

*Сергун Я.Е.,
студент магистратуры
1 курс, факультет «Институт нефтегазового инжиниринга и цифровых
технологий»
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА РОТОРНОГО УСТЬЕВОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА

***Аннотация:** Статья посвящена повышению надёжности и ресурса уплотнительного узла вращающегося преентора ПВ-230×35 (роторного устьевого герметизатора), наиболее уязвимым элементом которого является уплотнительная манжета. Выполнен патентный анализ конструкций вращающихся преенторов за 2015–2024 гг. и обоснована замена традиционной резины ИПР-1352 на полиуретан СКУ-7Л. Методом конечно-элементного моделирования в программном комплексе Ansys Workbench исследована работа манжеты под давлением 35 МПа в диапазоне температур от 20 до 80 °С с оценкой перемещений, эквивалентных напряжений и коэффициента запаса прочности. Установлено, что резина ИПР-1352 разрушается при рабочих нагрузках, тогда как полиуретан СКУ-7Л обеспечивает минимальные деформации и коэффициент запаса прочности более 4 при нормальных условиях и около 2,1 при 80 °С. Сделан вывод о технической обоснованности модернизации, повышающей износостойкость уплотнения, расширяющей диапазон рабочих температур и снижающей риск аварийных выбросов.*

Ключевые слова: роторный устьевого герметизатор, вращающийся превентор, уплотнительная манжета, эквивалентные напряжения, конечно-элементное моделирование, коэффициент запаса прочности.

Annotation: The article addresses improving the reliability and service life of the sealing unit of the PV-230×35 rotating preventer (rotating control device), whose most vulnerable element is the sealing sleeve. A patent analysis of rotating preventer designs for 2015–2024 was carried out, justifying the replacement of conventional IPR-1352 rubber with SKU-7L polyurethane. Using finite element modeling in Ansys Workbench, the sleeve was studied under a pressure of 35 MPa over a temperature range from 20 to 80 °C, evaluating displacements, equivalent stresses, and the safety factor. It was found that IPR-1352 rubber fails under operating loads, whereas SKU-7L polyurethane provides minimal deformation and a safety factor above 4 under normal conditions and about 2.1 at 80 °C. The study concludes that the proposed modernization is technically justified, enhancing seal wear resistance, expanding the operating temperature range, and reducing the risk of blowouts.

Key words: rotating control device, rotating preventer, sealing sleeve, equivalent stresses, finite element modeling, safety factor.

Вращающийся превентор ПВ-230×35 (роторный устьевого герметизатор) предназначен для герметизации устья бурящейся скважины вокруг вращающейся колонны труб при управляемом давлении, предотвращая выбросы нефти и газа. Надежность уплотнительного узла превентора критически важна, однако типовая конструкция обладает недостаточным ресурсом: уплотнительная манжета из резины ИПР-1352 быстро изнашивается при работе. Износ уплотнения ведет к утечкам бурового раствора или газа по стволу превентора, снижая эффективность противодействия и повышая риск аварийного открытого выброса. Таким образом, наиболее уязвимым элементом вращающегося превентора является уплотнительная манжета [1].

Целью настоящей работы является повышение надежности и ресурса уплотнительного узла путем замены материала манжеты с традиционной резины ИПР-1352 на полиуретан СКУ-7Л. Для обоснования решения проведены следующие действия: патентный анализ конструкций вращающихся преенторов, анализ причин отказов оборудования, разработано техническое предложение по модернизации уплотнителя, а также выполнено численное прочностное моделирование манжеты в программном комплексе Ansys.

Проведен обзор патентной активности в области вращающихся преенторов (роторных устьевых герметизаторов) за 2015–2024 гг. По основным регионам выявлено, что лидером по числу патентов является Китай – 1180 патентов (~61% от общего количества). США занимают второе место (520 патентов, ~26%), за ними следуют страны Евросоюза (~10%) и с большим отрывом Россия (~2%).

Приоритетные направления разработок связаны с совершенствованием материалов и конструкций уплотнительных элементов преенторов. Наиболее перспективными признаны многокомпонентные эластомерные уплотнения и использование полиуретанов вместо каучука. В патенте US8991484B2 предложен роторный устьевой герметизатор с полиуретановым уплотнением, обеспечивающим значительно более высокий ресурс и износостойкость. Эти решения подтверждают актуальность применения полиуретана СКУ-7Л в качестве материала уплотнения [2].

