

УДК 622.323

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ БЛОКА МАНИФОЛЬДОВ ДЛЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

С. О. Киреев, М. В. Корчагина, В. Н. Степанов, А. В. Биль

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Представлена конструкция трейлер-манифольда для гидроразрыва пласта (ГРП), рассматриваются 3D модель, компоновочная схема. Проведено исследование прочности элементов конструкции трейлер-манифольда, рассчитанного на десять насосных установок, с навесным оборудованием в составе комплекса гидроразрыва пласта. Рассматриваются рабочий и транспортный режимы. Получены диаграммы напряженно-деформированного состояния конструкции, позволяющие произвести оценку запаса прочности. Сделан вывод о достаточности коэффициента запаса прочности по пределу текучести для данного вида оборудования.

Ключевые слова: трейлер-манифольд, несущая балка-манифольд, ГРП, нефтегазовая скважина, напряженно-деформированное состояние.

STRENGTH ASSESSEMENT OF THE ELEMENTS OF CONSTRUCTION OF A MANIFOLD UNIT FOR HYDRAULIC FRACTURING

S. O. Kireev, M. V. Korchagina, V. N. Stepanov, A. V. Bil

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The paper presents the design of the trailer-manifold for hydraulic fracturing, considers the 3D model, layout scheme, and studies the strength of the elements of the trailer-manifold structure for ten pumping units complete with attachments as part of the hydraulic fracturing complex. The working and transport modes are considered. The diagrams of the stress-strain state of the structure are obtained, which allow estimating the safety margin. The conclusion is made about the sufficiency of the coefficient of safety margin for yield strength for this type of equipment.

Keywords: trailer manifold, carrier beam-manifold, hydraulic fracturing, oil and gas well, stress-strain state.

Введение. Более 60 % нефтегазовых скважин с течением времени претерпевают гидромеханическое воздействие с целью увеличения или восстановления дебета [1, 2]. В отдельных случаях ГРП проводят сразу же после окончания функционирования скважины. При разработке сланцевых месторождений нефти и газа гидроразрыв является единственным методом на начальном этапе получения промышленного потока флюида. Для ГРП необходим комплекс оборудования, способный связать пескосмесительные агрегаты (блендеры) с насосными установками и подать на устье скважины смесь под высоким давлением 3–5].

Выполнена компоновка трейлер-манифольда без традиционной рамы с подключением 10 насосных установок рабочим давлением 105 МПа и расходом не менее 16 м³/мин. Роль несущей рамы с надстройками, седельно-сцепным устройством и тележкой шасси выполняет труба манифольда низкого давления. Для подтверждения правильности выбора конструктивного решения выполнен прочностной расчет конструкции на максимальные нагрузки при транспортировании трейлер-манифольда. Общий вид трейлер-манифольда представлен на рис. 1, общий вид рамы манифольда низкого давления с надстройкой — на рис. 2.

