

C.A.N. Dias Probabilistic Structural Analysis Applied To Spring Leaf Suspension Assembly Of Semi-Trailer Tank Vehicle. A.B.Hougaz, C.A.N. Dias. Sas Pauls: 17th International Congress of Mechanical Engineering, 2003. 8 Print. 7. MilanSaga, Lenka Jakobovichova Simulation Of Vertical Vehicle Non-Stationary Random Vibrations Considering Various Speeds. Milan Saga, Lenka Jakobovichova. Transport z.84, 2014. 6 Print. 8. J.Dai, W.Gao, N. Zhang Random displacement and acceleration responses of vehicles with uncertainty. J.Dai, W.Gao, N. Zhang. Journal of Mechanical science and technology, 2011. 8 Print. 9. H. Badi, F.Bernardin, M. Bouteldja, M. Fogli, C.H. Lamarque Sensitivity and reliability analysis of articulated heavy vehicle. H. Badi, F.Bernardin, M. Bouteldja, M. Fogli, C.H. Lamarque. Leuven, Belgium Eurodyn, 2011. 9 Print. 10. V.Rouillard On the Non-Gaussian Nature of random vehicle vibrations. V.Rouillard. Progressing of the world congress on engineering. Vol II, London U.K., 2007. 6 Print. 11. Li-Xin Guo, Li-Ping Zhang Vehacle Vibration Analysis in changeable speeds solved by pseudo excitation. Li-Xin Guo, Li-Ping Zhang. Mathematical Problems in Engineering, 2009. 9 Print. 12. M. Dimenberg, K.S. Kolesnikov Vibrations in technique. Vol. 3. F.M. Dimenberg, K.S. Kolesnikov. Moscow: Engineering, 1980. 545 Print. 13. Larin A.A. Prediction and reliability analysis of engineering structures. AA Larin. Kharkiv: NTU "KPI", 2011. 132 Print. 14. R.B. Richards The finite element method in the theory of shells and plates. R.B.Richards. Riga: Zinatne, 1988. 282 Print. 15. Hrytsan S.A., Larin A.A. Investigation of dynamic stress state in turbo machinery blades by the combined expansion in eigen modes stresses and displacements. Hrytsan S.A., Larin A.A. Kharkiv: Vestnik NTU "KPI". Scientific Papers. The maticissue "Dynamics and Strength of Machines", 2011. № 52. 54-62 Print.

*Поступила (received) 20.11.2014*

УДК 004.942 : 62.251

**С.В.ЛЕЛЕКА**, студент, НТУ «ХПИ»;

**А.А. ВОДКА**, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

## **ОБЛАЧНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР SOLIDWORKS**

Разработан программный продукт, который представляет собой дополнение для SolidWorks, позволяющее шаблонизировать и автоматизировать процесс выполнения различных типов анализа. Реализована возможность облачного и удаленного проведения выбранного анализа. Актуальность облачных расчетов заключается в том, что они существенно экономят ресурсы компьютера и избавляют от необходимости устанавливать дополнительное программное обеспечения (CAD/CAE системы). В статье приводится основное описание разработанного продукта, а так же технологии его создания и обоснование выбора этих технологий. Описаны основные действия необходимые для при проведении каждого из трех доступных типов анализа (локальный, удаленный и облачный). Возможности двух типов анализа (локальный и облачный) разработанного продукта показаны в тестовом расчете по определению собственных частот и форм ротора турбогенератора ТГВ-200М, целью которых является определение резонансных частот. На основе проведенного тестирования показаны преимущества облачных расчетов.

**Ключевые слова:** облачная компьютерная система, SolidWorks, анализ.

© С. В. Лелека, А.А. Водка, 2014

## **Введение**

Системы конечно-элементного (КЭ) анализа уже давно стали неотъемлемым инструментом при проведении инженерных расчетов различной сложности, использование компьютерных моделей, вместо реальных конструкций существенно снижает затраты и время необходимое на проведение проектирования.