Для количественной оценки эффективности предлагаемого материала выполнено численное моделирование работы уплотнительной манжеты в среде Ansys Workbench. Модель была нагружена давлением 35 МПа, закреплена по отверстиям крепления и исследована в диапазоне температур от 20 до 80 °С.

Для более точного расчета создадим конечно-элементную сетку, при генерации которой получено 2106693 элементов и 3035580 узлов (рисунок 2).

Фиксируем отверстия под болты, без возможности перемещения, моделируя закрепление внутри. На внешние стенки уплотнителя действует давление в 35 МПа. (рисунок 3).

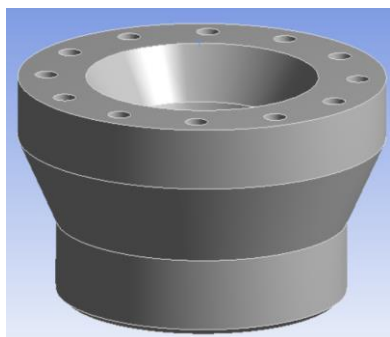


Рисунок 1. Модель уплотнительной манжеты



Рисунок 2. Конечно-элементная сетка

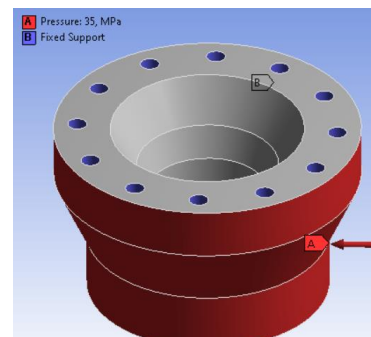


Рисунок 3. Условия исследования

Проводим расчета с каждым материалом, получаем следующие результаты:

- общее перемещение уплотнителя; U , мм;
- эквивалентное напряжение; σ , МПа.

Первый расчет для различных материалов без влияния температуры среды.

Ниже представлены результаты для уплотнителя из резины (ИПР-1352) (рисунок 4, 5).

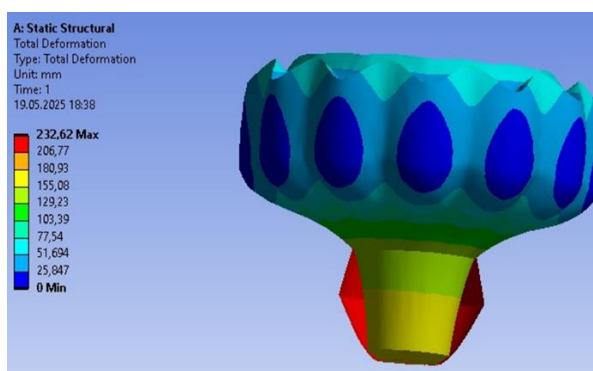


Рисунок 4. Результаты расчета общего перемещения уплотнителя из резины ИПР-1352

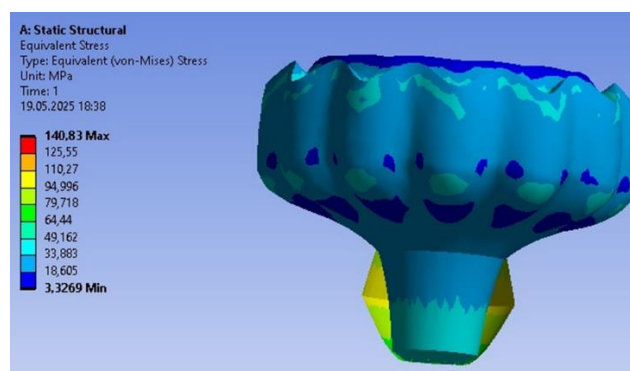


Рисунок 5. Результаты расчета эквивалентного напряжения уплотнителя из резины ИПР-1352

Ниже представлены результаты для уплотнителя из резины (ИПР-1287) (рисунок 6, 7).

