

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДА ОБЕРТАЧА КОЛОНИ НАСОСНИХ ШТАНГ

Б. В. Копей\*, Н. Д. Білик

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15; тел. (0342) 727101,  
e-mail: koreyb@ukr.net

На даний час недостатньо досліджено ефективні методи очищення насосної штанги від асфальто-смолистих та парафінових речовин і солей з використанням обертачів колони штанг. Досі не розроблено штангообертачів, які суттєво зменшують знос тіла насосної штанги чи можуть застосовуватись для колон штанг із полімерних композитів.

Особливо актуальним є розроблення ефективного обертача насосних штанг, який забезпечував би безперервне обертання колони насосних штанг для очищення від парафінових відкладів. Вибір такого методу боротьби з АСПВ за умов збереження якості продукції та виконання нормативних показників супутніх робіт із забезпеченням необхідних техніко-економічних показників у сучасних умовах є важливим і актуальним питанням.

Розроблено конструкцію штангообертача, яка забезпечує безперервне обертання колони насосних штанг від незалежного привода. Дана модернізація конструкції штангообертача дає можливість зменшити кількість швидкозношуваних деталей; забезпечує незалежність обертання від ходу верстата-гойдалки, що дає змогу повертати колону штанг у моменти, коли балансир знаходиться у верхній чи нижній точці; обертання здійснюється плавно та без ривків, оскільки при механічному приводі можливі невеликі поштовхи (коли насосні штанги труться до НКТ); забезпечує легкість заміни зношених деталей загалом і доступність огляду та заміни привода.

За допомогою програми SolidWorks проведено скінченно-елементний аналіз, складено корпус і кришку штангообертача, які з'єднано за допомогою наскрізних болтів із крутним моментом, що створює стягуючу силу, рівну 120 кН. З отриманих даних видно, що в місцях кріплення кришки до корпусу обертача за допомогою болтів виникають незначні напруження, які є допустимими для даних матеріалів.

Проведено оцінку дії ваги колони штанг на корпус обертача. Встановлено, що деформації, які виникають в місцях кріплення кришки до основи, знаходяться в межах допуску.

Таким чином, дані удосконалення забезпечують безперервну дію штангообертача, що дасть змогу зменшити обсяги відкладів парафінів у свердловині, сповільнити знос штанг та НКТ. Проведено скінченно-елементний аналіз обертача, який свідчить про його працездатність у випадку прикладання експлуатаційних навантажень.

Ключові слова: насосна штанга, штангообертач, парафіновідкладення, безперервне обертання, скінченно-елементний аналіз, зубчасте колесо.

В настоящее время недостаточно исследованы эффективные методы очистки насосной штанги от асфальто-смолистых и парафиновых веществ и солей с использованием вращателей колонны штанг. До сих пор не разработаны штанговращатели, которые существенно уменьшают износ тела насосной штанги и могут применяться для колонн штанг из полимерных композитов. Особенно актуальной является разработка эффективного вращателя насосных штанг, обеспечивающего непрерывное вращение колонны насосных штанг для очистки от парафиновых отложений. Выбор такого метода борьбы с АСПВ при сохранении качества продукции и выполнения нормативных показателей сопутствующих работ с обеспечением необходимых технико-экономических показателей в современных условиях является важным и актуальным вопросом.

Разработана конструкция штанговращателя, которая обеспечивает непрерывное вращение колонны насосных штанг от независимого привода. Данная модернизация в конструкции штанговращателя дает возможность уменьшить количество быстроизнашиваемых деталей; обеспечивает независимость вращения от хода станка-качалки, что позволяет проворачивать колонну штанг в моменты, когда балансир находится в верхней или нижней точке; вращение осуществляется плавно и без рывков, так как при механическом приводе возможны небольшие толчки (когда насосные штанги трутся в контакте с НКТ); обеспечивает легкость замены изношенных деталей в целом и доступность осмотра и замены привода.

С помощью программы SolidWorks проведен конечно-элементный анализ, собраны корпус и крышка штанговращателя, взаимодействующие с помощью сквозных болтов с крутящим моментом, который создает стягивающую силу, равную 120 кН. Из полученных данных видно, в местах крепления крышки к корпусу

вращателя с помощью болтов возникают незначительные напряжения, которые являются допустимыми для данных материалов.

Проведена оценка воздействия веса колонны штанг на корпус вращателя. Установлено, что деформации, возникающие в местах крепления крышки к основанию, находятся в пределах допуска.

Таким образом, данные усовершенствования обеспечивают непрерывное действие штанговращателя, что позволит уменьшить объемы отложения парафинов в скважине и уменьшить износ штанг и НКТ. Проведен конечно-элементный анализ вращателя, свидетельствующий о его работоспособности при приложении эксплуатационных нагрузок.

Ключевые слова: насосная штанга, штанговращатель, парафиноотложение, непрерывное вращение, конечно-элементный анализ, зубчатое колесо.