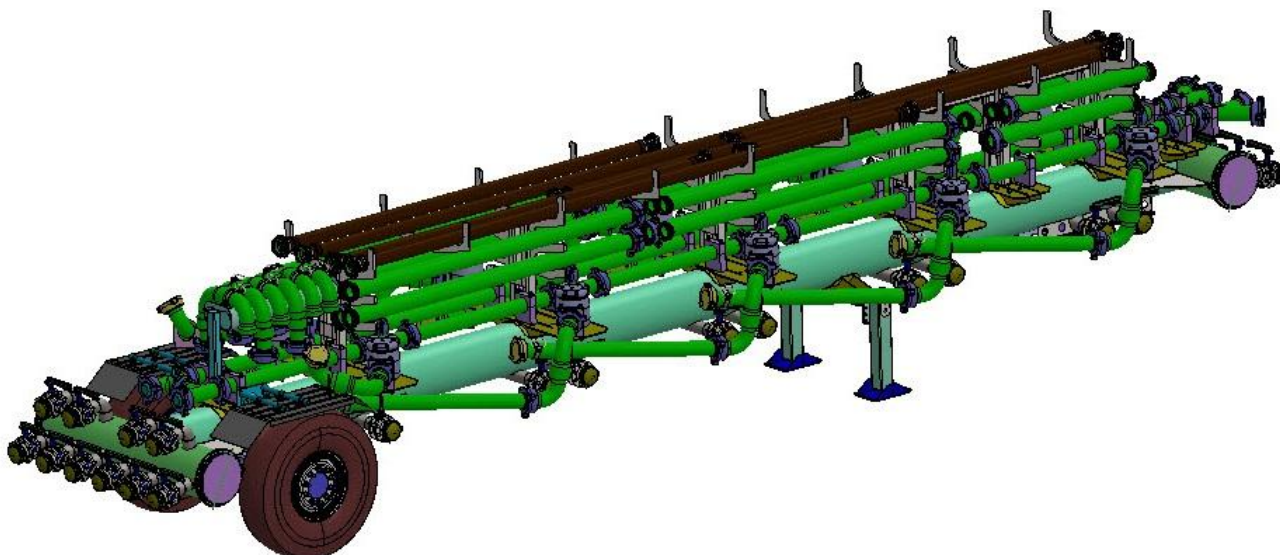


Рис. 1. Общий вид трейлер-манифольда

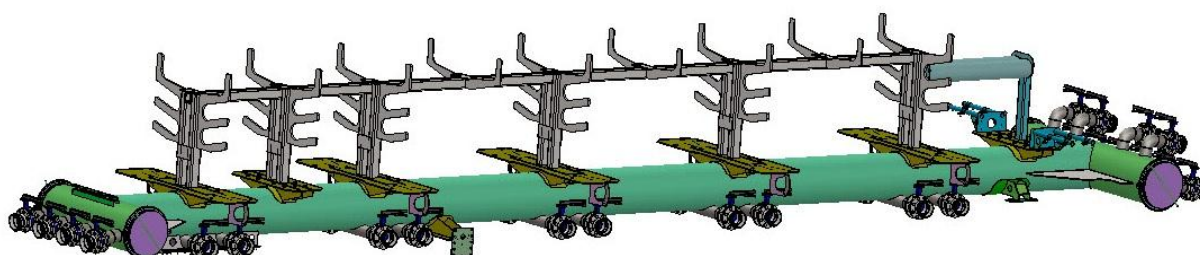


Рис. 2. Общий вид рамы трейлер-манифольда

Постановка задачи. Задача исследования — выполнить оценку прочности элементов конструкции балки с учетом массовых характеристик манифольда высокого давления, труб высокого давления, шарнирных соединений, рукавов низкого давления.

Манифольд представляет собой цельносварную конструкцию, несущим элементом которой является труба низкого давления 426×10 09Г2С ТУ 14-3-1128-2000. К трубе приварены опоры: колесного моста, седельно-сцепного устройства, аутригеров, стоек, а также вмонтированы отводы на насосные установки в виде трубчатых элементов 114×6 09Г2С ТУ 14-3-1128-2000 [6, 7].

Схема нагружения и закрепления несущей конструкции представлена на рис. 3. В расчете рабочего режима R1 коэффициент динамичности по вертикали равен 1,0, в транспортном режиме R2, когда конструкция перемещается и закреплена с помощью седельно-сцепного устройства, коэффициент динамичности по горизонтали и по вертикали равен 1,3. Масса манифольда высокого давления составляет $G_{мвд} = 3880$ кг, шарнирных соединений высокого давления — $G_{шс} = 860$ кг, труб — 2560 кг, рукавов — 480 кг.

