

УДК 622.692.4.07

МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНО-ЦЕНТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И ТРУБОПРОВОДА В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСА АВАРИЙНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА

Рахматуллина Юлия Александровна¹,
yrahmat@bk.ru

Алексеев Вадим Александрович¹,
alex_vadiim@mail.ru

Султанмагомедов Тимур Султанмагомедович¹,
tsultanmaga@gmail.com

Хасанов Рустям Рафикович¹,
hasanov25@mail.ru

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 8/3.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью проведения расчетов напряженно-деформированного состояния опорно-центрирующего устройства при смещении осей вследствие наличия остаточных напряжений в процессе проведения комплекса аварийно-восстановительного ремонта по вырезке дефектного участка трубопровода.

Целью исследования является оценка возможности применения конструкции устройства и проведения расчета напряженно-деформированного состояния устройства при смещении осей граничных участков трубопровода из-за сброса предварительных напряжений при проведении комплекса аварийно-восстановительного ремонта по вырезке дефектного участка трубопровода.

Объектами исследования являются граничные участки заменяемого трубопровода при воздействии на него опорно-центрирующего устройства, установленного на трубопровод при проведении ремонтных работ.

Методы: методы классической теоретической механики, механики грунтов, метод конечных элементов.

Результаты. На основе патента разработана предварительная 3D модель опорно-центрирующего устройства и методика анализа граничных условий и нагрузок, влияющих на устройство и трубопровод в процессе проведения комплекса аварийно-восстановительного ремонта. Проведен расчет НДС (напряженно-деформированное состояние), где получены следующие результаты: при смещении рамы вниз/вверх на 100 мм в устройстве соответственно по длине и перемещению возникают напряжения в местах соединения охватывающего кольца и рамы, а также на «ушках», превышающие предел текучести стали; коэффициент трения μ для рассматриваемого диаметра 1020 мм не должен превышать 0,15 для предотвращения возникновения участков пластической деформации трубопровода при проведении комплекса аварийно-восстановительного ремонта по вырезке дефектного участка в условиях болот.

Ключевые слова:

ремонт, дефектный участок, трубопровод, опорно-центрирующее устройство, проектное положение, предварительный расчет, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

Введение

Трубопроводный транспорт – наиболее эффективный способ транспортировки нефти, газа и нефтепродуктов. Проектирование и строительство трубопроводов должно отвечать требованиям надежности и безопасности. Для нормальной работы трубопроводов проводят диагностическое обследование, а также плановый и капитальный ремонт [1].

К основным дефектам, выявляемым при обследовании, относятся внутренние, такие как эрозия и коррозия внутренней стенки трубопровода, и внешние – дефекты геометрии «тела» трубы, трещины в сварных соединениях, потери металла, уменьшающие толщину стенки [2].

Перечисленные дефекты обнаруживаются внутритручными инспекционными приборами и методами неразрушающего контроля. Способ и место прокладки трубопровода оказывают большое влияние на процесс эксплуатации и ремонта дефектных участков. Самым эффективным способом ремонта магистраль-

ного трубопровода является вырезка этого участка. Способ ремонта заключается в определении дефектного участка, его вскрытии, вырезке и замене. В работе рассматривается трубопровод, проложенный в неустойчивом просадочном грунте – болоте.

При вырезке дефектного участка возникает проблема смещения оси граничных дефектному участкам трубопровода из-за сброса предварительных напряжений, возникающих при эксплуатации. Вследствие этого возникают трудности установки новой катушки, так как происходит смещение оси трубопровода относительно проектного положения. Для точной установки новой катушки есть необходимость использования устройства фиксации положения трубопровода и центровки концов относительно друг друга без допущения возникновения дополнительных напряжений. Устройство устанавливается на граничных дефектному участку частях трубопровода перед вырезкой дефектного участка для закрепления трубопровода в необходимом проектном положении.

Болото представляет собой избыточно увлажненный участок земной поверхности, покрытый слоем торфа мощностью 0,5 м и более.

По характеру передвижения техники по болотам болота подразделяются на следующие типы:

- I тип – болота, целиком заполненные торфом, где допускается работа и неоднократное передвижение болотной техники с удельным давлением 0,02–0,03 МПа или работа обычной техники с помощью щитов, дорог, снижающих удельное давление на поверхность залежи до 0,02 МПа;
- II тип – болота, целиком заполненные торфом, на них допускаются работа и передвижение строительной техники только по щитам, дорогам, снижающим удельное давление на поверхность залежи до 0,01 МПа;
- III тип – болота, заполненные растекающимся торфом и водой с плавающей торфяной коркой. Здесь допускается работа только специальной техники на понтонах или обычной техники с плавучих средств [3].

Проанализировав патентные разработки [4–10], авторы выбрали патент [10], на основе которого проводится исследование. На рис. 1 представлен выбранный патент [10], где предлагается внедрение центрирующего устройства для комплекса аварийно-восстановительного ремонта магистральных трубопроводов на болотах первого типа и обводненных участках.

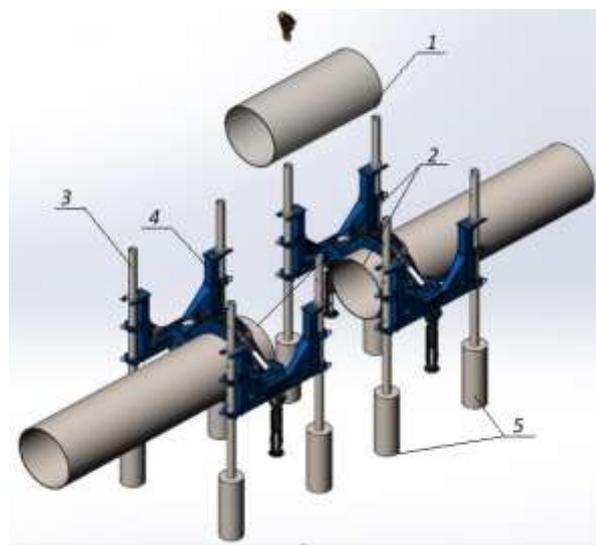


Рис. 1. Опорно-центрирующее устройство [10]: 1 – заменяемый участок трубопровода; 2 – граничные заменяемому участку части трубопровода; 3 – направляющие; 4 – рама; 5 – сваи

Fig. 1. Support-centering device [10]: 1 – replaced section of the pipeline; 2 – boundary parts of the pipeline section to be replaced; 3 – guides; 4 – frame; 5 – piles

При использовании опорно-центрирующего устройства в самом устройстве и в трубопроводе могут возникнуть недопустимые напряжения [11], которые приведут к разрушению устройства и возникновению новых дефектов на торцах граничных дефект-

ному участку частей трубопровода в процессе центрирования оси трубопровода в проектное положение. Для предотвращения предполагаемых опасностей используется расчет методом конечных элементов [12].

