МПа	\bar{b} , А/м· МПа	σ_k^i , МПа Расчет по КС	σ_{np}^i , МПа Расчет по КС
1	Т 6.1 12 ч	156.1	46.8	267	363	363	359.5	0.68	0.61	164.7	46.1
2	Т 6.2 3 ч	152.8	45.8	281	356	356	359.5	0.54	0.61	143.3	48.7

Литература

1. И.Н.Андронов, А.С.Кузьбожев, Р.В.Агинеи. Ресурс надземных трубопроводов. Часть 1. Факторы, ограничивающие ресурс. Стандартные методы испытаний. Ухта: Изд-во УГТУ, 2008.
2. И.Н.Андронов, А.С.Кузьбожев, Р.В.Агинеи. Ресурс надземных трубопроводов. Часть 2. Методы оценки кинетики усталостных и деформационных процессов. Ухта: Изд-во УГТУ, 2008.
3. М.М.Бердник, Ю.В.Александров, Р.В.Агинеи. Исследование влияния плоского напряженного состояния на изменение магнитных характеристик трубных сталей //Контроль. Диагностика. – 2011. – № 1. – С. 22-26.
4. Р.В.Агинеи, И.Н.Андронов, В.С.Корепанова. Анализ вида напряженного состояния газопроводных труб коэрциметрическим методом //Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74. – № 12. – С. 52-54.
5. В.Е.Селезнев. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов. М.: КомКнига, 2005.
6. ANSYS Basic Analysis Procedure Guide. Rel 17.1. ANSYS Inc., 2016.
7. ГОСТ 32388-2013. Трубопроводы технологические нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмическое воздействие. М.: Стандартинформ, 2016.
8. DIN 50150:2000-10. Testing of metallic materials – conversion of hardness values.

References

1. I.N.Andronov, A.S.Kuzbozhev, R.V.Aginei. The resource of above-ground pipelines. Part 1: Factors that limit the resource. Standard Test Methods. - Ukhta: Publishing house of the USTU, 2008. - 272 p.
2. I.N.Andronov, A.S. Kuzbozhev, R.V.Aginei. The resource of above-ground pipelines. Part 2: Methods for estimating the kinetics of fatigue and deformation processes. - Ukhta: Publishing house of the USTU, 2008. - 278 p.
3. M.M.Berdnik, Y.V.Aleksandrov, R.V.Aginey. Study on plane stress state influence on changing the tube steels magnetic characteristics //Testing. Diagnostics. – 2011. – No. 1. – P. 22-26.
4. R.V.Aginei, I.N.Andronov, V.S.Korepanova. Analysis of the state of the stressed state of gas-conducting pipes by the coercimetric method //Industrial laboratory. Diagnostics of materials. – 2008. – Vol. 74. – No. 12. – P. 52-54.
5. V.E.Seleznev. Basics of numerical simulation of pipeline networks. M.: KomKniga, 2005.
6. ANSYS Basic Analysis Procedure Guide. Rel 17.1. ANSYS Inc., 2016.
7. GOST 32388-2013 Processing pipes. Standards and calculation methods for the stress, vibration and seismic effects. M.: Standartinform, 2016
8. DIN 50150:2000-10. Testing of metallic materials – conversion of hardness values.

Коэрцитиметрический анализ напряженного состояния на входе и выходе аппарата воздушного охлаждения

И.Н.Андронов¹, Т.Т.Алиев², В.В.Мусонов³, И.Ф.Чупров¹

¹Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

²ОАО «Газпром трансгаз Ухта», Ухта, Россия;

³АО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород, Россия

Реферат

В статье представлен метод коэрцитиметрического анализа напряженного состояния в стенке трубопровода на входных и выходных секциях аппарата воздушного охлаждения (АВО) газоперекачивающего агрегата (ГПА) и сопоставление полученных значений продольных и кольцевых напряжений с расчетными результатами, полученными на основе метода конечных элементов (МКЭ), а также с результатами, полученными на основе экспериментального определения напряжений с помощью твердомерии.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что указанные методы коэрцитиметрического анализа позволяют адекватно описывать напряженное состояние в контрольных точках на входе и выходе АВО. Развитие указанного метода позволит осуществлять экспресс-анализ напряженного состояния в элементах конструкций действующих компрессорных станциях и других объектах газотранспортной системы (ГТС), что может дать существенный экономический эффект предприятиям газовой промышленности за счет сокращений расхода на содержание и ремонт функционирующих элементов ГТС.

Ключевые слова: коэрцитивная сила, коэрцитиметрический анализ, кольцевые и продольные напряжения, метод конечных элементов, твердометрия, трубопровод, секция аппарата воздушного охлаждения.

Hava ilə soyutma aparatının giriş və çıxışında gərginlik vəziyyətinin koersitimetrik təhlili

İ.N.Andronov¹, T.T.Əliyev², V.V.Musonov³, İ.F.Çuprov¹

¹Uxta Dövlət Texniki Universiteti, Uxta, Rusiya;

²«Qazprom transqaz Uxta» ASC, Uxta, Rusiya;

³«Qiproqazsentr» SC, Nijniy Novqorod, Rusiya

Xülasə

Məqalədə qazötürücü aqreqatın (QÖA) hava ilə soyutma aparatının (HSA) giriş və çıxış seksiyalarında boru kəmərinin divarının gərginlik vəziyyətinin koersitimetrik təhlili üsulu və sonlu elementlər üsulu (SEÜ) əsasında hesablanan nəticələr, həmçinin bərklik ölçən cihazın köməyi ilə gərginliklərin eksperimental təyini əsasında alınan nəticələr vasitəsilə uzununa və həlqəvi gərginliklərin alınmış qiymətlərinin müqayisəsi təqdim edilmişdir.

Alınmış nəticələr onu göstərmişdir ki, göstərilən koersitimetrik analiz üsulları HSA-nın giriş və çıxışındakı nəzarət nöqtələrində gərginlik vəziyyətini adekvat təsvir etməyə imkan verir. Göstərilən üsulun tətbiqi fəaliyyətdə olan kompressor stansiyalarının və qazın nəqli sisteminin (QNS) digər obyektlərinin konstruksiya elementlərində gərginlik vəziyyətinin ekspres analizini həyata keçirməyə imkan verəcəkdir ki, bu da öz növbəsində QNS-nin işlək elementlərinin təmiri və saxlanması xərclərinin azaldılması hesabına qaz sənayesi müəssisələrinə əhəmiyyətli dərəcədə iqtisadi səməərə verə bilər.

Açar sözlər: koersitiv güc, koersitimetrik təhlil, həlqəvi və uzununa gərginliklər, sonlu elementlər üsulu, bərklik ölçən cihaz, boru kəməri, hava ilə soyutma aparatının seksiyası.