

**Яровой С.Н***Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61000, Украина; e-mail:psp-nauka@yandex.ua)***Ханухов Х.М.***Научно-производственный консорциум «Изотермик»  
(Варшавское шоссе, 125, стр. 1, Москва, Россия)*

## **ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЫМОВЫХ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБ И ИХ НЕСУЩИХ БАШЕН**

Определение остаточного ресурса и долговечности металлических дымовых и вентиляционных труб и их несущих башен после длительных сроков эксплуатации является актуальной задачей для промышленных предприятий. С этой целью был проведен анализ и классификация дефектов и повреждений многих металлических дымовых и вентиляционных труб и их несущих башен. Была разработана современная методика обследования технического состояния промышленных металлических дымовых и вентиляционных труб, их несущих башен на основе материалов обследований технического состояния, действующих нормативных документов, оценке различных воздействий на сооружения. Проведена статистическая обработка и классификация дефектов и повреждений металлических дымовых труб и их несущих башен, определены предельно допустимых значения дефектов и повреждений в зависимости от категории их опасности и от категории технического состояния конструкций. Анализ дефектов и повреждений металлических дымовых труб и их несущих башен, определение их предельно допустимых значений для каждого технического состояния конструкций позволяет оценить остаточный ресурс и долговечность конструкций после длительных сроков эксплуатации.

**Ключевые слова:** металлические дымовые и вентиляционные трубы, несущие башни, дефекты и повреждения, долговечность, остаточный ресурс.

Дымовые и вентиляционные трубы, их несущие башни являются конечным звеном многих важных технологических процессов и выход их из эксплуатации, как правило, приводит к остановке всего технологического процесса, остановке производства и большим финансовым потерям.

Изначально трубы служили только для создания тяги, обеспечивающий нужный режим горения или вентиляции, что позволяло ограничиваться трубами малой высоты (рис. 1). В дальнейшем с развитием промышленности возникли более жесткие требования по защите окружающей среды от выброса в атмосферу вредных промышленных отходов.

Для снижения негативного воздействия дымовых и вентиляционных газов на состояние воздушного бассейна, стали использовать вывод предварительно очищенных газов от производственных предприятий на большую высоту.



*Рис. 1. Металлические дымовые трубы высотой 22.00м компрессорной станции «Кировоградская» магистрального газопровода.*

Это позволяло рассеивать их на значительную высоту и тем самым снизить концентрацию до безопасного уровня. Для обеспечения надежности и устойчивости высоких дымовых и вентиляционных металлических труб, вокруг труб стали возводить металлические башни (рис. 2).



*Рис. 2. Общий вид металлической башни высотой 180м цеха Аммиак ОАО «Акрон», г. В. Новгород*

Металлические дымовые и вентиляционные трубы, металлические башни вокруг них, находятся под непрерывным воздействием ветровых нагрузок, вызывающих заметные колебания и связанные с ними знакопеременные напряжения. Кроме того, эксплуатационные условия дымовых труб таковы, что внутренние поверхности находятся под влиянием высокотемпературных агрессивных газовых потоков, снижающих расчетное сопротивление металлов, а наружные поверхности - под коррозионным воздействием окружающей среды.

За время эксплуатации происходит накопление дефектов и повреждений, которые образуются, в основном, из-за динамического ветрового воздействия, агрессивных компонентов рабочей среды, высокотемпературных и механических воздействий. При образовании существенных дефектов и повреждений происходит интенсификация разрушения несущего ствола дымовой трубы и несущей башни в целом. Это может привести к тяжелым последствиям для производства и рабочего персонала, жизнеобеспечения населения и территории, в случае отключения жизненно важных производств.

Оценка технического состояния элементов конструкций металлических труб и

башен на основании результатов обследования после длительных сроков эксплуатации, прогнозирование его в дальнейшей эксплуатации является очень актуальной задачей. На основании полученных результатов возможно регулирование технического состояния металлических дымовых и вентиляционных труб, металлических башен.

В литературе практически отсутствуют данные о повреждаемости металлических дымовых труб и несущих башен. Также отсутствуют статистические данные по дефектам и повреждениям конструкций этих высотных сооружений.