Для подтверждения возможности использования данного устройства необходимо произвести расчет устройства и трубопровода на прочность и устойчивость. Для расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода необходимо приложить такие нагрузки и воздействия, как давление грунта и захвата устройства, заземление в местах соединения с опорно-центрирующим устройством, предварительный изгиб.

Целью исследования является оценка возможности применения конструкции устройства и проведения расчета напряженно-деформированного состояния устройства при смещении осей граничных участков трубопровода из-за действия упругих напряжений при проведении комплекса аварийно-восстановительного ремонта по вырезке дефектного участка трубопровода.

Задачи:

- 1) разработка предварительной 3D модели на основе патента, разработка методики анализа граничных условий и нагрузок, влияющих на устройство и трубопровод в процессе проведения комплекса аварийно-восстановительного ремонта;
- 2) предварительный расчет НДС и устройства в процессе проведения комплекса аварийно-восстановительного ремонта;
- 3) разработка экспериментального стенда.

Технология проведения комплекса аварийно-восстановительного ремонта по вырезке дефектного участка в условиях болот приведена на рис. 2.

Методика определения напряженно-деформированного состояния

Напряженно-деформированное состояние – совокупность напряжений и деформаций, которые возникают при воздействии на конструкцию внешних нагрузок. Расчет НДС позволяет определить внутренние напряжения, деформации и перемещения в различных точках рассматриваемого тела. Проведение ремонта трубопровода по замене дефектного участка с использованием опорно-центрирующего устройства для центровки оси граничных участков трубопровода и приведение его в проектное положение является сложным процессом с точки зрения сохранения прочности и устойчивости рассматриваемой конструкции.

Для подтверждения возможности использования опорно-центрирующего устройства для определенных параметров трубопровода необходимо определить максимальные значения усилий и перемещений, прикладываемых к устройству, которые выдержит конструкция, при этом восстановит проектное положение трубопровода.

Необходимо получить зависимость перемещения трубопровода от прикладываемых на устройство усилий для выявления критических значений, воздействующих на рассматриваемое опорно-центрирующее устройство.

На рис. 3 представлена схема установки опорно-центрирующего устройства на трубопровод.

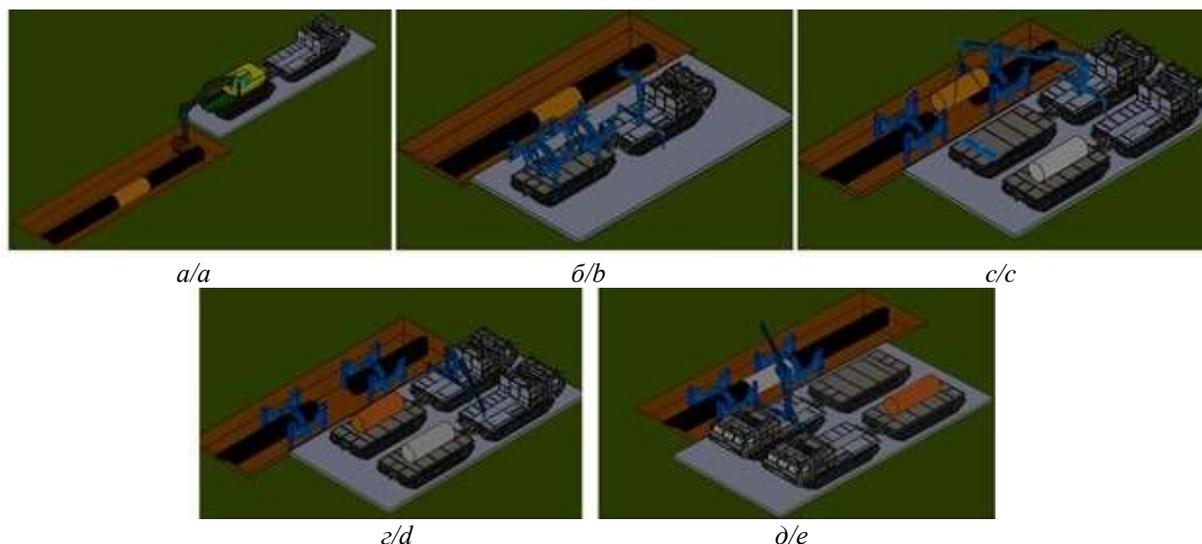


Рис. 2. Технология проведения комплекса аварийно-восстановительного ремонта по вырезке дефектного участка в условиях болот [13]: а) разработка траншеи с помощью экскаватора, установленного на понтон; б) заезд на понтон гидроманипулятора с опорно-центрирующими устройствами; в) установка опорно-центрирующего устройства, подъезд техники с новой «катушкой», установка газорезочной машины и осуществление вырезки; г) подъем дефектной катушки, регулировка концевых участков трубопровода по горизонтали и вертикали, приведение к соосности; д) установка, приваривание и изоляция новой катушки, демонтаж опорно-центрирующего устройства, засыпка траншеи

Fig. 2. Technology of carrying out a complex of emergency repair for cutting out a defective area in swamps [13]: a) digging a trench using an excavator mounted on a pontoon; b) arrival on the pontoon of a hydraulic manipulator with support-centering devices; c) installation of a support-centering device, access to equipment with a new «coil», installation of a gas cutting machine and cutting; d) lifting the defective coil, adjusting the end sections of the pipeline horizontally and vertically, bringing it to alignment; e) installing, welding and insulating a new coil, dismantling the support-centering device, trench backfilling