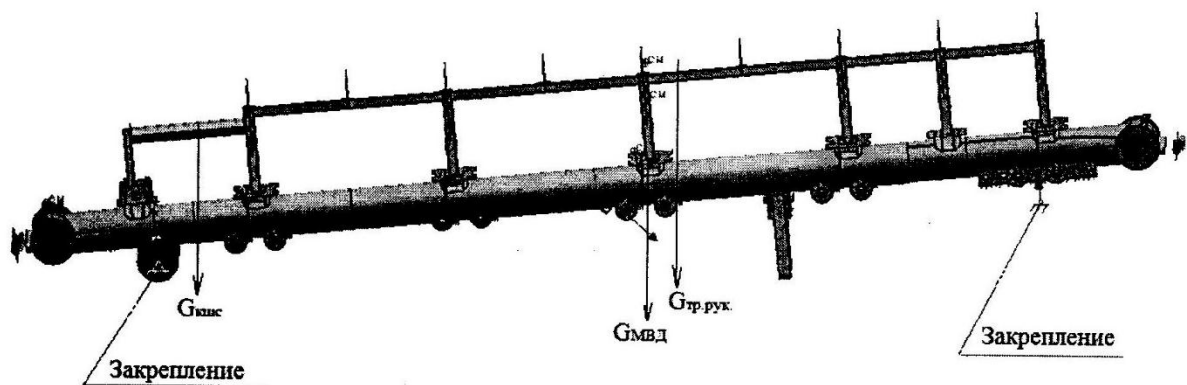


Рис. 3. Схема нагружения и закрепления несущей конструкции;
 $G_{\text{тр.рук.}}$ — масса труб высокого давления и рукавов низкого давления

Конструкция смоделирована методом конечных элементов с использованием программного обеспечения Femap, оперирующего оболочечными атрибутами QUAD4 (491338 элементов), RBE2 и RBE3 (5832 элемента сварки), TETRA (10482 элемента), Mass (34 элемента). BEAM (28 элементов). Общее число элементов составило 507766, узлов — 497015. Расчёт напряженно-деформированного состояния конструкции проводился в конечно-элементном пакете NX Nastran методом линейного статического анализа [8–10]. Минимальное значение предела текучести материала конструкции — 345 Мпа. Напряженно-деформированное состояние конструкции и ее элементов представлено на рис. 4–7.

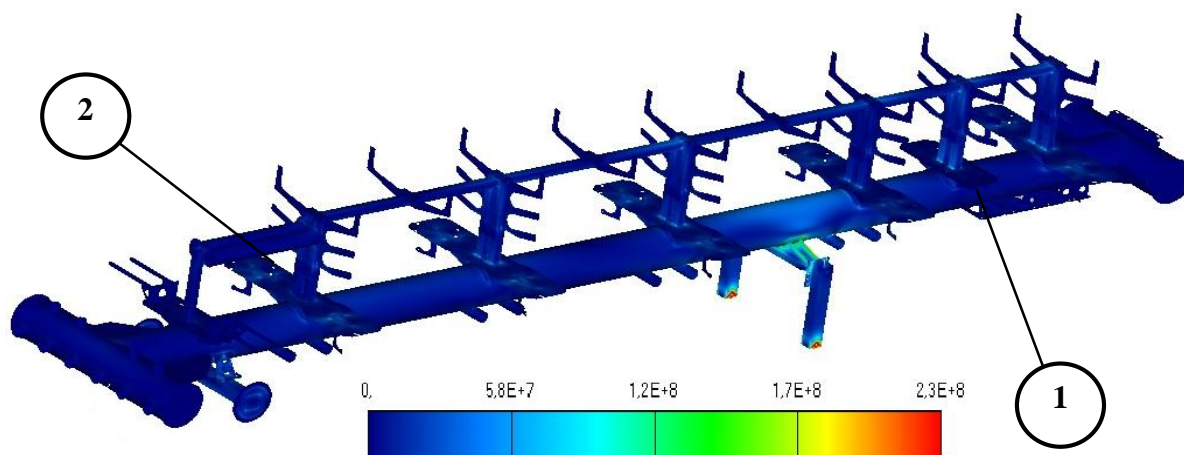


Рис. 4. Эквивалентные напряжения по Мизесу, Па, балки в рабочем режиме;
 1 и 2 — конструктивные элементы для расчета