Для сбора данных о повреждаемости металлических дымовых труб и несущих башен была проведена статистическая обработка дефектов и повреждений на основании заключений о техническом состоянии и экспертиз промышленной безопасности. Заключение о техническом состоянии и экспертизы промышленной безопасности металлических дымовых и вентиляционных труб, несущих металлических башен выполнены авторами совместно с сотрудниками Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко «ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко» (г. Москва), научно-производственного консорциума «НПК Изотермик» (г. Москва), института «Харьковский Промстройинипроект» (г. Харьков).

Были выполнены обследования технического состояния и экспертизы промышленной безопасности более 100-та металлических дымовых и вентиляционных труб и более 20-ти металлических несущих башен. Проведен анализ полученных данных всей совокупности основных дефектов и повреждений металлических дымовых труб и несущих башен.

Основными дефектами и повреждениями металлических дымовых труб являются:

- разрушение защитного лакокрасочного покрытия более чем 30% площади всей поверхности ствола (растрескива-

ние, шелушение, расслоение и отсутствие антикоррозионного покрытия) (тип дефекта 1, рис. 5);

- трещины в основном металле, швах и околошовной зоне (тип дефекта 2, рис. 4);
- подрезы, непровары, шлаковые включения и поры сварных соединений элементов труб (тип дефекта 3, рис. 4);
- коррозионные износ стенки ствола трубы (равномерный) более 10% толщины стенки (рис. 3, тип дефекта 4 на рис. 4);
- локальные и язвенные (включая прогары) коррозионные повреждения стенки ствола трубы более 10% (тип дефекта 5, рис. 4);
- ослабление или повреждение болтовых соединений (включая анкерные болты) (тип дефекта 6, рис. 4);
- повреждение ребер, траверс и плит опорных узлов трубы (тип дефекта 7, рис. 4);
- повреждение элементов металлических опор под трубу (тип дефекта 8, рис. 4);
- потеря устойчивости ствола трубы (тип дефекта 9 на рис. 4);
- трещины в бетоне фундамента под трубой, разрушение защитного слоя бетона с оголением и коррозией арматуры (тип дефекта 10, рис. 4).

Количество металлических дымовых труб в процентах из общей выборки, в которых выявлены дефекты и повреждения стволов определенных типов, показаны на рис. 4.

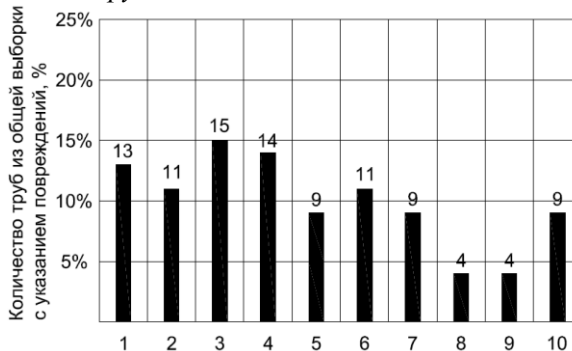
Основными дефектами и повреждениями футеровки металлических дымовых труб являются:

- вертикальные и наклонные трещины в футеровке (тип дефекта 1, рис. 7);
- локальные разрушения футеровки (тип дефекта 2, рис. 7);
- выпучивание кладки футеровки (рис. 5, тип дефекта 3, рис. 7);
- повреждение или отсутствие теплоизоляции (тип дефекта 4, рис. 7);
- повреждение слезниковых уступов (тип дефекта 5, рис. 7);

- зазоры между звеньями футеровки (тип дефекта 6, рис. 7).



Рис. 3. Определение коррозионного износа дымовой трубы.



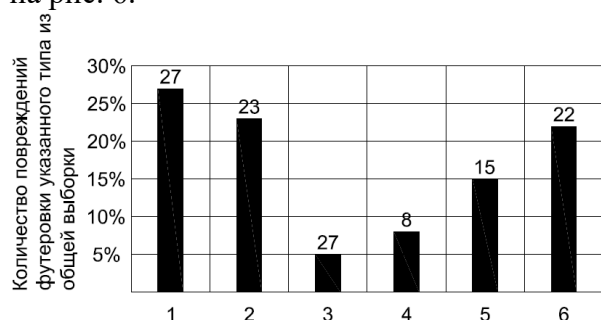
Типы дефектов и повреждений  
Рис. 4. Повреждаемость металлических стволов дымовых труб.



