

Технічні науки

УДК 622. 276.53

Копей Богдан Володимирович

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри нафтогазового обладнання

Івано-Франківський національний технічний університет нафти й газу

Копей Богдан Владимирович

доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой нефтегазового оборудования

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Korey Bogdan

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of the Department of Oil and Gas Equipment

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Мартинець Оксана Романівна

асистент кафедри РЕНГР

Івано-Франківський національний технічний університет нафти й газу

Мартынец Оксана Романовна

ассистент кафедры РЭНГР

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Martynets Oksana

Assistant of the

Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

АНАЛІЗ ПОЛОМОК НАСОСНИХ ШТАНГ В РІЗНИХ УМОВАХ

ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УКРАЇНІ ТА США

АНАЛИЗ ПОЛОМОК НАСОСНЫХ ШТАНГ В РАЗЛИЧНЫХ

УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УКРАИНЕ И США

ANALYSIS OF PUMP STONE SOLUTION IN DIFFERENT OPERATIONAL CONDITIONS IN UKRAINE AND USA

Анотація. Насосні штанги при експлуатації в свердловинах часто обриваються і такі поломки потребують тривалих та дорогих підземних ремонтів [1]. Цікавим є порівняння поломок штанг в різних умовах експлуатації, зокрема в НГВУ «Долинанафтогаз», НГВУ «Бориславнафтогаз», а також в умовах американських нафтових промислів.

Ключові слова: насосні штанги, навантаження, тріщини, напруження, поломки.

Аннотация. Насосные штанги при эксплуатации в скважинах часто обрываются и такие поломки требуют длительных и дорогих подземных ремонтов [1]. Интересным является сравнение поломок штанг в различных условиях эксплуатации, в том числе в НГДУ «Долинанафтогаз», НГДУ «Бориславнафтогаз», а также в условиях американских нефтяных промыслов.

Ключевые слова: насосные штанги, нагрузка, трещины, напряжения, поломки.

Summary. Pumping the rod when operating wells are often cut off and such failure requiring long and expensive underground repairs [1]. It is interesting to compare breakdowns rods in various environments, including OGPD "Dolynanaftogas" OGPD "Borislavneftgaz", as well as in US oil fields.

Key words: pumping weights, loads, cracks, stress breakage.

Виклад основного матеріалу. Всі поломки насосних штанг і муфт діляться на руйнування під дією осьових зусиль розтягу і поломки від втоми матеріалу [2]. Руйнування під дією зусиль розтягу відбувається, коли прикладене навантаження перевищує межу міцності штанги матеріалу.

Навантаження концентрується в деякій точці колони штанг, створюючи зусилля розтягу на циліндричній поверхні штанги, і розрив відбувається на тому місці, де поперечний переріз найменший. Цей механізм поломки характерний тільки в тих випадках, коли на колону штанг діє дуже велике навантаження, при працюючому свердловинному насосі. Для уникнення поломок від розтягу необхідно, щоб максимальне зусилля від дії ваги колони штанг не перевищувало 90% межі міцності матеріалу в поперечному перерізі насосної штанги з найменшим діаметром. Всі інші поломки насосних штанг - це поломки, спричинені втомою матеріалу.

Поломки від втоми відбуваються з наростанням пошкодження і починаються з малої тріщини, яка збільшується під дією циклічного навантаження. Навантаження, що спричиняє цю поломку, має максимальне значення, яке є набагато меншим за границю міцності чи границю плинності матеріалу насосної штанги. Оскільки навантаження розподіляється приблизно однаково по всьому тілу колони штанг, будь-яке пошкодження, яке послаблює область поперечного перерізу тіла штанги, збільшить навантаження в точці пошкодження, і це місце буде концентратором напружень. Мала втомна тріщина формується в точці - концентраторі напружень, і поширюється перпендикулярно до лінії дії навантаження або осі тіла штанги. Оскільки втомна тріщина під дією циклічного навантаження поступово збільшується, спряжені поверхні перелому то віддаляються то наближаються, при цьому вони мають гладку і поліровану поверхню зламу. Оскільки глибини втомної тріщини збільшується, при цьому скорочується ефективна площа поперечного перерізу насосної штанги до того моменту, поки вона здатна витримувати навантаження, і насосна штанга просто переламується надвоє. Поверхні руйнування типової поломки від втоми мають три зони: 1) частину поступового розвитку тріщини, 2) частину деформацій від зусиль розтягу, 3) завершальний розрив.