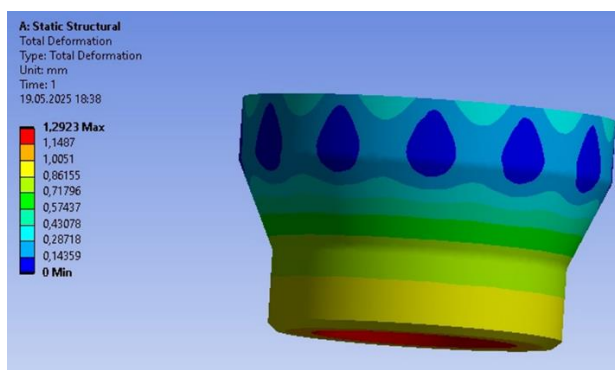


Рисунок 6. Результаты расчета общего перемещения уплотнителя из резины ИПР-1287

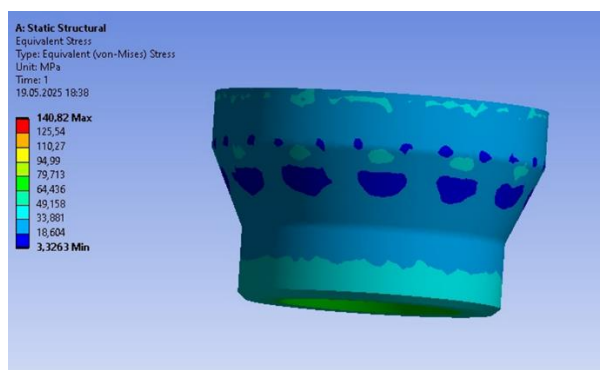


Рисунок 7. Результаты расчета эквивалентного напряжения уплотнителя из резины ИПР-1287

Ниже представлены результаты расчета для уплотнителя из полиуретана (СКУ-7Л) (рисунок 8 и 9).

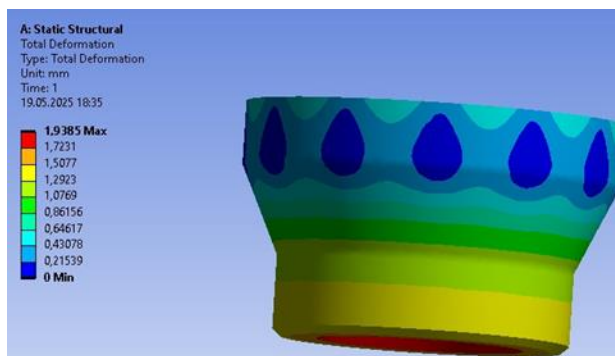


Рисунок 8. Результаты расчета общего перемещения уплотнителя из полиуретана (СКУ-7Л)

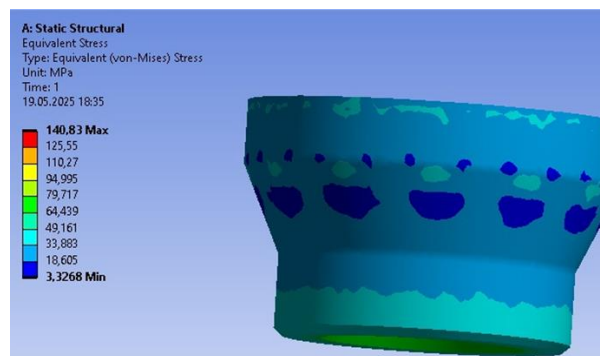


Рисунок 9. Результаты расчета эквивалентного напряжения уплотнителя из полиуретана (СКУ-7Л)

Сведем полученные результаты в таблицу 1, дополнительно в таблицу внесены значения, рассчитанного коэффициента запаса прочности (КЗП).

Таблица 1 – Результаты расчетов уплотнителя из различных материалов

Материал	U , мм	σ , МПа	КЗП
Резина (ИПР-1352)	232,62	140,83	0,12
Термостойкая резина (ИПР-1287)	1,29	140,83	1,77
Полиуретан (СКУ-7Л)	1,94	140,82	4,23

Второй расчет – с учетом температуры в 80 °С. Рассмотрим ниже результаты материалов под действием давления с учётом температуры окружающей среды. Ниже представлены результаты для уплотнителя из резины (ИПР-1352) (рисунок 10, 11).