Рис. 5. Выпучивание (потеря устойчивости) кладки футеровки дымовой трубы.



Количество металлических дымовых труб в процентах из общей выборки, в которых выявлены дефекты и повреждения футеровки определенных типов, показаны на рис. 6.



Типы дефектов и повреждений

Рис. 6. Повреждаемость футеровки металлических дымовых труб.

Основными дефектами и повреждениями металлических решетчатых башен являются:

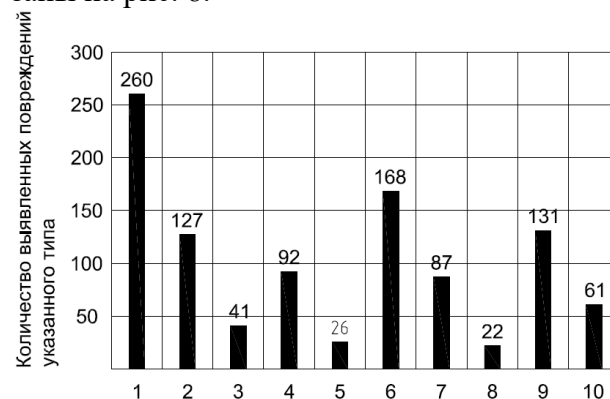
- разрушение защитного лакокрасочного покрытия более чем 30% площади поверхности элементов решетки (растрескивание, шелушение, расслоение и отсутствие антикоррозионного покрытия) (рис. 7, тип дефекта 1 на рис. 8);
- элементы решетки вырезаны при эксплуатации (тип дефекта 2, рис. 8);
- местные погиби элементов решетки башни (тип дефекта 3, рис. 8);
- коррозионный износ элементов бани, превышающий 10% сечения (тип дефекта 4, рис. 8);
- межщелевая коррозия элементов башни (тип дефекта 5, рис. 8);
- трещины в сварных швах, разрушение сварных швов крепления элементов решетки (тип дефекта 6, рис. 8);
- повреждение упоров из плоскости дымовой трубы, большие зазоры между трубой и упорами (тип дефекта 7 на рис. 8);
- потеря устойчивости фасонки опорных раскосов башни (рис. 8, тип дефекта 8, рис. 8);
- деформация несущих и ограждающих элементов башни, деформация анкерных болтов (тип дефекта 8, рис. 8);

10) трещины в бетоне фундаментов, разрушение бетона омоноличивания несущей металлической балки под башню (тип дефекта 9, рис. 8).



Рис. 7. Коррозионный износ элементов несущей башни до 10%.

Количество выявленных дефектов и повреждений определенных типов элементов металлических несущих башен показаны на рис. 8.



Типы дефектов и повреждений

Рис. 8. Повреждаемость несущих конструкций вытяжных башен.

На протяжении жизненного цикла в металлических дымовых трубах и башнях зарождаются и развиваются большинство дефектов и повреждений. В процессе развития дефекты и повреждения могут переходить из одной категории опасности в другую (из категории «В» в категорию «Б» и далее в «А»), изменяя техническое состояние конструкций. Категории технического состояния конструкций, как правило, изменяются от нормального (категория I) до удовлетворительного (категория II), и в дальнейшем до ограниченно работоспособного (категория III) и аварийного (категория IV).

Авторами статті розробтан стандарт саморегулюючої організації СТО СРО ЕТМП -03-2016 «Методика обстеження технічного стану промислових димових і вентиляційних труб» [4]. В даному стандарті на основі даних результатів обстежень металічних

димових труб і несущих башен [9, 10, 11, 12], аналізу нормативних документів [2, 3, 8], визначені предельні допустимі значення дефектів і пошкоджень в залежності категорії їх небезпечності, і від категорії технічного стану конструкцій (табл. 1).