Втомні поломки спричиняються різноманітними концентраторами навантажень. Концентратор навантажень - це видимі або мікроскопічні виїмки, які викликають зростання напруженості в місці їх утворення, під дією навантаження на колону штанг. Типові видимі концентратори навантажень на насосних штангах і муфтах це - згин, корозія, тріщини, поверхневі дефекти, механічні пошкодження, різьби, місця зносу або будь-яка комбінація цих пошкоджень. Небезпека поломки найбільш критична, коли на колону штанг діють навантаження, перпендикулярні до основного навантаження розтягу. Для виявлення концентраторів навантажень, після поломки місця розриву штанг необхідно ретельно чистити і уважно оглядати. Втомні поломки мають видимі або мікроскопічні особливості на поверхні зламу, які допомагають визначити розташування концентратора навантажень. Так звані «береги», «бороздки» і «сколи» - це три найхарактерніші ознаки в ідентифікації поломки від втоми. «Береги» - це лінії, які походять від перетину і з'єднання втомних тріщин. «Бороздки» указують наступне положення просування втомної тріщини. «Береги» паралельні до основного напрямку збільшення тріщини і мають напрямок до початкової точки поломки. «Бороздки» - це еліптичні, або напівеліптичні кільця, що розходяться від початку координат перелому, і указують наступні положення приросту втомної тріщини. Скольні ділянки характеризують крихкі механізми руйнування.

Рис.1 - це приклади поломок від розтягу і втоми. Два зразки справа – це поломки від надмірних зусиль розтягу. Поломка розтягу характеризується зменшенням в діаметрі поперечного перерізу в точці зламу. Типові поломки від розтягу мають конусні кінці частин розриву. Другий зразок справа типовий для поломок розтягу. Переломи від розриву розтягом мають напрямок під кутом 45° до прикладеного зусилля. Візуальний огляд поверхні перелому виявляє малу, напівеліптичну втомну тріщину. Ця насосна штанга мала перед застосуванням поперечні втомні

тріщини від внутрішнього напруження. Одна з внутрішніх втомних тріщин відкрилась під дією постійного навантаження, яке діяло на штангу під час експлуатації свердловинного насосу.

Руйнування розтягу вторинне, і призводить до утворення нестандартного вигляду поверхні розриву з невеликою частиною втоми, великою частиною розтягу і дуже великою частиною подвійних розривів під кутом 45°.



Рис. 1. Поломки від розтягу і втоми насосних штанг

Решта зразків, - це втомні поломки на: насосних штангах з поверхневим зміцненням; нормалізованих і відпущених насосних штангах; загартованих та відпущених насосних штангах. Крайній лівий зразок - це поломка втоми від деформації кручення. «Береги», що знаходяться у великій частині втоми, і поширюються від поверхні тіла штанги, цілком оточили поверхню перелому з малою розтяжною частиною розриву, що знаходиться майже по центру. Другий зразок зліва - це приклад втомної поломки штанги з поверхневим зміцненням струмами високої частоти. Зміцнений поверхневий шар металу тіла штанги несе основне навантаження цієї насосної штанги підвищеної міцності, і якщо пошкодиться цей поверхневий шар, то значно зменшиться міцність насосної штанги цього класу. Втомна тріщина перетинає зміцнений поверхневий шар і збільшується в глибину крізь тіло штанги. Поверхня втомного руйнування на насосній штанзі з поверхневим зміцненням загалом складається з малої частини втоми і великої частини розриву від зусиль розтягу. Третій зразок

зліва є типовим прикладом більшості поломок від втоми. Типові поверхні втомного розриву мають частину втоми, частину розтягу і завершальний розрив тіла. Ширина частини втоми вказує на величину навантаження, яке діяло під час розриву штанги. Механічне пошкодження можуть перешкодити аналізу поломки за рахунок знищення візуальних ознак і особливостей, що є на поверхні розриву. Огляд необхідно здійснювати відразу після підняття з свердловини половинок розірваної штанги. Дуже важливо не зберігати розірвані частини поверхні розлому разом, оскільки це майже завжди знищує мікроскопічні особливості розірваних поверхонь. Щоб уникати механічного пошкодження, поверхні перелому не повинні торкатися одна одну під час зовнішнього обстеження.