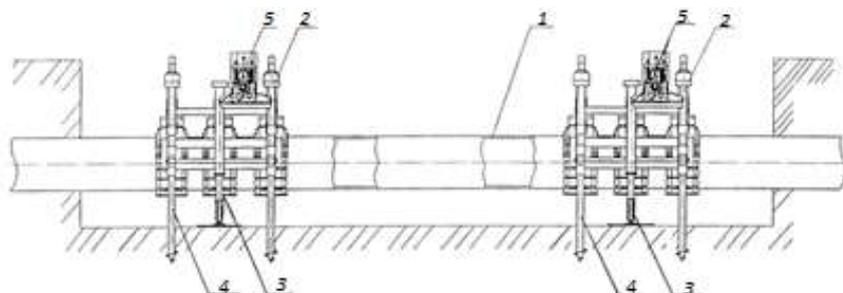


Рис. 3. Схема установки опорно-центрирующего устройства на трубопровод [13]: 1 – трубопровод; 2 – фиксирующие устройства; 3 – силовые цилиндры; 4 – винтовые анкеры; 5 – силовые станции

Fig. 3. Scheme of installation of the support-centering device on the pipeline [13]: 1 – pipeline; 2 – fixing devices; 3 – power cylinders; 4 – screw anchors; 5 – power stations

Для проведения расчета методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS необходимо определить исходные размеры геометрии устройства и нагрузки, воздействующие на трубопровод и устройство.

Выбраны следующие геометрические параметры модели:

- диаметр трубопровода $D_n=1020$ мм;
 - толщина стенки трубопровода $\delta=20$ мм;
 - диаметр сваи $D_{св}=200$ мм;
 - длина сваи $L_{св}=1...9$ м;
 - толщина стенки охватывающего кольца $\delta_k=60$ мм.
- Граничные условия, нагрузки и воздействия:
- сила, прикладываемая к раме устройства F ;
 - температурный перепад в трубопроводе $\Delta t=50$ °С;

- жесткая заделка в сечении трубопровода, находящегося в грунте;
- жесткое закрепление сечения сваи, находящегося в грунте;
- упругая опора поверхности трубопровода, находящегося в грунте;
- упругая опора поверхности свай, находящихся в грунте.

Характеристика стали устройства:

- предел текучести $\sigma_T=350$ МПа;
- предел прочности $\sigma_B=510$ МПа;
- модуль упругости $E=2,06 \cdot 10^{11}$ Па;
- коэффициент Пуассона $\nu=0,3$.

На рис. 4 отображены исходные данные, необходимые для проведения предварительного расчета.

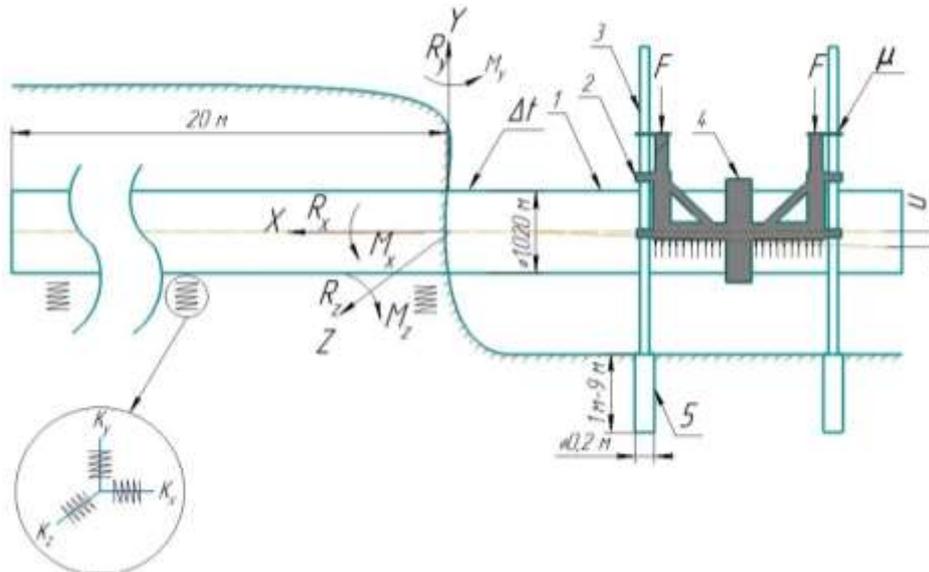


Рис. 4. Расчетная схема: 1 – трубопровод; 2 – рама; 3 – направляющие; 4 – охватывающее кольцо; 5 – анкеры; F_1 – сосредоточенная сила; Δt – температурный перепад; μ – коэффициент трения, задаваемый между рамой и направляющими; u – смещение оси трубопровода в процессе проведения ремонта

Fig. 4. Design scheme: 1 – pipeline; 2 – frame; 3 – guides; 4 – covering ring; 5 – anchors; F_1 – concentrated force; Δt – temperature difference; μ – friction coefficient set between the frame and the guides; u – displacement of the pipeline axis during the repair

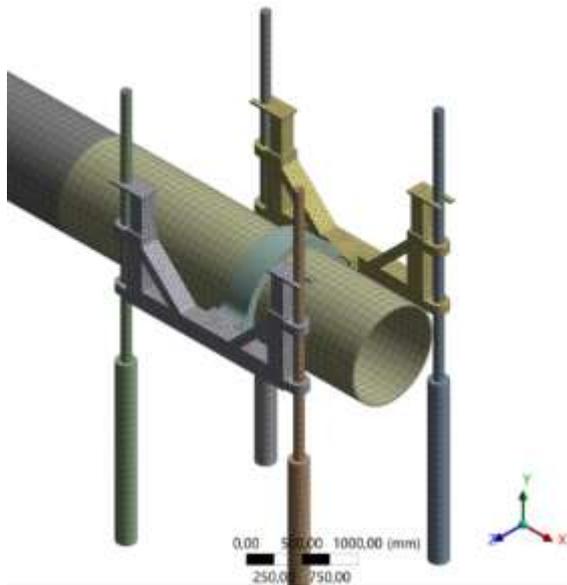


Рис. 5. 3D-модель опорно-центрирующего устройства и трубопровода с заданной сеткой

Fig. 5. 3D-model of the support-centering device and the pipeline with a given grid

Разработана расчетная 3D-модель опорно-центрирующего устройства, предложенного в патенте, с заданной для расчетов сеткой. Толщина одного элемента хомута составляет 1/3 всей толщины хомута [14]. Модель трубопровода представляет собой тело типа shell, модель опорно-центрирующего устройства – solid. В работе [15] описаны методы моделирования перемещений трубопровода. На рис. 5 представлена разработанная 3D-модель опорно-центрирующего устройства и трубопровода с сеткой при значении настройки «resolution» равной 7.