Автоматизация расчетов позволяет еще больше сэкономить время исследователя. В данной работе особое внимание уделяется шаблонизации расчетов в программном пакете (ПК) SolidWorks. В представленной программе реализовано три способа проведения расчетов: локальный, удаленный и облачный. Под локальным подразумевается проведения расчета на том же компьютере, где установлена клиентская часть. Удаленный расчет – проведение расчета на другом компьютере, подключенным по локальной сети. Ограничением для удаленного анализа является то, что большинство компьютеров в сети находятся за прокси серверами или используют модем для доступа в сети, из-за чего установить соединение с удаленным компьютером на прямую невозможно, поэтому удаленный расчет рассчитан на компьютеры, находящиеся в одной локальной сети. Решением данной проблемы является использование промежуточного веб сервиса, посредством которого осуществляется связь между двумя компьютерами. Такой тип проведения расчета называется облачным. Облачные и удаленные расчеты позволяют существенно экономить ресурсы компьютера.

Демонстрация возможностей и тестирования работы программного пакета выполнено в примере расчета собственных частот и форм колебаний ротора турбогенератора ТГВ-200М.

## **1 Организация компьютерной системы**

ПК SolidWorks основан на библиотеке .NET, поэтому разработанная программа написана на языке программирования, который работает с этой библиотекой. Широкое распространение в практике получили такие языки: VB.NET, C++(NET), C#, J# и т.д. Для написания данного приложения использовался язык C#, который был выбран из-за C – подобного синтаксиса (в отличие VB.NET), технологии LINQ (LanguageIntegratedQuery), которая упрощает работу с запросами к базе данных (БД), также данный язык активно развивается, за последние десять лет было выпущено пять (пятая последняя) версий, язык прост, типобезопасен и объектно-ориентирован [1, 2, 5]. Для проектирования интерфейса пользователя использовалась технология WPF (WindowsPresentationFoundation) [4]. WPF предоставляет набор средств для создания визуального интерфейса, включая язык XAML (ExtensibleApplicationMarkupLanguage).

Системы подобные представленной в данной статье можно создавать не только для CAD SolidWorks, но и для других CAD/CAE систем, SolidWorks был выбран из-за наличия API (ApplicationProgrammingInterface), который хорошо документирован [6] и облегчает взаимодействие программного про-

дукта с SolidWorks [7]. Данный программный продукт разрабатывался в среде интегрированной разработки (IDE) семейства Microsoft Visual Studio, инструмент для разработки был выбран исходя из функционала, по отладке, построению и тестированию программ. Для написания веб сервиса, необходимого для работы с облачным анализом ASP.NET [8]. База данных использована в приложении – MS SQL Express. На рис. 1, *a* показано главное окно данного приложения.