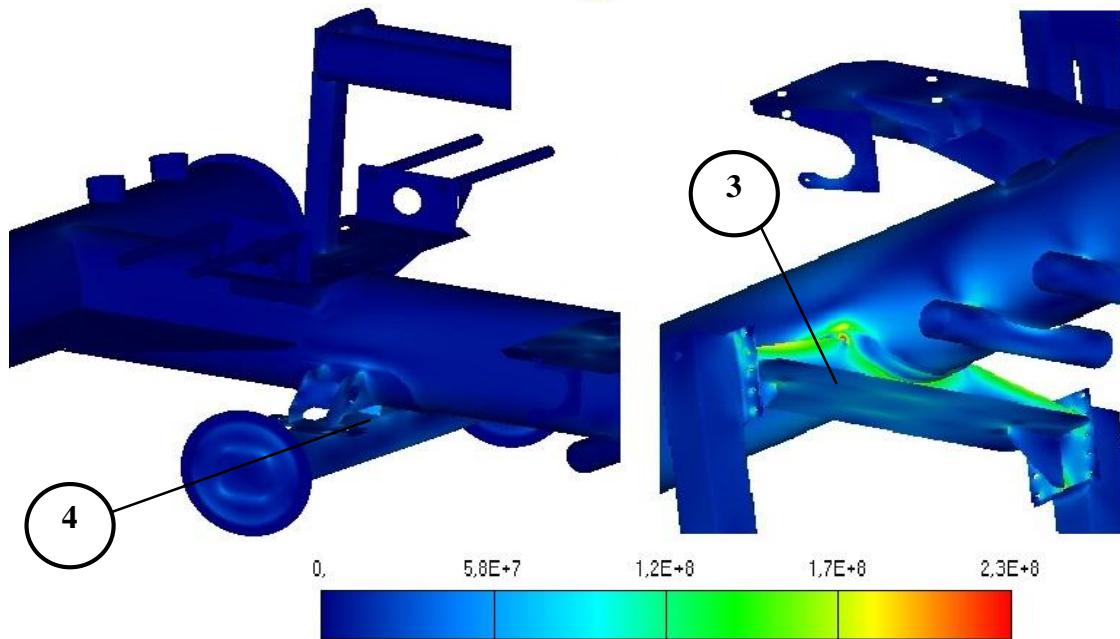


Рис. 5. Эквивалентные напряжения по Мизесу, Па, конструктивных элементов 3 и 4 балки в рабочем режиме