Граничными условиями являются:

- жесткая заделка, описывающая закрепления сечения трубопровода, находящегося в грунте и сечения свай, опирающихся на грунт;
- применение упругого взаимодействия по длине поверхности трубопровода и свай, находящихся в грунте;
- температурный перепад трубопровода, так как температура окружающей среды при строительстве и при ремонте трубопровода может различаться, вследствие чего возникает продольная деформация в металле трубы (рис. 6).

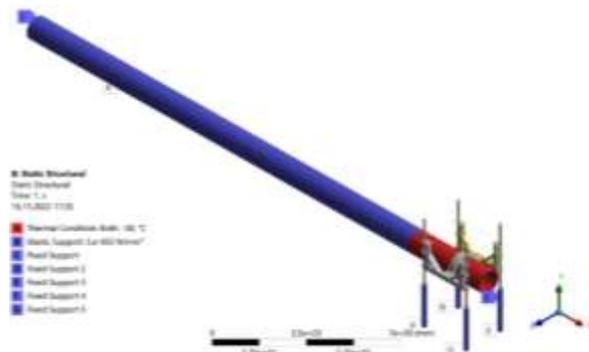


Рис. 6. Граничные условия, применяемые к опорно-центрирующему устройству и трубопроводу

Fig. 6. Boundary conditions applied to the support-centering device and piping

Установлены контакты между внутренней зоной охватывающего кольца и трубопровода без проскальзывания «bonded», контакт «frictional» с коэффициентом трения $\mu=0,15$ установлен между направляющими сваями и рамой, контакт охватывающего кольца, вставленного в раму «bonded» (рис. 7).

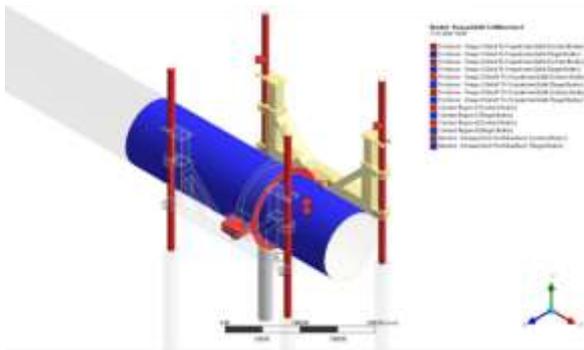


Рис. 7. Установленные контакты взаимодействия опорно-центрирующего устройства и трубопровода

Fig. 7. Established contacts for the interaction of the support-centering device and the pipeline

По заданным исходным данным геометрии, граничных условий и контактов взаимодействия проведены расчеты напряженно-деформированного состояния опорно-центрирующего устройства и трубопровода. Получены следующие результаты расчетов и соответствующие графики, представленные на рис. 8, 9.

Для подтверждения полученных результатов расчета необходимо провести эксперимент по исследованию напряженно-деформированного состояния опорно-центрирующего устройства и трубопровода в процессе ремонта.

Смоделирован экспериментальный стенд (рис. 10), состоящий из трубопровода – 1 диаметром 25 мм, опорно-центрирующего устройства – 2, выполненного из PLA (polylactide – biodegradable thermoplastic used in 3D printing), деревянной опоры – 3, необходимой для жесткого закрепления левого торца трубопровода для исключения свободного перемещения, глиняного грунта – 4 для закрепления свай, упругой подложки – 5 для эластичного взаимодействия трубопровода в свободной от грунта зоне, датчика малых перемещений – 6 для фиксации перемещения и оси трубопровода от приложенной на опорно-центрирующее устройство сосредоточенной силы F , динамометр – 7 для определения приложенной силы F .

Пружины сжатия, которые накапливают механическую энергию и рассчитаны на уменьшение длины под нагрузкой, – 5 являются упругим объектом, представляющим на созданном стенде упругую подложку. Сила упругости, возникающая в теле пружины, в результате деформации от прикладываемых на трубопровод нагрузок стремится вернуть трубопровод в исходное состояние. Пружины, поддерживающие трубопровод при проведении эксперимента, характеризуют структурно-неустойчивый грунт (глину), в котором проложен трубопровод в рассматриваемых условиях проведения ремонта по замене дефектного участка трубопровода.

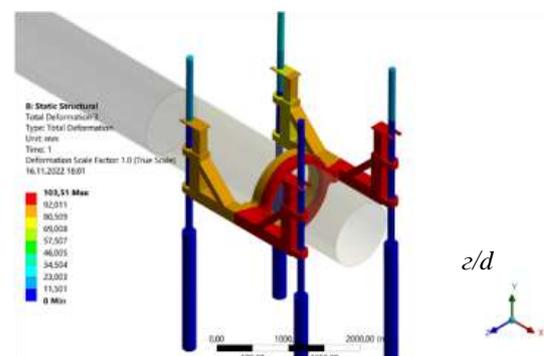
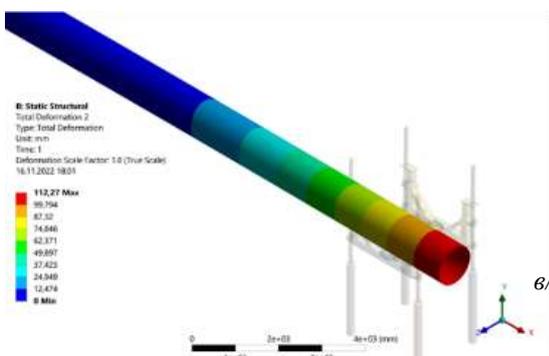
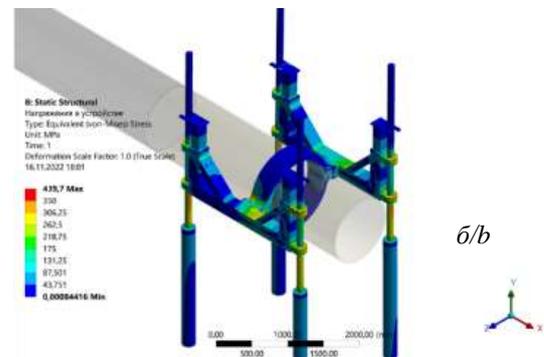
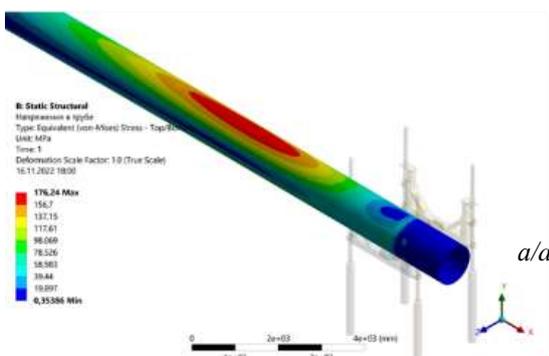