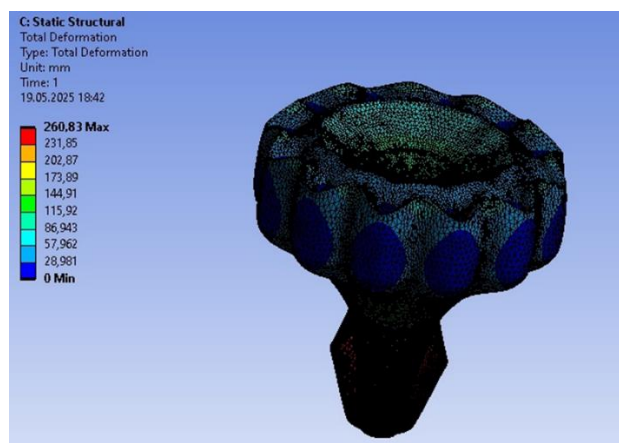


Рисунок 10. Результаты расчета общего перемещения уплотнителя из резины ИПР-1352

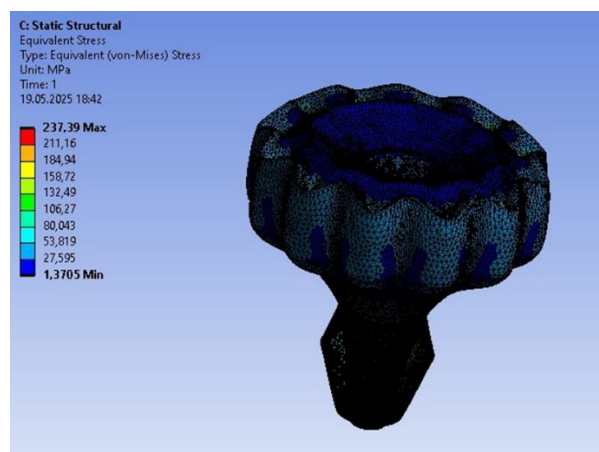


Рисунок 11. Результаты расчета эквивалентного напряжения уплотнителя из резины ИПР-1352

Ниже представлены результаты расчета для уплотнителя из резины (ИПР-1287) (рисунок 12, 13).

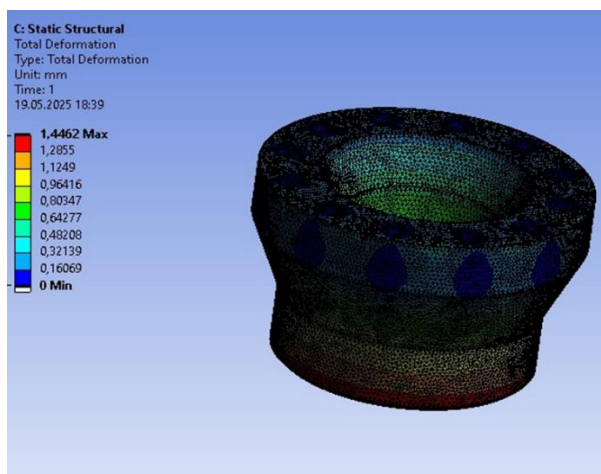


Рисунок 12. Результаты расчета общего перемещения уплотнителя из резины ИПР-1287

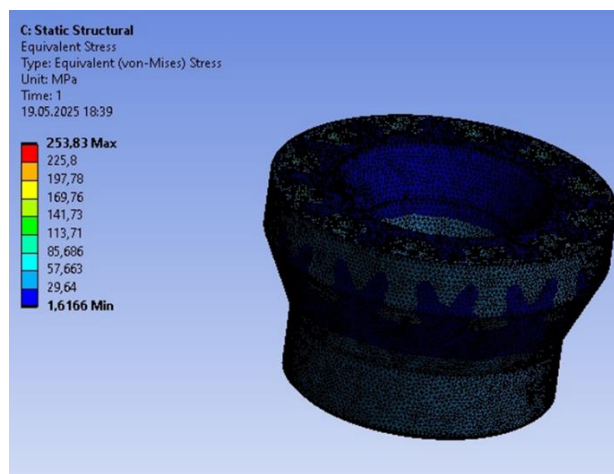


Рисунок 13. Результаты расчета эквивалентного напряжения уплотнителя из резины ИПР-1287

Ниже представлены результаты для уплотнителя из полиуретана (СКУ-7Л) (рисунок 14, 15).