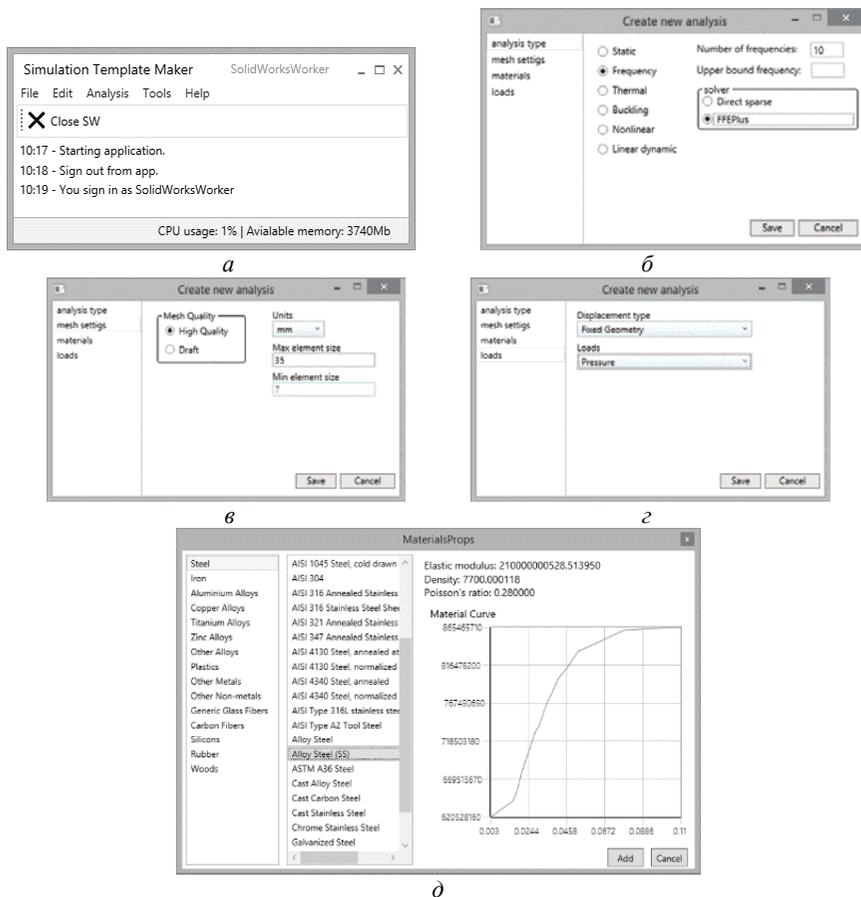


Рисунок 1 – Некоторые из представлений программы: *a* – главное окно; *b* – выбор типа анализа; *c* – настройки КЭ сетки; *d* – задание граничных условий; *e* – выбор типа материала

При проведении локального анализа нужно придерживаться следующей последовательности действий: указать тип анализа (см. рис. 1, *b*); задать настройки КЭ сетки (см. рис. 1, *c*); выбрать тип материала (см. рис. 1, *d*), список

которых подгружается из файла `solidworksmaterials.sldmat`, который является xml файлом, где записаны все названия материалов, их характеристики, а также данные для построения графика кривой деформирования материала, который также будет показан при его выборе; при помощи утилиты PID Collector указать координаты тех частей модели где будут заданы граничные условия (см. рис. 1, *г*); после проведения данных этапов пользователь должен выбрать модель, для которой будет проводится анализ и указать его имя, после чего все настройки сохранятся в xml файл, а также создается папка, название которой совпадает с названием анализа, куда и помещается файл с настройками и выбранная модель. Таким образом мы получаем некий шаблон, в своем роде макрос для проведения анализа, главной особенностью которого является гибкость в плане изменения настроек анализа. Для проведения нового расчета достаточно изменить нужные поля в файле. Методы чтения настроек, а также запуск расчета реализованы в отдельной библиотеке, скомпилированной в dll файл. Библиотека анализа не привязана конкретно к данной системе, что делает возможным использования ее в других программах написанных на языке C#. При завершении анализа программа создает подкаталог с названием, совпадающим с названием анализа, в каталоге указанном в настройках как рабочая папка и сохраняет результаты в формате eDrawing (`eprt`, `easm`), что дает возможность при помощи COM – интерфейса eDrawing, визуализировать результаты в самой программе.

Для проведения удаленного расчета на первом этапе необходимо установить соединение с сервером. Протоколом по которому осуществляется связь клиентского приложения и серверного является TCP, работа с которым описана в [3]. Для проверки доступности сервера используется ICMP – запрос (пинг), отправка данного запроса реализована в самом приложении, с помощью класса Ping, из-за чего нет необходимости использовать сторонние утилиты. Сервер считается доступным, если было получено сообщение ответа по ICMP, после чего и устанавливается связь между сервером и клиентом. Порт, используемый для передачи данных между клиентом и сервером – 8085, взаимодействие между ними происходит с помощью передачи сообщений по TCP. В приложении реализована передача как текстовых данных так и бинарных данных. Посредством передачи текстовых команд, клиент управляет сервером.

При проведении удаленного анализа в настройках программы обязательно нужно указать ip адрес удаленной машины, что можно сделать двумя способами – ввести ip адрес вручную (рис. 2, поз. 1), или же выбрать из списка, в котором представлены адреса всех компьютеров подключенных к сети (см. рис. 2, поз. 2); рабочую папку на удаленной машине (см. рис. 2, поз. 4); указать путь к файлу с материалами (см. рис. 2, поз. 5); а также в результате необходимости указать отправлять ли модель на удаленный компьютер (см. рис. 2, поз. 3) и ожидать ли результаты (см. рис. 2, поз. 6). Как и в случае с настройками для анализа, настройки удаленного доступа записываются в xml

файл. Для осуществления удаленного доступа на удаленной машине должна быть установлена программа сервер, которая и будет осуществлять связь с клиентом. Принцип работы удаленного анализа таков: сначала происходит проверка соединения с указанным в настройках IP адресом, в случае успешного соединения на данный адрес отправляется файл с настройками анализа, а также, если было указано, модель для расчета; после принятия всех необходимых данных программа сервер запускает анализ, после которого, если было отмечено (см. рис. 2, поз. 6), результаты отправляются на клиент и сервер переводится в режим прослушивания подключений по TCP.