Рис. 8. НДС устройства и трубопровода при приложении сил к раме «сверху вниз»

Fig. 8. Stress-strain state of the device and pipeline when forces are applied to the frame from «top to bottom»

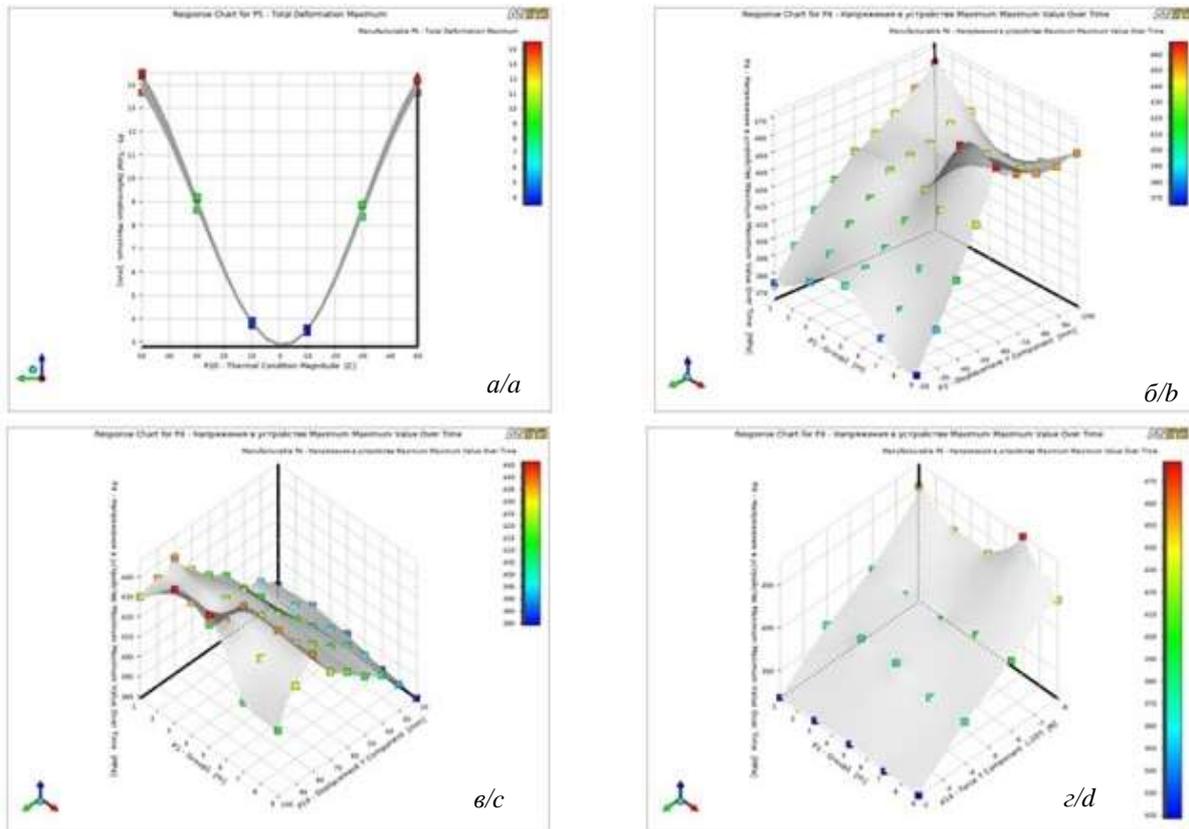


Рис. 9. Графики, полученные по результатам расчетов методом конечных элементов: а) график зависимости перемещения трубопровода от температурного перепада; б) график зависимости напряжений, возникающих в устройстве, от перемещения рамы относительно направляющих вниз; в) график зависимости напряжений, возникающих в устройстве, от перемещения рамы относительно направляющих вверх; г) график зависимости напряжений, возникающих в устройстве, от приложенных сил к раме «сверху вниз»

Fig. 9. Graphs obtained from the results of finite element method calculations: а) graph of the dependence of the pipeline displacement on the temperature difference; б) graph of the dependence of the stresses arising in the device on the movement of the frame relative to the guides down; в) graph of the dependence of the stresses arising in the device on the movement of the frame relative to the guides upwards; г) graph of the dependence of the stresses arising in the device on the forces applied to the frame from «top to bottom»