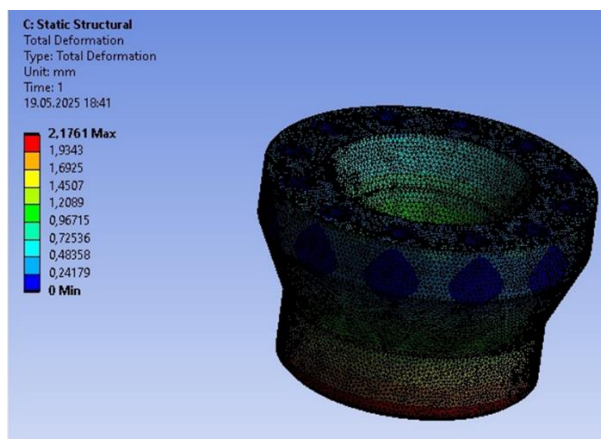


Рисунок 14. Результаты расчета общего перемещения уплотнителя из полиуретана (СКУ-7Л)

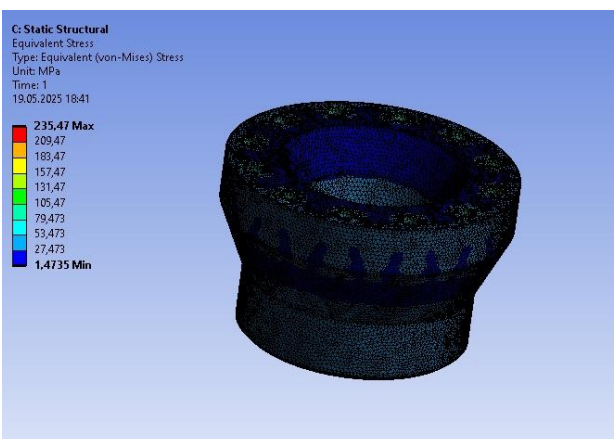


Рисунок 15. Результаты расчета эквивалентного напряжения уплотнителя из полиуретана (СКУ-7Л)

Сведем полученные результаты в таблицу 2, дополнительно в таблицу внесены значения, рассчитанного коэффициента запаса прочности (КЗП).

Результаты расчетов уплотнителя из различных материалов

Материал	U , мм	σ , МПа	КЗП
Резина (ИПР-1352)	260,83	237,39	0,12
Термостойкая резина (ИПР-1287)	1,47	253,83	0,98
Полиуретан (СКУ-7Л)	2,18	235,47	2,1

Сравнив полученные результаты, установлено, что КЗП у полиуретана и термостойкой резины находятся в пределах нормы, при повышении температуры напряжение возрастает не сильно, значение общего перемещения материала находится в пределах нормы, что для эксплуатации уплотнительной манжеты – допустимо. Результаты расчета манжеты из пластика и стандартной резины показали, что напряжение при повышении температуры сильно возрастает, а КЗП меньше необходимого значения для нормальной эксплуатации, что соответствует разрушению материала.

Результаты показали, что резина ИПР-1352 имеет коэффициент запаса прочности менее 0,1, что указывает на разрушение при рабочем давлении. Полиуретан СКУ-7Л показал минимальные деформации (около 2 мм) и коэффициент запаса прочности более 4 при нормальных условиях и около 2,1 при 80 °С. Таким образом, полиуретановое уплотнение обладает высокой стойкостью к нагрузкам и сохраняет герметичность в условиях высоких температур и давления.

Модернизация уплотнительного узла вращающегося преентора путем замены резины ИПР-1352 на полиуретан СКУ-7Л является технически обоснованной. Патентный анализ и результаты моделирования подтверждают повышение надежности и долговечности узла.

Применение полиуретана позволяет повысить устойчивость уплотнителя к износу, расширить диапазон рабочих температур и снизить риск аварий при бурении на высоких давлениях.

Список использованных источников:

1. ГОСТ 13862-90. Оборудование противовыбросовое. Типовые схемы. Основные параметры и технические требования к конструкции = Anti-venting equipment. Typical schemes, basic parameters and technical requirements for the design : государственный стандарт союза ССР : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 28.06.90 № 1967-ст : введен впервые : дата введения 28.06.1990 / разработан и внесен Министерством тяжелого машиностроения СССР. – Москва : государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 5 с. – Текст : непосредственный.

2. Патент № 8991484 В2 США , US8991484B2 (2015.03). Вращающаяся головка: № US8991484B2 : заявлено 01.08.2011 : опубликовано 31.03.2015 / Premium Oilfield Technologies LLC; патентообладатель Premium Oilfield Technologies LLC. – 1 с. : ил. – Текст : непосредственный.