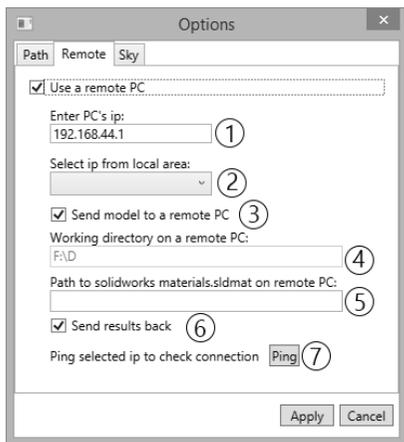


Рисунок 2 – Окно сетевых настроек

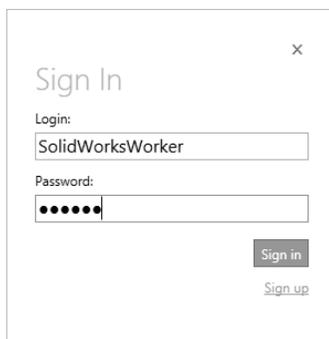


Рисунок 3 – Окно входа в приложение



Рисунок 4 – Принцип работы облачного анализа

Для использования облачного расчета необходимо создать учетную запись пользователя, что делается в самом приложении, после ее создания необходима авторизация (рис. 3), это дает доступ к запуску облачного анализа. На машине, где будет производиться расчет, как и в случае с удаленным анализом, должно быть запущено приложение сервер, на котором также необходимо пройти авторизацию. Общий принцип работы таков: необходимо вы-

брать или создать новый анализ, после чего идет загрузка настроек анализа, модели и файла с материалами на сервер, а также добавляется новая информация в БД; программа сервер в свою очередь каждые несколько секунд проверяет БД на наличие нового анализа, после обнаружения такового производится расчет, результаты которого отправляются на сервер, а также изменяется информация в БД (структура БД – рис. 4); программа клиент скачивает результаты с сервера и открывает окно просмотра результатов. На диаграмме развертывания UML (рис. 4) показан данный принцип работы, на рис. 5 – пример окна результата.

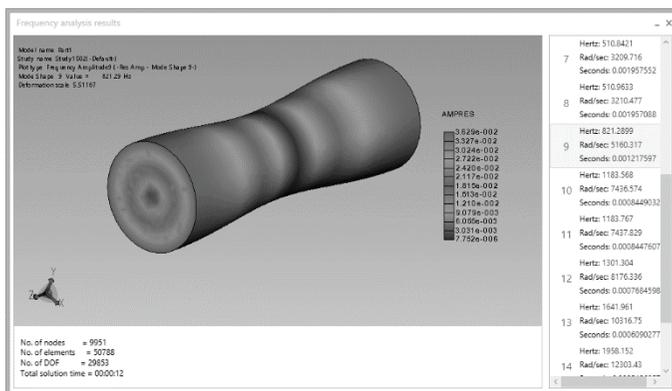


Рисунок 5 – Окно просмотра результатов

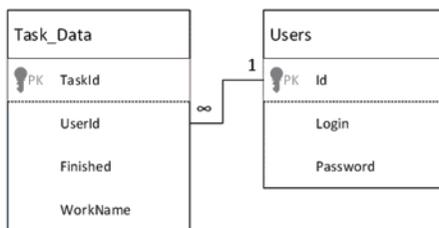


Рисунок 6 – Структура БД

## 2 Тестовый расчет по определению собственных частот и форм ротора турбогенератора ТГВ-200М

Геометрическая модель ротора была построена на основе его чертежа, взятого из книги [9]. Модель представляет собой сборку, состоящую из бочки ротора, медной обмотки и двух бандажей которые удерживают обмотку ротора. Параметрическая модель ротора изображена на рис. 5, при проведении расчета использовались две модели ротора с разными значениями параметра L1. С помощью разработанной компьютерной системы был проведен анализ собственных частот и форм ротора. Анализ проводился для определения возможности возникновения резонанса, поскольку рабочая частота ротора со-

ставляет 50Гц, то резонансными будут частоты кратные ней. В качестве результатов представлена таблица (табл. 1) с собственными частотами обеих роторов и изображения (рис. 7) некоторых форм из данных частот.