*At present, there is not enough literature on the study of effective methods of the pump rod cleaning from asphalt-resinous and paraffinic substances and salts using the rod string rotator. At present, no rotators have been developed that significantly reduce the wear of the sucker rod body, or can be applied to polymer composite rods.*

*The development of an effective rod rotor, ensuring continuous rotation of the rod string for cleaning of paraffin deposits. The choice of this method against APSD in the conditions of preserving the quality of products and implementation of normative and economic indicators in modern conditions is an important and topical issue.*

*The design of the rod string rotator is developed, ensuring continuous rotation of the rod string from an independent actuator. This rotator design modernization makes it possible to reduce the amount of wearable parts, ensures independence of rotation from the progress of the rocking machine, which makes it possible to rotate the column of the rod at moments when the walking beam is at the top or bottom point, the rotation is carried out smoothly and without jerks, because with a mechanical drive slight jerks (when the rod is in contact with the tubing) is possible, the ease of replacing worn parts, inspection and replacement of the drive could be implemented.*

*Using SolidWorks, a finite-element analysis was performed; a body and a cover are connected by means of transverse bolts with a torque, which creates a pulling force equal to 120 kN. From the data obtained, it can be seen that in attachment points of the cover to the body of the rotary screw with the help of bolts, there are slight tensions that are permissible for these materials.*

*An assessment of the rod string weight on the rotating body was performed. It has been established that the deformations that occur in the attachment points of the cover to the base are within the tolerance.*

*Thus, these improvements provide a continuous operation of the rotator to reduce paraffin deposition in the hole and reduce the wear of the rod and tubing. A finite-element analysis of the rotator is performed, which testifies to its efficiency at application of operational loads.*

Key words: rod, rotator, paraffin deposition, continuous rotation, finite element analysis, gear wheel.

### **Актуальність проблеми**

При видобуванні нафти штанговою установкою плунжерний насос, занурений в пластову рідину, приводиться в дію шляхом передачі зворотного-поступального руху через колону насосних штанг, з'єднану з розташованим на поверхні верстатом-качалкою. На практиці, найбільш складними відмовами штангової свердловинної насосної установки є відмови її штангової колони внаслідок відкладення асфальтосмолистих речовин (АСПР) у свердловинному обладнанні, утворення асфальтосмолопарафінових відкладень (АСПВ), формування яких призводить до зниження продуктивності системи й ефективності роботи насосних установок та обривів і зношування штанг та муфт [1].

### **Виділення невирішених частин проблеми**

Не досліджено ефективні методи очищення насосної штанги від асфальто-смолистих та парафінових речовин і солей та методи їх розчищення з використанням обертачів колони

штанг. На даний час не розроблено штангообертачів, які суттєво зменшують знос тіла насосної штанги чи можуть застосовуватись для колон штанг з полімерних композитів.

### **Постановка задачі досліджень**

Особливо необхідно розробити ефективний обертач насосних штанг, який забезпечував би безперервне обертання колони насосних штанг для зняття відкладів парафінів. Вибір такого методу боротьби з АСПВ за умов збереження якості продукції та виконання нормативних показників супутніх робіт з одночасним забезпеченням необхідних техніко-економічних показників у сучасних умовах є важливим і актуальним питанням.

### **Основний матеріал дослідження**

Різноманітність умов розробки родовищ і необхідність перекачування парафінистої нафти вимагає індивідуального підходу до очищення труб і штанг. Методи боротьби із парафіновими відкладеннями можна поділити на дві



**Рисунок 1 – Класифікація сучасних методів боротьби із парафінізацією підземного комплексу СШНУ**

групи – попередження відкладень і їх видалення (рис. 1) [2].

Перші дають можливість використання засобів, які сповільнюють чи повністю припиняють процес утворення кристалів парафіну, другі – передбачають періодичне очищення обладнання від утворень, які не досягли розмірів, що суттєво ускладнюють роботу установки. Для боротьби з цими проблемами застосовують штангообертачі у комплекті зі шкребками.

Механічні методи припускають видалення відкладів АСПВ, що вже утворилися в НКТ. Для цієї мети розроблено ціла гамма шкребків різної конструкції.

За конструкцією та принципом дії шкребки поділяють на [3]:

- пластинчасті із штангообертачем, що мають дві різальні пластини, здатні очищати АСПВ тільки при обертанні. Для цього використовують штангообертачі, підвішені до головки балансира верстата-качалки. Обертання колони штанг і, отже, шкребків відбувається тільки під час нисхідного їх руху. У такий спосіб зрізаються АСПВ з поверхні НКТ;

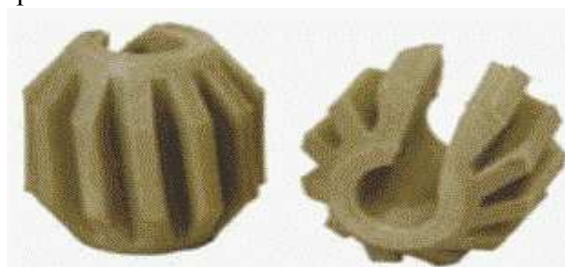
- спіральні, зворотно-поступальної дії;

- ті, що “літають”, оснащені ножами-крилами, які розкриваються під час висхідного руху, що забезпечує створення підйомної сили. Застосовують їх, як правило, у викривлених свердловинах.