Механічні поломки

Механічні поломки складають великий відсоток всіх поломок колони штанг. Механічні поломки включають всі типи поломок, окрім виробничих дефектів і корозійної втоми. Механічному пошкодженню колони штанг сприяє концентратор навантажень, який викликає поломки насосних штанг. На причини поломки впливають багато факторів, з яких найбільш важливими є: максимальне навантаження, робоче середовище, розміщення пошкодження, хімічний склад насосної штанги, тип термічної обробки насосної штанги, діапазон навантажень і вид пошкодження. Механічні пошкодження можуть виникнути з причин: помилки в конструкції свердловинної штангової насосної установки (СШНУ); невідповідного обслуговування і транспортних операцій; недбалих монтажних робіт; застарілих виробничих процесів; або будь-якої комбінації цих причин.

Поломки від згину штанг

Поломки від згинаючих напружень складають найбільшу частину від числа всіх механічних поломок. Незаперечним фактом є те, що всі зігнуті насосні штанги в решті-решт ламаються. Нові насосні штанги виготовляються з відхиленням від прямолінійності тіла, що не перевищує

1,5 мм на 3-х метрах довжини штанги. Будь-який ступінь згину, більший від допустимого, викличе зростання місцевого напруження в точці згину під час дії навантаження. Коли викривлене тіло штанги розтягується під дією навантаження, то в окремих місцях штанги швидко досягається межа міцності матеріалу. Цикл постійного перевищення межі міцності матеріалу повторюється протягом циклу роботи насосної установки, і сприяє утворенню втомних тріщин на внутрішній стороні згину. Під дією навантаження ці втомні тріщини збільшуються в перпендикулярному напрямку до осі штанги, до того моменту, поки залишки тіла штанги витримують навантаження, після чого відбувається злам.

Вирівнювання сирої пруткової заготовки - це перший крок в процесі виготовлення насосних штанг. Холодне вирівнювання прутка деформує структуру зерна металу при температурі нижче температури рекристалізації. При цьому, крім вирівнювання прутка, досягається ефект зміцнення матеріалу. Функція термічної обробки під час процесу виготовлення штанги - це зняття залишкових і індукційних напружень, викликаних прокатуванням, вирівнюванням та штампуванням прутка. Термічна обробка змінює металургійну структуру кованих кінців, щоб вони були однорідні з тілом штанги, а також покращує механічні властивості насосної штанги. Будь-який згин тіла штанги після термічної обробки є наслідком виникнення областей з різною твердістю. Ці умови є причиною виникнення концентратора навантажень. Механічна обробка, як наприклад, проходження закінченої насосної штанги через систему валків, вирівнює згин. Після такої обробки штанга стає майже ідеально прямою. Проте, технологічні процеси відновлення не придатні для насосних штанг, які використовувались і були зігнуті під час видобутку нафти. Зігнуті насосні штанги постійно ушкоджуються і не повинні використовуватися, тому що всі зігнуті насосні штанги вкінці-кінців ламаються.



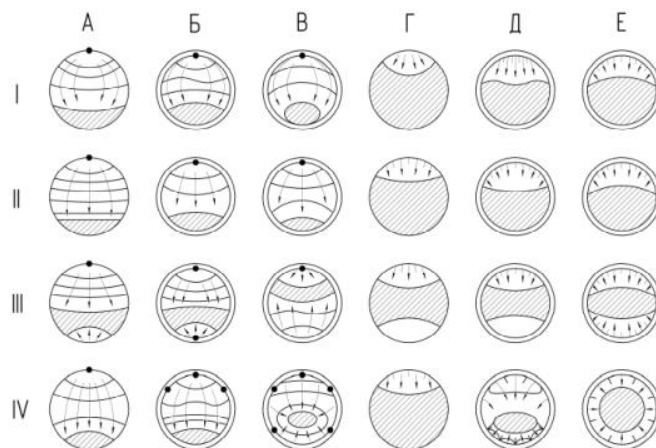
Рис. 2. Втомні поломки зігнутих штанг (вид з торця штанги)