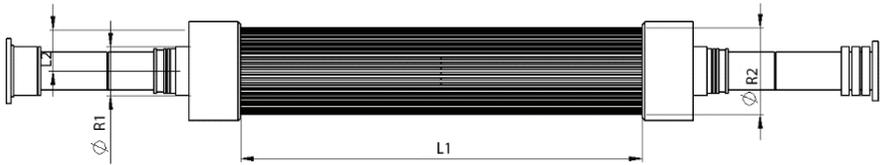


Рисунок 7 – Параметрическая модель ротора

Таблица 1 – Результаты расчетов

Номер формы	Модель 1		Модель 2	
	Частота, Hz	Частота, rad/sec	Частота, Hz	Частота, rad/sec
1	31.81	199.87	33.867	212.79
2	90.157	566.47	94.512	593.83
3	145.19	912.26	145.18	912.17
4	165.91	1042.4	174.47	914.82
5	170.01	1068.2	265.59	1668.8
6	260.39	1637.5	298.96	1878.4
7	279.6	1757.1	393.11	2470

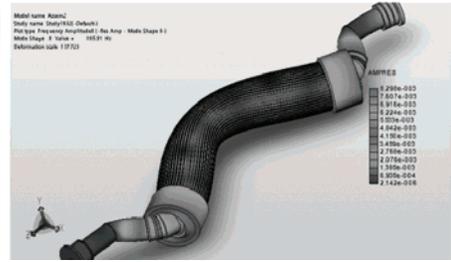
Для тестирования работы облачного расчета использовалась та же модель ротора. Характеристики компьютеров, на которых производилось тестирование, представлены в табл. 2. Компьютер 1 (к1) выполнял роль клиента, а компьютер 2 (к2) был сервером. Выбор к2 в качестве сервера был обоснован тем, что хоть его процессор и имеет всего 2 ядра, в отличии от к1, но ОЗУ у к2 двухканальная, что увеличивает ее быстродействие, объем и частота ОЗУ тоже больше чем у к1. Объем и скорость ОЗУ при проведении расчетов в ПК SolidWorks очень важен, особенно при разбиении модели на КЭ. Как видно из результатов тестирования, время затраченное к2 на расчет меньше на 20.75%, что свидетельствует о том, что функция облачного расчета полностью удовлетворяет требованиям.

Таблица 2 – Характеристики компьютеров

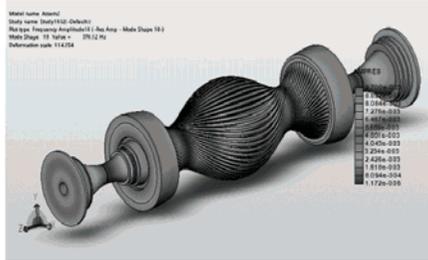
Компьютер 1			Компьютер 2		
Процессор	ОЗУ	Время расчета (с)	Процессор	ОЗУ	Время расчета (с)
IntelCorei7 – 2670QM – 2.2GHz (overclock – 2.8 GHz) – 4 физических ядра, 8 – логических	4 Gb DDR3 – 1333MHz	665	IntelCorei5 – 3210M – 2.5GHz (overclock – 3.1GHz) – 2 физических ядра, 4 – логических	6 Gb DDR3 – 1600MHz	527



а



б



в



г

Рисунок 7 – Формы колебаний: а – форма при частоте 31,81 Hz; б – форма при частоте 165,91 Hz; в – форма при частоте 376,12 Hz; г – форма при частоте 625,62 Hz

## Выводы

Разработана компьютерная система, позволяющая шаблонизировать и автоматизировать процесс проведения расчетов в ПК SolidWorks. Данная система дает возможность проведения расчетов как на локальной машине так и на удаленной. Для тестирования системы был проведен локальный и удаленный расчет собственных частот и форм ротора турбогенератора ТГВ-200М.