Використання методу боротьби з АСПВ шкребками значно ускладнюється тим, що для його застосування доводиться зупинити свердловину і проводити попередню підготовку поверхні труб (для деяких видів шкребків). Крім

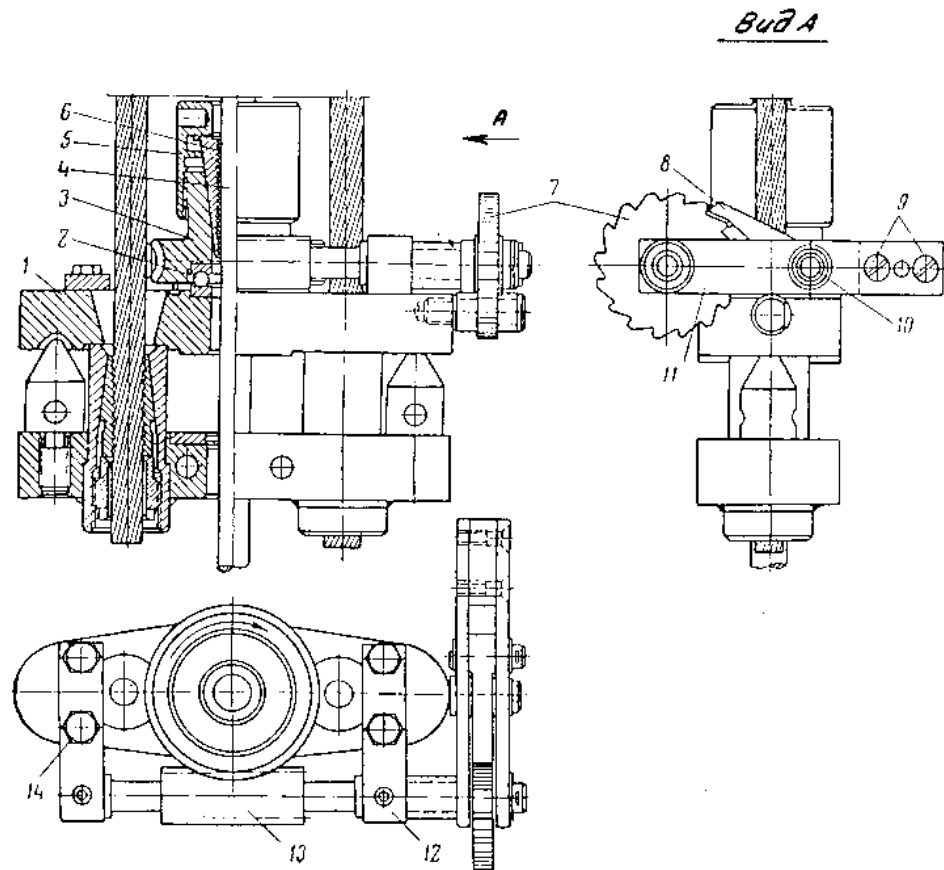
того, спостерігається надмірний знос штангової колони та труб НКТ, можливе застрягання шкребків, обрив їх кріплення та деякі інші ускладнення.

Для зменшення швидкості зношування штангової колони і труб НКТ рекомендується замість металевих пластинчастих шкребків на штангах встановлювати пластикові шкребки (рис. 2), що одночасно відіграють роль центраторів.



**Рисунок 2 – Шкребки-центратори Альметівського заводу „Радіоприлад”**

В даний час розроблено багато конструкцій обертачів колони штанг. Штангообертач з черв'ячною передачею і робочим ходом, який відповідає ходу колони штанг униз (модель MD-300 компанії R&M EnergySystems), конструктивно подібний до моделі Т-164, Т-302, Т-302SG, але відрізняється способом передачі зусилля для обертання. Обертання штанг виконується при ході колони вниз завдяки наявності вантажу, встановленому на кінці важеля. При цьому забезпечується постійний крутний момент і зменшується ймовірність проковзування в парі тертя “затискач полірованого штока – стіл штангообертача”. Ця модель штангообер-



1 - траверса канатної підвіски; 2 – упорний підшипник; 3 – опорний стакан з черв'ячним колесом;  
4 – полірований шток; 5 – затиска гайка; 6 – клинова плашка; 7 – храпове колесо;  
8 – собачка храпового механізму; 9 – гвинт; 10 – вісь собачки; 11 – важіль; 12 – планка;  
13 – черв'як; 14 – болт

**Рисунок 3 – Штангобертач із відкритою храповою і черв'ячною передачами**

тача не потребує застосування запобіжника і рекомендована для колон склопластикових насосних штанг.

Штангобертачі з храповим механізмом моделі PW-252 фірми “Weatherford” (Канада), T-252 компанії R&M EnergySystems (США) та Ш81-170 ЗАТ “МЕТАРОСС” (Росія) (рис. 3) складаються з корпусу 2, в якому розміщено упорний підшипник і храповий механізм. Корпус закривається кришкою 11. Зусилля передається через важіль 6, вал 16 і собачку храпового механізму на храпове колесо. До важеля 6 кріпиться трос, інший кінець якого через запобіжний затискач балансира кріпиться до балансира насосної установки. Кут повороту штанг за один хід колони значно більший, ніж в черв'ячних штангобертачів, але його конструкція простіша. Можливу ширину штангобертача обмежує віддаль між тросами підвіски, тому і діаметр, і модуль храпового колеса не можуть перевищувати певної величини. Наприклад, для підвіски типу ПСШ-15 віддаль між канатами дорівнює 144,5 мм, тоді зовнішній діаметр колеса не може бути більшим 120-125 мм,

а кількість зубів – не більше 30-36. Тому, враховуючи значні навантаження, які діють на храповий механізм штангобертача, важливою задачею є зменшення напружень у зачепленні шляхом вибору його оптимальних геометричних параметрів. Найбільш поширені види відмов - це поломка чи знос собачки і зубів храпового колеса. Тому в конструкції слід передбачити можливість заміни деталей храпового механізму без демонтажу штангобертача з СШНУ.