Таблиця 1 - Основні дефекти і пошкодження металічних димових труб і їх предельно допустимі значення

№ п/п	Дефекти або пошкодження	Предельно допустимі значення при технічному стані				
		нормальне	удовлетворительное	непригодное для нормальной эксплуатации	аварийное	
		Категории опасности дефектов				
1	2	«В»	4	«Б»	«А»	
1	<b>Фундаменты и основания</b>					
1.1.	Деформации оснований для труб при высоте Н, м:	Крен, i	Средняя осадка (Δ, мм)	Средняя осадка (Δ, мм)	Устанавливаются расчетом	При значениях, превышающих расчетные
	≤ 100	0,005	≤ 400	≤ 400		
	100 < Н ≤ 200	1/(2Н)	≤ 300	≤ 300		
	200 < Н ≤ 300	1/(2Н)	≤ 200	≤ 200		
	≤ 300	1/(2Н)	≤ 100	≤ 100		
1.2.	Трещины на наружной поверхности железобетонного фундамента (горизонтальные)	Не допускаются		Не допускаются	До 1,0 мм	Свыше 1,0 мм
1.3.	Тоже, вертикальные с раскрытием a <sub>ср</sub>	Выше уровня грунтовых вод (УГВ) a <sub>ср</sub> ≤ 0,3 мм		Выше УГВ a <sub>ср</sub> ≤ 0,5 мм	Выше УГВ a <sub>ср</sub> ≤ 1,0 мм	Выше УГВ a <sub>ср</sub> > 0,1 мм
		Ниже УГВ a <sub>ср</sub> ≤ 0,1 мм		Ниже УГВ a <sub>ср</sub> ≤ 0,3 мм	Ниже УГВ a <sub>ср</sub> ≤ 0,5 мм	Ниже УГВ a <sub>ср</sub> > 0,5 мм
1.4.	Выколы бетона с оголением арматуры	Не допускаются		На площади до 1 м <sup>2</sup> и глубиной до 30 мм; коррозия арматуры не более 5%	На площади до 2 м <sup>2</sup> и глубиной до 50 мм; коррозия арматуры не более 20%	На площади более 2 м <sup>2</sup> и глубиной более 50 мм; коррозия арматуры более 20%
1.5.	Участки крупнопористого бетона с недостаточным количеством цементного камня из-за некачественного уплотнения при бетонировании	Не допускаются		Суммарными размерами до 1/8-1/6 длины окружности и толщиной до 30 мм	Суммарными размерами до 1/6-1/4 длины окружности и толщиной до 50 мм	Суммарными размерами более 1/4 длины окружности и толщиной 50 мм

1	2	3	4	5	6
2.	<b>Ствол металлической дымовой трубы и элементы несущих башен</b>				
2.1.	Отклонение оси ствола Q от вертикали	$f \leq 0,006-0,008H$	$f \leq 0,006-0,008H$	$f > 0,006-0,008H$	$f \gg 0,006-0,008H$
2.2.	Трещины в основном металле и сварных швах	Не допускаются			Имеют место
2.3.	Выпуклости и вмятины на поверхности ствола и элементов башни, отклонение от проектных размеров	Не более 1% размера диаметра трубы в рассматриваемом сечении	Устанавливается расчетом		Значения, превышающие расчетные
2.4.	Коррозионный износ стенки трубы и элементов башни в опорной части, в зоне фланцевых соединений, в местах крепления светофорных площадок и лестниц	Не допускается	До 15% толщины стенки в одном сечении при толщине стенки не менее 4 мм	Устанавливается расчетом	Более 50% толщины стенки в одном сечении
2.5.	Сквозные разрушения и прогары стенки трубы	Не допускаются		Не допускается	Имеют место
2.7.	Горизонтальное смещение верха трубы от нормативной ветровой нагрузки	Не более $(1/75)H$		Устанавливается расчетом	Значения, превышающие расчетные
2.8.	Прогары опорных колец под футеровку	Не допускаются			Имеют место
2.9.	Разрушение антикоррозионных покрытий	Не допускается	До 40% площади покрытия	Более 40% площади	100% площади покрытия
2.10.	Повреждение горизонтальных скользящих упоров (трубы в башне)	Не допускается	Не более одного	Не более двух на разных уровнях	Два и более на одном уровне, более двух на разных уровнях

Анализ дефектов и повреждений металлических дымовых труб и несущих башен, определение их предельно допустимых значений для каждого технического состояния конструкций позволяет оценить долговечность и остаточный ресурс конструкций после длительного срока эксплуатации и продлить сроки эксплуатации.