**Список литературы:** 1. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5, 6-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 1312 с. 2. C# 5.0 in a nutshell, fifth edition / J. Albahari, B. Albahari. – O'Reilly Media, Inc., 1062 p. 3. TCP / IP Sockets in C#: Practical Guide for Programmers. / D. Makofske, M. J. Donaho, and K. L. Calvert. – Elsevier Inc., 2004. – 188 p. 4. M. MacDonald Pro WPF 4.5 in C#. Windows Presentation Foundation in .NET 4.5. – Apress, 2012. – 1095 p. 5. Stack Overflow: [online resource] 2014 stack exchange inc. URL : <http://stackoverflow.com/> 6. 2014 SolidWorks API Help: [online resource] 1995-2014 DassaultSystemes. URL: <http://help.solidworks.com> 7. LukeMalpass. SolidWorks 2009 API: Advanced Product Development. – AngelSix, 2009. – 246 p. 8. Freeman A. Pro ASP.NET 4.5 in C#. 5th edition. – Apress, 2013. – 1198 p. 9. Проектирование турбогенераторов: учеб. пособие для вузов / В. И. Извеков, Н.А. Серихин, А.И. Абрамов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 440 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Troelsen E. Yazyk programmirovaniya C# 5.0 i platforma .NET 4.5. Moscow: OOO «I.D. Vil'yams», 2013. 1312 Print. 2. C# 5.0 in a nutshell, fifth edition. J. Albahari, B. Albahari. O'Reilly Media, Inc., 1062 Print. 3. TCP / IP Sockets in C#: Practical Guide for Programmers. D. Makofske, M. J. Donaho, and K. L. Calvert. Elsevier Inc., 2004. 188 Print. 4. M. MacDonald Pro WPF 4.5 in C#. Windows Presentation Foundation in .NET 4.5. Apress, 2012. 1095 Print. 5. Stack

Overflow: [online resource] 2014 stack exchange inc. URL : <http://stackoverflow.com/> 6. 2014 SolidWorks API Help: [online resource] 1995-2014 DassaultSystemes. URL: <http://help.solidworks.com> 7. LukeMalpass. SolidWorks 2009 API: Advanced Product Development. AngelSix, 2009. 246 Print. 8. Freeman A. Pro ASP.NET 4.5 in C#. 5th edition. Apress, 2013. 1198 Print. 9. Proektirovanie turbogeneratorov: ucheb. posobie dlya vuzov V. I. Izvekov, N.A. Serihin, A.I. Abramov. Moscow: Izdatel'stvo MEI, 2005. 440 Print.

*Поступила (received) 22.09.2014*

УДК 621.643.8

**Г.І. ЛЬВОВ**, д-р техн. наук, професор НТУ «ХПІ», Харків  
**В.Г. МАРТИНЕНКО**, студент НТУ «ХПІ», Харків

## **ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОРТОТРОПНОЇ В'ЯЗКОПРУЖНОСТІ СКЛОПЛАСТИКУ НА ПРИКЛАДІ РЕМОНТНОЇ НАКЛАДКИ МАГІСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ**

Описано чисельно-аналітичні дослідження напружено-деформованого стану ділянки трубопроводу з в'язкопружною ремонтною накладкою в плоскій постановці. Розроблено математичну модель ортотропної в'язкопружності. З метою розв'язання математичної моделі запропоновано метод, заснований на використанні квадратурних формул для приблизного обчислення інтегралів та аналітичному вирішенні неоднорідних диференційних рівнянь. Результати розрахунків представлено у вигляді графіків розподілу переміщень та напружень за радіусом та у часі. Зроблено висновок щодо доцільності врахування ортотропії в'язкопружних властивостей матеріалу при вирішенні задач в'язкопружності.

**Ключові слова:** ремонтний бандаж, ортотропна в'язкопружність, інтегральне рівняння, квадратурна формула

**Вступ.** В наш час, коли розвинута промисловість є запорукою економічного та політичного успіху країни, природний газ як джерело тепла є дуже цінною енергетичною складовою багатьох сфер індустрії. Окрім того ця корисна копалина широко використовується в опалюванні та теплопостачанні житлової інфраструктури. З метою її транспортування на великі відстані використовуються магістральні трубопроводи, основним матеріалом для виготовлення яких є сталь. В процесі їх експлуатації через корозію металу та механічні пошкодження в їхніх стінках виникають локальні порівняно з основними розмірами конструкції дефекти, які з точки зору механіки є концентраторами напружень [1]. Такі концентратори, враховуючи великий внутрішній тиск у трубопроводі, можуть викликати швидке зростання дефектів, виникнення тріщин та, як результат, руйнування усєї конструкції, що є дуже небезпечним для життя людей та економічного стану країни явищем. Для запо-

© Г.І. Львов, В.Г. Мартиненко, 2014