Штангобертач є частиною вузла головки свердловини, коли він знаходиться між головою свердловини і противикидним обладнанням. На рисунку 4 зображено штангобертач з електричним приводом компанії „MOST”. В даній конструкції застосовується черв'ячна передача для передавання обертового руху від джерела енергії до насосних штанг.

Привод даної установки може бути у двох виконаннях:

- механічне (застосування храпового колеса);
- електричне (джерело - електродвигун).

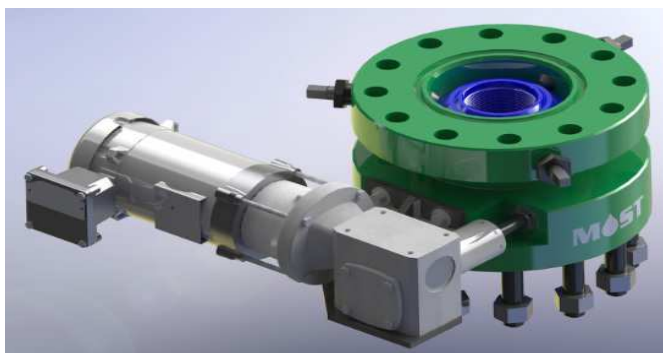


Рисунок 4 – Штангообертач компанії „MOST”



Рисунок 5 – Штангообертач фірми „Weatherford”

Таблиця 1 – Характеристики корпусів

Діаметр, дюйми/мм	Фактичний діаметр із втулкою, дюйми/мм	Робочий тиск (PSI/МПа)	Випробувальний тиск (PSI/МПа)
7-1/16"/180	6-1/2"/160	2000/13.79	4000/27.58
9"/228,6	8/1-4"/210	3000/20.68	6000/41.37
11"/279,4	10-1/4"/260	5000/34.47	7500/51.71

Друге виконання є кращим оскільки насосна штанга обертається постійно, не зважаючи на хід балансира. В першому випадку насосні штанги обертаються тільки при ході балансира вгору [4].

Як прототип вибираємо черв'ячний штангообертач американського виробництва „Tubing Rotators” компанії „Weatherford” (рис. 5).

Технічна характеристика штангообертача [5]:

- матеріал корпусу - NACE, який відповідає вимогам API 6A;
- обертач – це герметичний пристрій, який відповідає нормам тиску API;
- стандартні ущільнення оброблені пероксидом карбоксилатанітрилу;
- стопорні гвинти ротора і черв'ячної передачі азотовані для запобігання стиранню;
- черв'ячна передача і ротор повністю герметичний для запобігання забрудненню;

- вертикальні навантаження – динамічні 142 кН і статичні 560 кН;

- бокове навантаження – 534 кН;

- зрізне кільце попереджує надмірне затягування;

- електродвигуни доступні на 12, 110, 230/460 Вольт;

- різьба з профілем EUE є стандартною.

Принцип роботи даного штангообертача полягає в наступному: до електродвигуна підводиться електроенергія, яка приводить його в рух через редуктор, який змінює частоту обертання та обертає черв'ячну шестерню, яка входить у зачеплення з черв'ячним колесом і приводить в рух колону насосних штанг зі швидкістю 6 обертів на хвилину.

Ключові переваги даного обладнання:

- низькі витрати;
- простий монтаж і демонтаж обладнання;
- не потребує модифікації свердловини;
- не потрібна спеціальна підвіска для штанг.





Рисунок 6 – Штангообертач з електроприводом

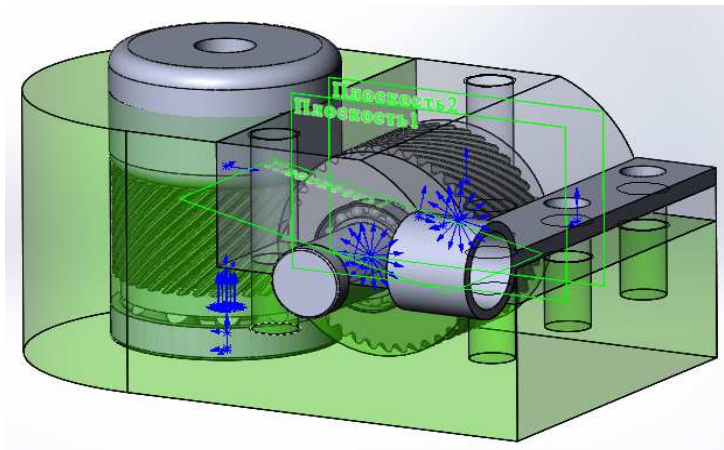


Рисунок 7 – Модернізований штангообертач з електроприводом

### Модернізація вузла проектного обладнання

Проблемою штангообертачів є те, що вони обертають колону насосних штанг тільки при ході балансира вниз або угору. Тому розроблено конструкцію привода штангообертача, яка забезпечує безперервне обертання колони насосних штанг від незалежного привода.