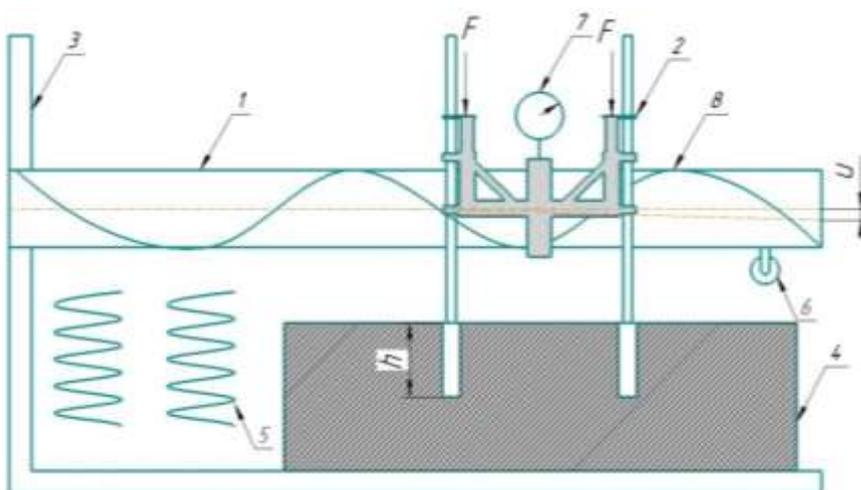


Рис. 10. Экспериментальный стенд: 1 – трубопровод; 2 – опорно-центрирующее устройство; 3 – деревянная опора; 4 – структурно-неустойчивый грунт (глина); 5 – упругая подложка (песок); 6 – датчик малых перемещений; 7 – динамометр; 8 – греющий кабель; F – прикладываемая на устройство сосредоточенная сила; u – перемещение оси трубопровода; h – глубина погружения свай

Fig. 10. Experimental stand: 1 – pipeline; 2 – support-centering device; 3 – wooden support; 4 – structurally unstable soil (clay); 5 – elastic substrate (sand); 6 – sensor of small displacements; 7 – dynamometer; 8 – heating cable; F – concentrated force applied to the device; u – displacement of the pipeline axis; h – pile depth

Для проведения эксперимента левый торец трубопровода – 1 жестко закрепляется в деревянной доске – 3 для предотвращения свободного перемещения торца. Устройство – 2 закреплено на трубопровод, сваи устройства – 2 погружены в лоток со структурно-неустойчивым грунтом (глина) – 4 на определенную глубину h . На устройство – 2 закреплен динамометр – 7 для определения прикладываемой на устройство силы F . Сила F создается приложенной на устройство нагрузкой. Датчик малых перемещений – 6 прикреплен к трубопроводу – 1 неподвижно во избежание погрешности измерений. Датчик – 6 фиксирует перемещение u оси трубопровода – 1, возникающее от приложенной силы F на устройство – 2. Греющий кабель – 8, помещенный внутрь трубопровода – 1, обеспечивает нагревание трубопровода, что позволяет создать температурный перепад.

Характеристики датчика малых перемещений (индикатор часового типа):

- одно деление = 0,01 мм;
- погрешность измерения = 0,005 мм;
- максимальное измеряемое значение = 1 см.

Характеристики динамометра (тензодатчик S-типа):

- калибровка возможна на любое усилие;
- погрешность измерения = 0,1 %.

Параметры жесткости грунта, используемого при проведении эксперимента, определяются экспериментально в зависимости от того, какие грунты имеются в реальных условиях на рассматриваемом участке. Жесткость грунта характеризуется коэффициентом постели на сжатие.

Упругая подложка модерируется пружинами сжатия – 5, жесткость которых соответствует жесткости используемого грунта. Пружины сжатия – 5 при смещении трубопровода деформируются, возникающая в пружинах сила упругости стремится вернуть трубопровод в исходное положение. Это описывает поведение трубопровода, проложенного в структурно-неустойчивом грунте.

Для определения механических свойств пластика, из которого выполнена модель опорно-центрирующего устройства, и построения диаграммы растяжения необходимо провести испытания на разрыв образцов из пластика PLA [16, 17].

Характеристики PLA [18]:

- предел текучести $\sigma_T=53$ МПа;
- предел прочности $\sigma_B=58$ МПа;
- модуль упругости $E=3,3$ ГПа;
- коэффициент Пуассона $\nu=0,45$.

Подобранный PLA пластик, из которого моделируется устройство, подходит для проведения эксперимента, поскольку необходимо обнаружить опасные зоны в устройстве, и, так как PLA пластик изотропен и модуль упругости равен константе до определенной величины, разрушенные зоны на модели устройства будут соответствовать разрушенным зонам реального устройства.

Диаграмма растяжения (рис. 11) представляет собой график, показывающий функциональную зависимость между растягивающим усилием F и удлинением [19, 20].

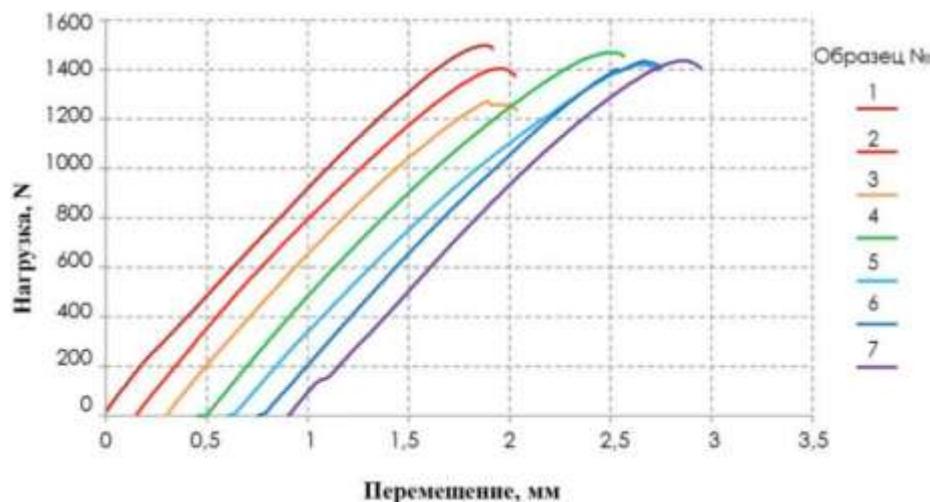


Рис. 11. График зависимости нагрузки от перемещения для образцов PLA

Fig. 11. Load versus displacement diagram for PLA specimens

Выводы

1. На основе патента [10] разработана предварительная 3D-модель (рис. 1) для выполнения расчетов напряженно-деформированного состояния устройства и трубопровода в процессе проведения комплекса аварийно-восстановительного ремонта. Заданы граничные условия: жесткая заделка в левом торце трубопровода и в нижних точках опоры, эластичное взаимодействие длине участка трубо-

провода, находящегося в грунте, температурный перепад участка трубопровода, находящегося в грунте.