На рис. 2 та рис. 3 наведені приклади поломок втоми зігнутих штанг. Характерною ознакою втомних поломок зігнутих штанг є скошена поверхня перелому, яка нахилена до осі тіла штанги під кутом, відмінним від 90° . Лівий приклад на рис. 2 і рис. 3 ілюструє злам, викликаний великим радіусом згину тіла штанги. Поверхня перелому нормальна в зовнішньому виді, але має невеликий кут нахилу до осі тіла штанги. Середній приклад на рис. 2 і правий приклад на рис. 3 - це поломка від короткого радіусу згину. Поверхня перелому знаходиться під більшим кутом нахилу до осі тіла штанги з малою частиною втоми і великою частиною розриву від розтягу. Приклад справа (рис. 2) є наслідком згину насосної штанги, що рухається по спіралі. Зверніть увагу, як вигнута поверхня перелому в зовнішньому виді. Як правило, чим більше згин тіла штанги, тим більше вигнута поверхня перелому. На практиці період часу від згину до перелому штанги дуже короткий. Як правило, причиною згину штанг є недбале транспортування, зберігання і обслуговування.



Рис. 3. Втомні поломки зігнутих штанг (вид з боку)

Втомні злами деталей при різних видах навантаження мають певні ознаки, які наведені на рис. 4.



I – растяжение; II – односторонний изгиб; III – двухсторонний изгиб; IV – изгиб при вращении
А, Г – естественный локальный концентратор; Б, Д – слабый концентратор по окружности; В, Е – сильный концентратор по окружности
А, Б, В – умеренные номинальные напряжения; Г, Д, Е – высокие номинальные напряжения

Рисунок 1.5 – Классификация усталостных макроизломов в зависимости от характера и вида нагружения

Рис. 4. Класифікація втомних зламів при різних видах навантаження

Зібрані нами дані з поломок насосних штанг в Україні та отримані дані з літературних джерел в США [3] показують що в основному

Таблиця 1

**Обриви насосних штанг та втрати нафти за 2015р в НГВУ
"Долинанафтогаз"**

| № | Родовище | Глибина обриву, м | Діаметр обірваних насосних штанг | Характер обриву | Середня тривалість ремонту, діб | Втрати нафти, тонн |
|----|--------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|
| 1 | Долинське | 344 | 22 | Обірвана муфта | 4 | 0,44 |
| 2 | Північно-Долинське | 1000 | 19 зі Скребками | Несправна муфта | 4 | 10,44 |
| 3 | Долинське | 1200 | 22 | Обрив по тілу | 4 | 15,96 |
| 4 | Долинське | 236 | 22 | Обрив по тілу | 4 | 13,72 |
| 5 | Долинське | 760 | 22 | Обірвана муфта | 4 | 26,28 |
| 6 | Долинське | 1128 | 22 | Зрізана різьба в ніпелі | 4 | 22,12 |
| 7 | Північно-Долинське | 630 | 19 | Обрив по тілу | 4 | 5,6 |
| 8 | Долинське | 1288 | 19 | Обірвана муфта | 4 | 4,12 |
| 9 | Долинське | 296 | 22 | Тріснута муфта | 4 | 7,6 |
| 10 | Долинське | 624 | 22 | Обрив по тілу | 4 | 5,4 |
| 11 | Долинське | 216 | 25 | Пошкоджена різьба у муфті | 4 | 22,36 |
| 12 | Долинське | 0 | 25 полірований шток (пш) | обірвана різьба | 4 | 19,6 |
| 13 | Долинське | 376 | 22 | зрізана різьба у муфті | 4 | 33,92 |
| 14 | Долинське | 0 | 25пш | обрив штока | 4 | 8,28 |
| 15 | Долинське | 0 | 25пш | обрив штока | 4 | 8,36 |
| 16 | Долинське | 568 | 22скр | обрив по тілу | 4 | |
| 17 | Долинське | 72 | 22 | обрив муфти | 4 | 9,16 |
| 18 | Долинське | 440 | 22 | тріснута муфта | 4 | 9,24 |