Дана модернізація в конструкції штангообертача дає можливість скоротити кількість швидкозношуваних деталей, незалежність обертання від ходу верстата-качалки, що дає змогу повертати колону штанг у моменти, коли балансір знаходиться верхній чи нижній точці; обертання здійснюється плавно та без ривків, оскільки при механічному приводі можливі невеликі поштовхи (коли насосні штанг труться до НКТ), легкість заміни зношених деталей загальною і доступність огляду і заміни привода (рис. 7).

Даний штангообертач був розроблений на основі аналізу існуючих штангообертачів з механічним приводом і приводом від електродвигуна.

В даній конструкції, яка має загальну масу 20 кг, був спроектований новий тип корпуса, оскільки черв'ячна передача була замінена на зубчасту евольвентну циліндричну передачу.

Заміна черв'ячної передачі на зубчасту евольвентну зумовлена низкою переваг:

- постійністю передавального числа, в даному зачепленні кількість зубів на колесі і на шестерні однакова, завдяки чому кількість зубів в зачепленні є однаковою і зменшується ймовірність поломки чи повертання зубчастого зачеплення;

- дана передача забезпечує великі потужності, що необхідно при приводі з електродвигуном;

- високий ККД ( $\eta=0,97-0,985$ );

- висока надійність та довговічність.

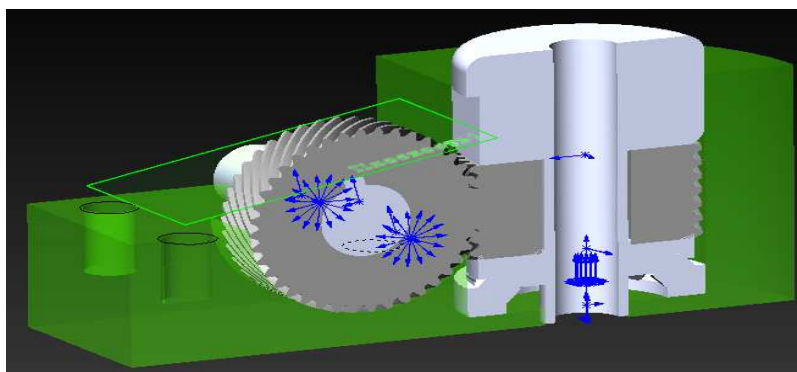


Рисунок 8 – Розріз штангообертача

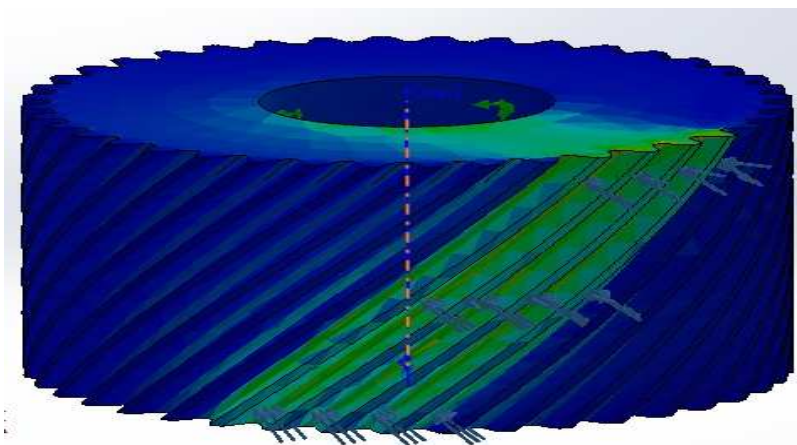


Рисунок 9 – Прикладений обертовий момент до зубчастого колеса

До недоліків даної передачі відноситься:

- складність виготовлення з використанням складного обладнання;
- неможливість здійснення безступінчастого регулювання;

- робота супроводжується шумом.

На рис. 8 показано змащування передачі і підшипників шестерні, яке здійснюється розбризкуванням за рахунок наявності масляної ванни в нижній частині корпусу під шестернею. Це дає змогу збільшити довговічність передачі і підшипників.

В даній конструкції замінений головний кульковий підшипник на роликовий підшипник. Перевага даного підшипника в тому, що він сприймає осьові та частково радіальні навантаження. Лінія проекції конусів доріжок кочення та роликів сходяться в одній точці, яка знаходиться на осі підшипника, що забезпечує низький рівень тертя та значно поліпшує якість кочення.

#### *Скінченно-елементний аналіз зубчастого евольвентного циліндричного колеса*

До зубчастого колеса прикладаємо максимальний допустимий обертовий момент 120 кН (рис. 9).

Зеленими стрілками позначено закріплення, сірим – прикладений обертовий момент. З епюри видно, що напруження, які виникають в зубчастому колесі, є допустимими.

Як видно з епюр переміщень (рис. 10), у верхній точці зачеплення можливе невелике переміщення, тобто зсув зубця при недопустимій частоті обертання.

З епюри деформацій (рис. 11) видно, що зубчасте колесо піддається незначним, допустимим деформаціям.

За допомогою програми SolidWorks проведено даний скінченно-елементний аналіз, складено корпус і кришку штангообертача, які з'єднано за допомогою наскрізних болтів із крутним моментом, що створює силу 120 кН.