Полученные данные о техническом состоянии металлических дымовых и вентиляционных труб по результатам технической диагностики дают возможность оценить надежность и долговечность после длительного срока эксплуатации, разработать рекомендации по ремонту и дальнейшей нормальной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дымовые трубы. Теория, практика конструирования и сооружения / Под редакцией С.В. Сатянова. М.: Стройиздат, РФ, 2001. – 150с.
2. Защита строительных конструкций от коррозии. Свод правил / СП 28.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. М.: - Минрегионразв., РФ, 2012.-123с.
3. Металлические конструкции / Г.С. Ведеников и коллектив авторов. - М.: Стройиздат, 1998. - 758с.
4. Методика обследования технического состояния промышленных дымовых и вентиляционных труб. Стандарт саморегулирующей организации / СТО СРО ЭТМП 03-2016. М.: - Энерготеплометаллургопроект., РФ, 2016. – 86с.

5. Нагрузки и воздействия. Свод правил / СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. М.: - Минрегионразв., РФ, 2011.-81с.
6. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы. Справочник проектировщика / Ф.П. Дужих, В.П. Осоловский, М.Г. Ладыгичев. М.: Теплотехник, РФ, 2004. – 233с.
7. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Свод правил СП 13-102-2003. - М. - Минрегионразв., РФ, 2003. - 81с.
8. Стальные конструкции. Свод правил СП 16.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. - М.: - Минрегионразв., РФ, 2011. – 172с.
9. Яровой С.Н. Надежность и жизнеспособность металлических дымовых труб компрессорных станций магистрального газопровода «Кременчуг-Ананьев-Черновцы-Богородчаны» после длительного срока эксплуатации / С.Н. Яровой, А.И. Горовый // Расчет и проектирование металлических конструкций. Сб. научн. тр. М.: - МГСУ. 2013. - С.251-256.
10. Яровой С.Н. Эксплуатационная пригодность металлических дымовых труб печей цеха №1 ОАО «Тагмет» после длительного срока эксплуатации / И.И. Ведяков, М.И. Гукова, С.Н. Яровой // Строительная механика и расчет сооружений. Научно-технический журнал. №2. М.: - ЦНИИСК им. Кучеренко, 2016. – С.7-12.
11. Яровой С.Н. Резервы несущей способности дымовых труб турбоагрегатов компрессорных станций «Заднепровская», «Кировоградская», «Южнобугская» магистрального газопровода «Кременчуг - Ананьев-Черновцы - Богородчаны» / С.Н. Яровой, А.И. Горовый // Научный вестник строительства. - Харків: ХНУБА, 2013. –Вип. 71. – С.225-230.
12. Яровой С.Н. Надежность и жизнеспособность металлической башни на крыше здания Госпрома после длительного срока эксплуатации / С.Н. Яровой, А.И. Горовый // Научный вестник строительства. - Харків: ХНУБА, 2015. – Вип. 80. – С.90-92.
13. EN 1991-1-4. Eurocode 1: Action on structures – Part 1-4. General actions. Wind action. / Brussels: CEN, 2002. –p.151.
14. ISO 4354: 1997. Wind action on structures / Switzerland, 1997. –p.143.
15. Zuransky J.A. Obcizenia wiatrem budowa i konstrukcji / J.A.Zuransky/ -Warszawa, 1978. -240p.

**Яровий С.М., Ханухов Х.М. ГРАНИЧНІ ЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ І УШКОДЖЕНЬ МЕТАЛЕВИХ ДИМОВИХ І ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ТРУБ ТА ЇХ НЕСУЧИХ ВЕЖ.** Визначення залишкового ресурсу та довговічності металевих димових і вентиляційних труб і їхніх башт після довгих термінів експлуатації є актуальною задачею для промислових підприємств. З цим метою було проведено аналіз і класифікація дефектів і пошкоджень багатьох металевих димових і вентиляційних труб і їхніх несучих веж. Була розроблена сучасна методика обстеження технічного стану промислових металевих димових і вентиляційних труб, їх несучих веж на основі матеріалів перевірок технічного стану, діючих нормативних документів, оцінки різних впливів на споруди. Проведена статистична обробка та класифікація дефектів і пошкоджень металевих димових труб та їх несучих башт, визначені гранично допустимі значення дефектів і пошкоджень залежно від категорії їх безпеки та від категорії технічного стану конструкцій. Аналіз дефектів і пошкоджень металевих димових труб та їх несучих башт, визначення їх гранично допустимих значень для кожного технічного стану конструкцій дозволяє оцінити залишковий ресурс та довговічність конструкцій після довгих термінів експлуатації.