2. По проведенному расчету напряженно-деформированного состояния трубопровода и устройства выявлено:

- при смещении рамы вверх на 100 мм в устройстве соответственно по длине и перемещению в местах соединения охватывающего кольца и

рамы, а также на «ушках» направляющих возникают напряжения, равные 427,92 МПа, превышающие предел текучести $\sigma_T=350$ МПа, но не превышающие предел прочности $\sigma_B=510$ МПа;

- при приложении сил на раму «сверху вниз» от 2 до 8 МН в устройстве в местах соединения, охватывающего кольца и рамы, а также на «ушках» направляющих возникают напряжения, равные 439,7 МПа, превышающие предел текучести $\sigma_T=350$ МПа, но не превышающие предел прочности $\sigma_B=510$ МПа (рис. 8);
- коэффициент трения μ не должен превышать 0,15, так как при большем значении напряжения σ в опасных зонах превышают предел

прочности σ_B , что является недопустимым при использовании рассматриваемого устройства при проведении комплекса аварийно-восстановительного ремонта по вырезке дефектного участка в условиях болот. Коэффициент трения μ , равный 0,15, достигается установкой подшипника скольжения или полированной металла.

3. Разработан экспериментальный стенд для проведения эксперимента по восстановлению оси трубопровода в проектное положение с помощью опорно-центрирующего устройства, подтверждающий расчеты, проведенные в программном комплексе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shammazov I.A., Sidorkin D.I., Dzhemile E.R. Research of the dependence of the pipeline ends displacement value when cutting out its defective section on the elastic stresses in the pipe body. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/988/2/022077/pdf> (дата обращения 28.09.2022).
2. Hoie O. Pipeline repair technology damage and repair assessment of pipelines with high residual stresses. URL: https://uis.brage.unit.no/uisxmlui/bitstream/handle/11250/302458/Oyvind_Hoie.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 30.09.2022).
3. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов / Л.И. Быков, Ф.М. Мустафин, С.К. Рафиков, А.М. Нечваль, А.Е. Лаврентьев. – СПб: Недра, 2005. – 824 с.
4. Устройство фиксирования и центрирования концов трубопровода при вырезке его дефектного участка: пат. Рос. Федерация, № 2763096, заявл. 09.04.2021; опубл. 27.12.2021. Бюл. № 36. – 10 с.
5. Устройство для центрирования труб: пат. Рос. Федерация, № 188586, заявл. 02.11.2018; опубл. 17.04.2019. Бюл. № 11. – 7 с.
6. Центрирующее устройство: пат. Рос. Федерация, № 2645837, заявл. 16.11.2016; опубл. 28.02.2018. Бюл. № 7. – 12 с.
7. Device to support section of major pipeline under repair in trench when doing repair works: Patent 20160319959A1 USA. Fil. 12.07.2016; Publ. 03.11.2016.
8. Pipeline lifting and supporting apparatus for maintenance and restoration purposes: Patent 20150078832A1 USA. Fil. 30.01.2013; Publ. 19.03.2015.
9. Pipe quick repair device: Patent 106838539A CN. Fil. 16.12.2016; Publ. 13.06.2017.
10. Опорно-центрирующее устройство концевой участка магистрального нефте- или газопровода: пат. Рос. Федерация, № 148090, заявл. 27.03.2014; опубл. 27.11.2014. Бюл. № 33. – 2 с.
11. Burkov P.V., Burkova S.P., Knaub S.A. Stress and strain state analysis of defective pipeline portion. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/91/1/012055/pdf> (дата обращения 20.12.2022).
12. Изучение напряженно-деформированного состояния участка трубопровода с кольцевым дефектом методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS / П.В. Бурков, В.П. Бурков, Д.Л. Вахитов, В.Ю. Тимофеев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 5. – С. 5–13.
13. Способ ремонта дефектных участков трубопровода в траншее: пат. Рос. Федерация, № 2708758, заявл. 10.10.2016; опубл. 11.12.2019. Бюл. № 35. – 11 с.
14. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.
15. Моделирование продольных перемещений трубопровода в многолетнемерзлых грунтах / Т.С. Султанмагомедов, Р.Н. Бахтизин, С.М. Султанмагомедов, А.Р. Урманова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 4. – С. 87–96.
16. ГОСТ 33693-2015. Пластмассы. Образцы для испытания. – М.: Стандартинформ, 2016. – 21 с.
17. Investigation of the main mechanical characteristics of plastics for three-dimensional printing of machine parts models / P.V. Dorodov, V.V. Kasatkin, N.Y. Kasatkina, V.A. Petrov, A.A. Litvinyuk. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/677/5/052041/pdf> (дата обращения 29.12.2022).
18. Ермакова В.А., Ермаков А.И., Литвяк В.В. Исследование прочностных характеристик изделий, полученных методом 3D-печати из PLA // Наука и техника. – 2022. – Т. 21. – № 2. – С. 107–113.
19. ГОСТ 11262–2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
20. Experimental determination and comparative analysis of the PPH030GP, ABS and PLA polymer strength characteristics at different strain rates / M.Yu. Zalohin, V.V. Skliarov, Ja.S. Dovzhenko, D.A. Brega // Наука и техника. – 2019. – V. 16. – № 3. – P. 233–239.

Поступила: 16.02.2023 г.

Прошла рецензирование: 02.04.2023 г.

Информация об авторах

Рахматуллина Ю.А., магистрант кафедры проектирования и строительства объектов нефтяной и газовой промышленности Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Алексеев В.А., магистрант кафедры проектирования и строительства объектов нефтяной и газовой промышленности Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Султанмагомедов Т.С., старший преподаватель кафедры проектирования и строительства объектов нефтяной и газовой промышленности Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Хасанов Р.Р., кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и строительства объектов нефтяной и газовой промышленности Уфимского государственного нефтяного технического университета.

UDC 622.692.4.07

METHOD OF ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A BASE-CENTERING DEVICE AND A PIPELINE WHEN CARRYING OUT THE COMPLEX OF EMERGENCY AND RECOVERY REPAIRS

Yuliya A. Rakhmatullina¹,
yraxmat@bk.ru

Vadim A. Alekseev¹,
alex_vadiim@mail.ru

Timur S. Sultanmagomedov¹,
tsultanmaga@gmail.com

Rustyam R. Khasanov¹,
hasanov25@mail.ru

¹ Ufa State Petroleum Technological University,
8/3, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia.