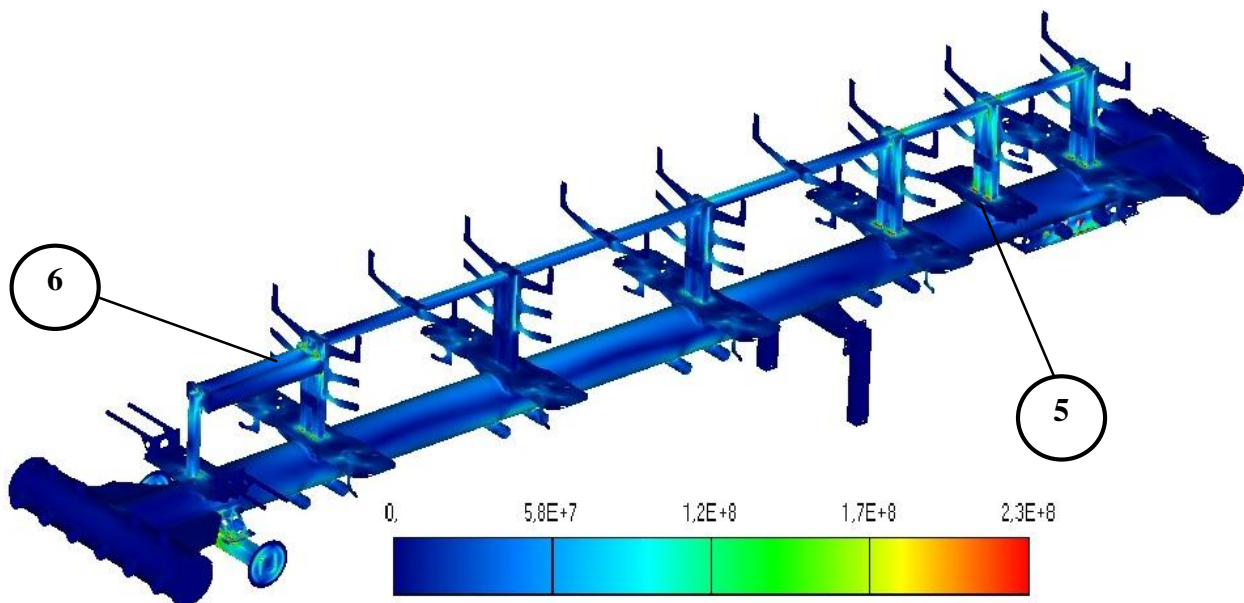


Рис. 6. Эквивалентные напряжения по Мизесу, Па, балки в транспортном режиме; 5 и 6 — конструктивные элементы для расчета

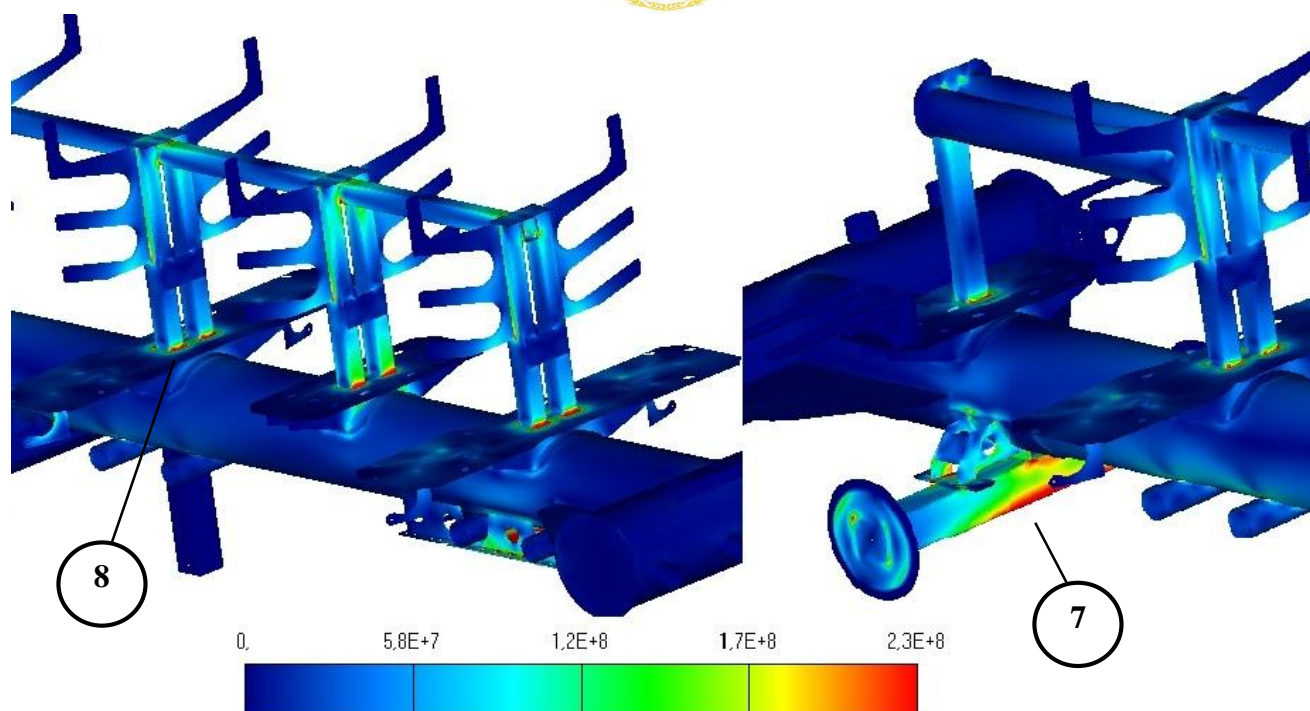


Рис. 7. Эквивалентные напряжения по Мизесу, Па, конструктивных элементов 7 и 8 балки в транспортном режиме

Расчетные минимальные коэффициенты запаса прочности по пределу текучести элементов конструкции сведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные эквивалентные напряжения и коэффициенты запаса прочности по пределу текучести элементов конструкции