Проведено оцінку дії ваги колони штанг на корпус обертача. Зеленими стрілками позначено закріплення, рожевими – прикладена сила.

Сила прикладання дорівнює 120 кН, деталь фіксується знизу.

У результаті аналізу з використанням програми SolidWorks, одержано дані (рис. 13), що вказують на виникнення незначних допустимих напружень в місцях кріплення кришки до корпусу обертача за допомогою болтів.

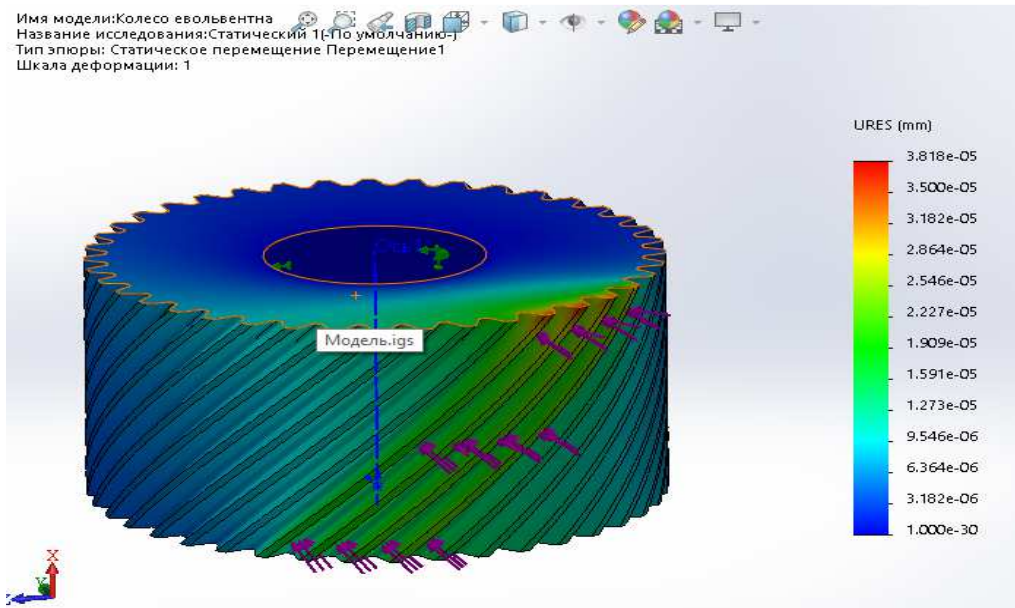


Рисунок 10 – Епюри переміщення

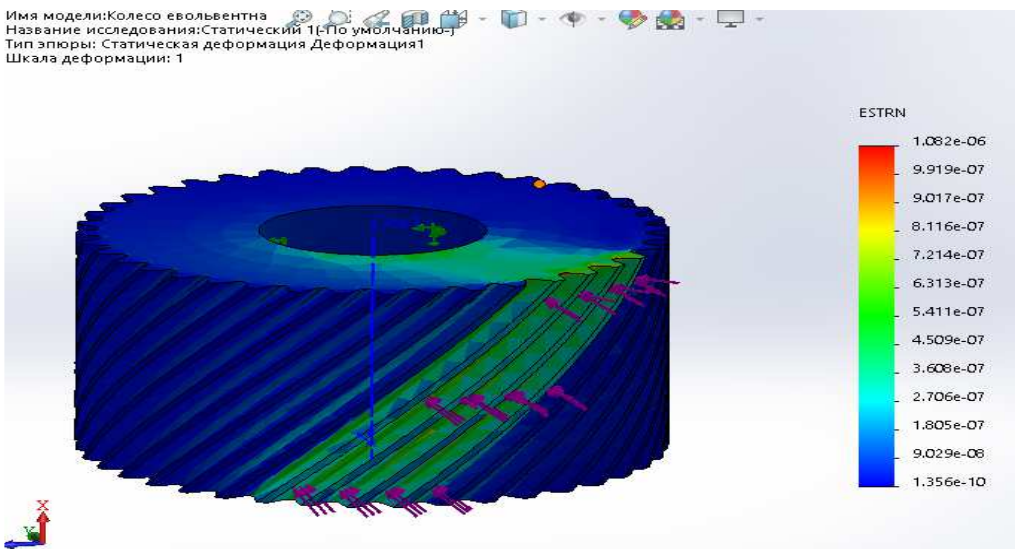


Рисунок 11 – Епюра деформацій зубчастого колеса

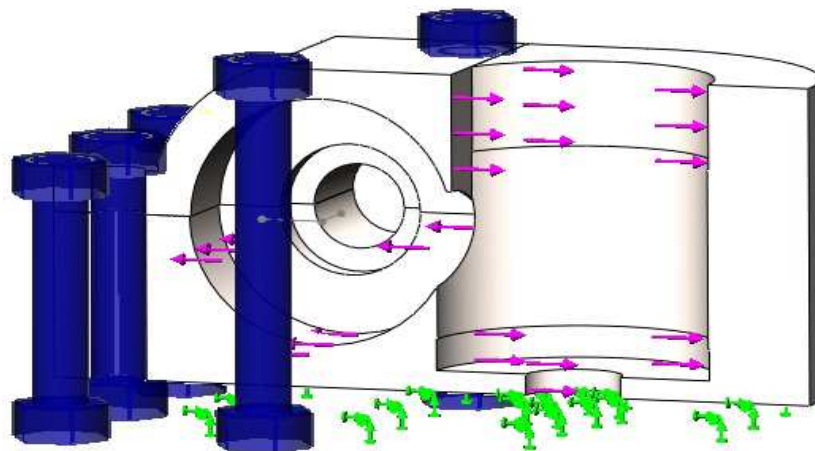


Рисунок 12 – Розподіл навантажень і місця фіксування деталі



Имя модели: Сборка1  
 Название исследования: Статический 1(-По умолчанию)  
 Тип элюэри: Статический узловое напряжение Напряжение1  
 Шкала деформации: 1