The relevance of the research is caused by the need to carry out calculations of the stress-strain state of the support-centering device and the pipeline, when the device under consideration is exposed to it, when the axes are displaced due to the presence of residual stresses when carrying out a complex of emergency repair by cutting out a defective section of the pipeline.

The purpose of the study is to assess the possibility of using the design of the device and to calculate the stress-strain state of the device when the axes of the boundary sections of the pipeline are displaced due to the release of prestresses during the emergency repair complex for cutting out the defective section of the pipeline.

Methods: methods of classical theoretical mechanics, soil mechanics, finite element method.

Results. Based on the patent, a preliminary 3D model of the support-centering device and a method for analyzing the boundary conditions and loads affecting the device and the pipeline during the emergency repair complex were developed. The calculation of stress-strain state was carried out, where the following results were obtained: when the frame is displaced down/up by 100 mm in the device, respectively, along the length and displacement, stresses arise at the junctions of the enclosing ring and the frame, as well as on the «lugs», exceeding the yield strength of steel; the coefficient of friction μ for the considered diameter of 1020 mm should not exceed 0,15 to prevent the occurrence of areas of plastic deformation of the pipeline during the emergency repair complex for cutting out a defective area in swamp conditions.

Key words:

repair, defective section, pipeline, support-centering device, design position, preliminary calculation, stress-strain state, finite element method.

REFERENCES

- Shammazov I.A., Sidorkin D.I., Dzhemilev E.R. *Research of the dependence of the pipeline ends displacement value when cutting out its defective section on the elastic stresses in the pipe body.* Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/988/2/022077/pdf> (accessed 28 September 2022).
- Hoie O. *Pipeline repair technology damage and repair assessment of pipelines with high residual stresses.* Available at: https://uis.brage.unit.no/uisxmlui/bitstream/handle/11250/302458/Oyvind_Hoie.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed 30 September 2022).
- Bykov L.I., Mustafin F.M., Rafikov S.K., Nechval A.M., Lavrentiev A.E. *Tipovye raschety pri sooruzhenii i remonte gazonefteprovodov* [Standard calculations for the construction and repair of oil and gas pipelines]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2005. 824 p.
- Shammazov L.A., Sidorkin D.I., Dzhemilev E.R. *Ustroystvo fiksirovaniya i tsentrirovaniya kontsov truboprovoda pri vyrezke ego defektnogo uchastka* [Device for fixing and centering the ends of the pipeline when cutting out its defective section]. Patent RF, no. 2763096, 2021.
- Kulichkov S.V. *Ustroystvo dlya tssentrirovaniya trub* [Device for centering pipes]. Patent RF, no. 188586, 2019.
- Nosov A.G., Leskov A.K., Galimov I.S. *Tsentrirovushchee ustroystvo* [Centering device]. Patent RF, no. 2645837, 2018.
- William K. *Device to support section of major pipeline under repair in trench when doing repair works.* Patent 20160319959A1 USA, 2016.
- Shlomo K. *Pipeline lifting and supporting apparatus for maintenance and restoration purposes.* Patent 20150078832A1 USA, 2015.
- Su Tao, Qiao Hao. *Pipe quick repair device.* Patent 106838539A CN, 2017.
- Matveev Y.G., Konnov Y.D., Sidorkin D.I. *Support-centering device of the end section of the main oil or gas pipeline.* Patent RF, no. 148090, 2014.
- Burkov P.V., Burkova S.P., Knaub S.A. *Stress and strain state analysis of defective pipeline portion.* Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/91/1/012055/pdf> (accessed 20 December 2022).
- Burkov P.V., Burkov V.P., Vakhitov D., Timofeev V. *The study of stress-strain state of the pipeline with the annular defect by finite element method using ANSYS software.* *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2019, no. 5, pp. 5–13. In Rus.
- Konnov Y.D., Matveev Y.G., Khabibullin R.F., Chebotarev A.Y. *Sposob remonta defektnykh uchastkov truboprovoda v transhee* [A method of repairing defective sections of the pipeline in a trench]. Patent RF, no. 2708758, 2019.
- GOST R 57700.37–2021. *Kompyuternye modeli i modelirovaniya. Tsifrovyya dvoyniki izdelia* [State Standard R 57700.37–2021. Computer models and modeling. Digital twins of products]. Moscow, Russian Institute for Standardization Publ., 2021. 15 p.
- Sultanmagomedov T.S., Bakhtizin R.N., Sultanmagomedov S.M., Urmanova A.R. *Simulation of longitudinal displacements of the pipeline in permafrost soils.* *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 4, pp. 87–96. In Rus.

16. GOST 33693-2015. *Plastmassy. Obratzы dlia ispytaniy* [State Standard 33693-2015. Plastics. Samples for testing]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 21 p.
17. Dorodov P.V., Kasatkin V.V., Kasatkina N.Y., Petrov V.A., Litvinyuk A.A., *Investigation of the main mechanical characteristics of plastics for three-dimensional printing of machine parts models*. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/677/5/052041/pdf> (accessed 29 December 2022).
18. Ermakova V.A., Ermakov A.I., Litvyak V.V. Study of the strength characteristics of products obtained by 3D printing from PLA. *Science and technology*, 2022, vol. 21, no. 2, pp. 107–113. In Rus.
19. GOST 11262–2017. *Plastmassy. Metod ispytaniy na rastyazhenie* [State Standard 11262-2017. Plastics. Tensile test method]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 24 p.
20. Zalohin M.Yu., Skliarov V.V., Dovzhenko Ja.S., Brega D.A. Experimental Determination and Comparative Analysis of the PPH030GP, ABS and PLA Polymer Strength Characteristics at Different Strain Rates. *Science and technology*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 233–239.

Received: 16 February 2023.

Reviewed: 2 April 2023.

Information about the authors

Yuliya A. Rakhmatullina, master student, Ufa State Petroleum Technological University.

Vadim A. Alekseev, master student, Ufa State Petroleum Technological University.

Timur S. Sultanmagomedov, senior lecturer, Ufa State Petroleum Technological University.

Rustyam R. Khasanov, Cand. Sc., associate professor, Ufa State Petroleum Technological University.