**Ключові слова:** металеві димові та вентиляційні труби, несучі вежі, обстеження, дефекти та пошкодження, довговічність, залишковий ресурс.

**Yaroviy S., Khanukhov H. M. LIMIT VALUES OF DEFECTS AND DAMAGE OF METAL SMOKE AND VENTILATION PIPES AND THEIR BEARING TOWERS.** Determination of the residual life and durability of metal smoke and ventilation pipes, bearing towers after long periods of operation is an actual task for industrial enterprises. For this purpose, the analysis and classification of defects and damage of many metal smoke and ventilation pipes and their bearing towers was carried out. A modern technique was developed for examining the technical condition of industrial metal smoke and ventilation pipes carrying towers. The technique is developed on the basis of materials of technical condition tests of pipes and towers after a long period of operation, operating normative documents, evaluation of various effects on

pipe elements. Statistical processing of defects and damages was performed to collect data on the damageability of metal chimneys and load-bearing towers, performed on the basis of conclusions on the technical condition and industrial safety assessments. The data on the damageability of metal smoke and ventilation pipes, bearing towers in service for 30-50 years or more, and the values of the maximum permissible values of defects and damages have been determined. Analysis of defects

and damages of metal chimneys and bearing towers, determination of their maximum permissible values for each technical condition of the structures allows to estimate the residual life and durability of structures after a long service life.

**Keywords:** metal smoke and ventilation pipes, bearing towers, inspection, defects and damage, durability, residual life.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-91-1-129-135

УДК 624.012

**Яровой С.Н**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61000, Украина; e-mail: psp-nauka@yandex.ua)*

### УЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ УСИЛЕНИИ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ТРЕЩИНОПОДОБНЫМИ ДЕФЕКТАМИ

Температурные воздействия и циклические нагрузки могут приводить к появлению трещин в металле и сварных швах металлических дымовых труб. При усилении ствола дымовой трубы посредством приварки накладки происходит процесс формирования системы сварочных напряжений. Необходимо проанализировать суммирование сварочных и внешних (активных) напряжений с учетом концентраторов напряжений от трещиноподобных повреждений. С помощью программно-вычислительного комплекса Selena-Results построена конечно элементная модель трубы с трещиной в сварном шве и определены напряжения с учетом концентратора напряжений (трещины). Была разработана методика учета суммирования сварочных и силовых напряжений в месте усиления трубы. В результате исследования получены формулы, учитывающие остаточные напряжения при приварке накладок на основании суммирования сварочных и внешних напряжений и учетом концентраторов напряжений. Полученные результаты позволяют более точно учитывать сварочные напряжения при усилении труб с трещинами и увеличивают надежность дымовых труб при эксплуатации.

**Ключевые слова:** металлические дымовые трубы, трещины в металле, усиление, сварочные и силовые напряжения.

Температурные воздействия и циклические нагрузки могут приводить к появлению трещин в металле и сварных швах элементов металлических дымовых труб и несущих башен. Коррозионное воздействие окружающей среды и дымовых газов значительно ускоряют скорость развития трещин.

До образования трещины напряжения по сечению трубы распределялись равномерно и траектории главных напряжений прямолинейны. После образования трещины в металле или сварном шве ствола трубы линии главных напряжений искривляются и сгущаются, что характеризует повышение напряжений в месте образования трещины, и приводит к появлению двух

главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , т.е. возникновению плоского напряженного состояния [1, 3]. В местах образования трещин характер искривления линий главных напряжений аналогичен, как и при образовании отверстий. Но сгущение траекторий главных напряжений более ярко выражено, что приводит к образованию больших значений напряжений на краях трещин (рис. 1).

Радиус кривизны  $r$  на краю трещины очень маленький. Коэффициент концентрации напряжений  $\alpha_\sigma$  зависит от радиуса кривизны  $r$  – чем меньше радиус кривизны, тем выше коэффициент концентрации. На краю трещины коэффициент концентрации напряжений достигает 6-9.