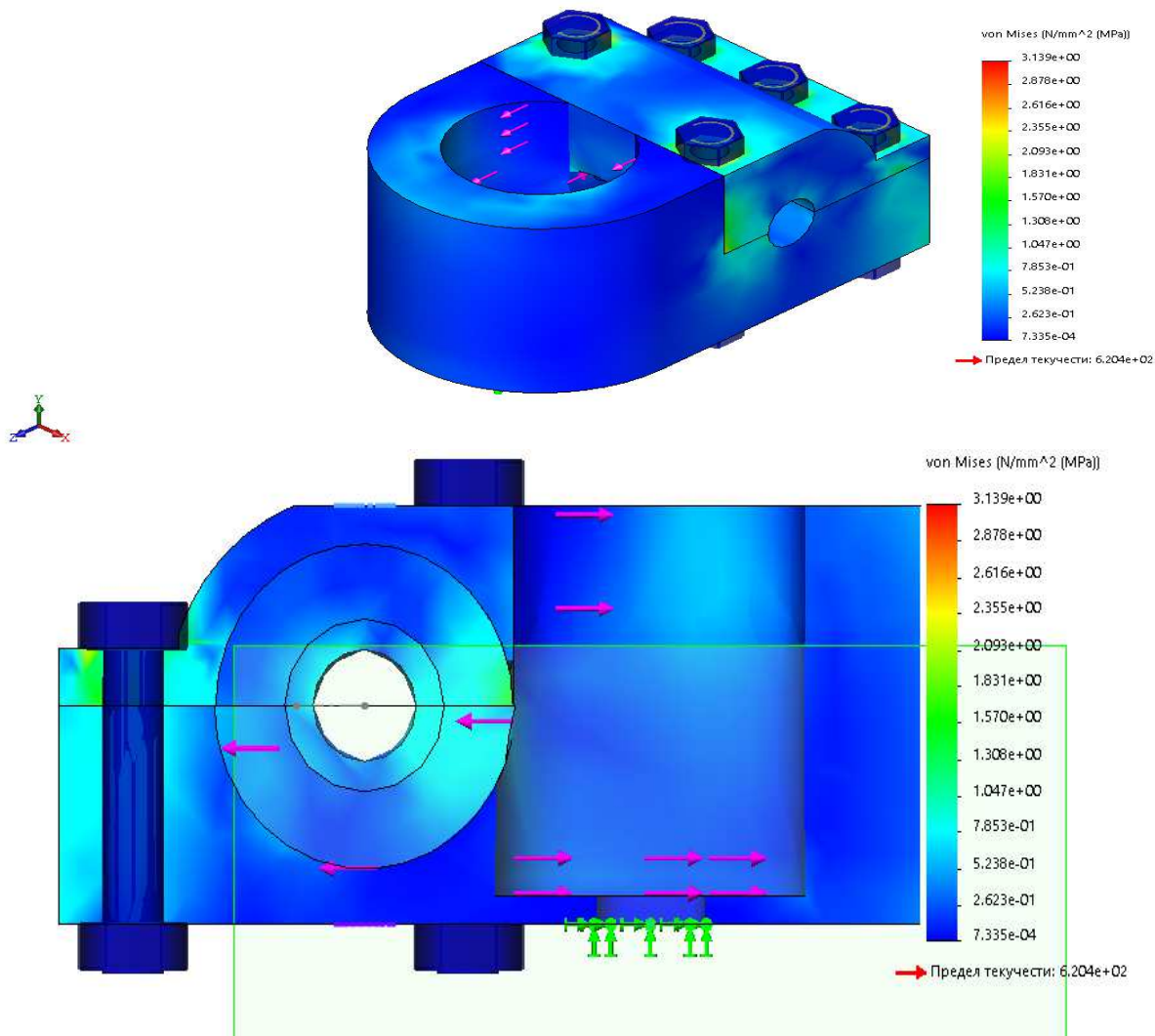


Рисунок 13 – Розподіл напружень в штангообертачі

Як видно з рис.14, деформації виникають в місцях кріплення кришки до основи, а їх величини залишаються в межах допуску.

скінченно-елементний аналіз обертача свідчить про його працездатність при прикладанні експлуатаційних навантажень.

### Висновки

1. Для підтримання насосних штанг у робочому стані на об'єктах експлуатації потрібно забезпечувати систему технічного обслуговування, слідкувати за виконанням правил експлуатації обладнання, вказаних в технічних умовах.

2. Діагностика стану насосних штанг буде більш достовірною за умови якісного очищення їх від асфальто-смолистопарафінових відкладів і солей.