Материал элемента	Режим нагружения	Максимальные эквивалентные напряжения, МПа	Коэффициент запаса прочности	Расположение элемента
Профиль 100x80x6 ГОСТ 30245 С345-3 ГОСТ 27772-88	R1	73	4,70	Рис. 4, позиция 1
	R2	204	1,70	Рис. 6 п.5
Лист 8,0 ГОСТ 19903- 74С345 ГОСТ 27772-88	R1	20	17,00	Рис. 4 п.2
	R2	219	1,57	Рис. 6 п.6
Труба 450x8-09Г2С ТУ 14-3-1128-2000	R1	196	1,76	Рис. 5 п.3
	R2	16	21,00	Рис. 7 п.8
Профиль 160x160x8 Б ГОСТ 25577-83 345-12 ГОСТ 19281-89	R1	25	13,00	Рис. 5 п.4
	R2	235	1,47	Рис. 7 п.7

Заключение (вывод). При расчетных режимах нагружения элементы рассматриваемой конструкции имеют достаточный коэффициент запаса прочности по пределу текучести, а именно $n_T = 1,47$ при необходимом значении этого параметра $[n_T] \geq 1,5$.

Библиографический список

1. Блажевич, В. А. Справочник мастера по капитальному ремонту скважин / В. А. Блажевич, В. Г. Уметбаев. — Москва : Недра, 1985. — 208 с.
2. Большой справочник инженера нефтегазодобычи. Разработка месторождений. Оборудование и технологии добычи / под ред. У. Лайонза и Г. Плизга. — Санкт-Петербург : Профессия, 2009. — 952 с.
3. Практическое руководство по технологии бурения скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые / А. Г. Калинин, А. З. Левицкий, А. Г. Мессер, Н. В. Соловьев. — Москва : Недра-Бизнесцентр, 2001. — 450 с.
4. Муровенко, В. А. Буровые машины и механизмы. В 2 т / В. А. Муровенко, А. Д. Муровенко, В. А. Муровенко. — Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. — 464 с.
5. Специальные машины и механизмы, применяемые в технологических процессах проводки, обустройстве и эксплуатации нефтяных скважин. Спецагрегаты и спецмашины / А. М. Маланченко, Ш. М. Салимов, А. А. Иксанов [и др.]. — Уфа : УИТиС АНК «Башнефть», 2002. — 536 с.
6. Николаев, Г. А. Сварка в машиностроении. Справочник : в 4 т. / Г. А. Николаев. — Москва : Машиностроение, 1978. — 504 с.
7. СА 03-004-07 (СТП 10-04-02) Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Серия 03. Расчеты на прочность сосудов и аппаратов / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. — Москва : Ростехэкспертиза, 2007. — 278 с. — URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293784/4293784618.pdf> (дата обращения: 15.05.2021).
8. Шимкович, Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д. Г. Шимкович. — Москва : ДМК Пресс, 2003. — 448 с.
9. Рычков, С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran / С. П. Рычков. — Москва : ДМК Пресс, 2013. — 784 с.
10. Try Simcenter Femap with Nastran for Free / Siemens [сайт] — URL : www.plm.automation.siemens.com/plmapp/fe/en_us/online/Shop#ACTION (дата обращения 15.05.2021).

Об авторах:

Киреев Сергей Олегович, заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, kireevso@yandex.ru

Корчагина Марина Валерьевна, доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ms.korchaginamv@mail.ru



Степанов Валентин Николаевич, старший преподаватель кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), all_udh@list.ru

Биль Анастасия Владимировна, студент кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), avbill@mail.ru

About the Authors:

Kireev, Sergey Olegovich., Head of the Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Dr.Sci., Professor, kireevso@yandex.ru

Korchagina, Marina V., Associate Professor, Don State Technical University, Cand. Sci., Associate Professor (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), ms.korchaginamv@mail.ru

Stepanov, Valentin N., Senior Lecturer, Don State Technical University, (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), all_udh@list.ru

Bil, Anastasiya V., Student, Don State Technical University, (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), avbill@mail.ru