3. Дані удосконалення забезпечують безперервну дію штангообертача, що дозволить зменшити відкладення парафінів у свердловині та зменшити знос штанг та НКТ. Проведений

### Література

1. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М. : ООО “Недра-Бизнес-центр”, 2000. 653 с.
2. Копей Б.В., Копей В.Б., Копей І.Б. Насосні штанги свердловинних установок для видобування нафти. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. 406 с.
3. Тронов В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними. М. : Недрa, 1995. 192 с.
4. <http://um.co.ua/8/8-11/8-11144.html>.
5. Clayton T. Hendricks, Russell D. Stevens. Sucker rod failure analysis. *Special report from Norris*. Tulsa, 2005. 15 p.

Имя модели: Сборка1  
 Название исследования: Статический 1 [-По умолчанию-]  
 Тип элэуры: Статическая деформация Деформация1  
 Шкала деформации: 1

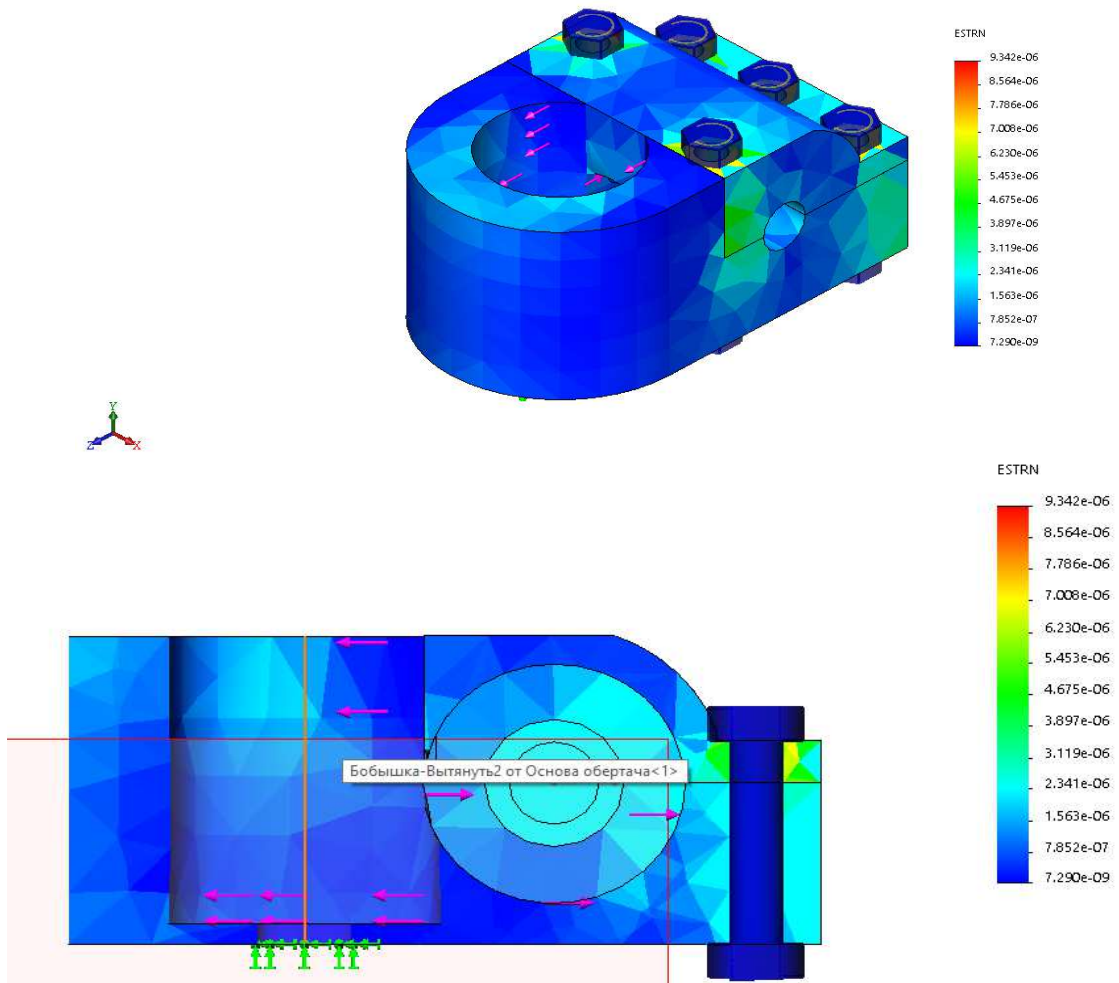


Рисунок 14 – Деформація штангообертача

### References

1. Persiyantsev M.N. *Dobycha nefty v oslozhnennykh uslovyakh*. M. : ООО “Nedra-Byznestsentr”, 2000. 653 p.
2. Kopey B.V., Kopey V.B., Kopey I.B. *Nasosni shtanhy sverдловnykh ustanovok dlya vydobuvannya nafty Ivano-Frankivsk* : IFNTUNH, 2009. 406 p.
3. Tronov V.P. *Mekhanizm obrazovaniya smolo-parafynovykh otlozheniy i borba s nymy*. M. : Nedra, 1995. 192 p.
4. <http://um.co.ua/8/8-11/8-11144.html>.
5. Clayton T. Hendricks, Russell D. Stevens. *Sucker rod failure analysis. Special report from Norris*. Tulsa, 2005. 15 p.