| | | | | | | |
|----|------------------------|------|---------------------------|--------------------|---|-------|
| 19 | Долинське | 0 | 25 полірований шток | обрив штока | 4 | 9,28 |
| 20 | Долинське | 1496 | 22 | протерта муфта | 4 | 9,4 |
| 21 | Долинське | 0 | 25 полірований шток | обрив штока | 4 | 9,52 |
| 22 | Долинське | 120 | 22 | по тілу | 4 | 11,12 |
| 23 | Півн- Долинське | 1390 | 19 | обірвана різьба | 4 | 11,08 |
| 24 | Долинське | 1770 | 19 | обрив муфти | 4 | 11,04 |
| 25 | Долинське | 1350 | 22 | обрив муфти | 4 | 9,56 |
| 26 | Долинське | 1456 | 19 | вирвано з муфти | 4 | 8,44 |
| 27 | Долинське | 106 | 22 | муфта | 4 | 8,28 |
| 28 | Північно- Долинське | 1390 | 22 | протерта муфта | 4 | 7,44 |
| 29 | Долинське | 697 | 22 | обрив муфти | 4 | 7,36 |
| 30 | Долинське | 1313 | 25 | обрив по тілу | 4 | 7,28 |
| 31 | Долинське | 40 | 25 | обрив муфти | 4 | 5,96 |
| 32 | Долинське | 480 | 22 | по тілу | 4 | 5,6 |
| 33 | Долинське | 464 | 22 | по тілу | 4 | 5,52 |
| 34 | Долинське | 115 | 25 | на різьбі | 4 | 4,48 |
| 35 | Долинське | 1501 | 19 | протерта муфта | 4 | 4,32 |
| 36 | Долинське | 1616 | 19 | по тілу | 4 | 2,96 |
| 37 | Долинське | уста | 25 | | 4 | |
| 38 | Долинське | 472 | 22 | обрив муфти | 4 | 1,96 |
| 39 | Долинське | 530 | 22 | обрив муфти | 4 | 1,28 |
| 40 | Долинське | уста | 25 | по тілу | 4 | 23,88 |
| 41 | Долинське | уста | 25 | по тілу | 4 | 23,68 |

| | | | | | | |
|----|----------------|------|--------|-------------------------|---|-------|
| 42 | Долинське | 1500 | 19 | муфта | 4 | 20,52 |
| 43 | Півн-Долинське | 115 | 22скр | по тілу | 4 | 19,44 |
| 44 | Долинське | 356 | 22 | Обірвана муфта | 4 | 12,12 |
| 45 | Долинське | 1400 | 19 скр | Несправна муфта | 4 | 11,68 |
| 46 | Долинське | 1300 | 22 | Обрив по тілу | 4 | 11,04 |
| 47 | Долинське | 286 | 22 | Обрив по тілу | 4 | 13,72 |
| 48 | Долинське | 750 | 22 | Обірвана муфта | 4 | 26,28 |
| 49 | Долинське | 1188 | 22 | Зрізана різьба в ніпелі | 4 | 10,8 |
| 50 | Долинське | 730 | 19 | Обрив по тілу | 4 | 10,44 |
| 51 | Долинське | 1188 | 19 | Обірвана муфта | 4 | 9,8 |
| 52 | Долинське | 496 | 22 | Тріснула муфта | 4 | 9,52 |
| 53 | Долинське | 824 | 22 | Обрив по тілу | 4 | 9,4 |
| 54 | Долинське | 521 | 25 | погана різьба у муфті | 4 | 9,28 |
| 55 | Долинське | 0 | 25 пш | обірвана різьба | 4 | 9,24 |
| 56 | Долинське | 386 | 22 | зрізана різьба у муфті | 4 | 9,16 |
| 57 | Долинське | 0 | 25пш | обрив штока | 4 | 9,16 |
| 58 | Долинське | 0 | 25пш | обрив штока | 4 | 8,92 |
| 59 | Долинське | 624 | 22скр | обрив по тілу | 4 | |
| 60 | Долинське | 158 | 22 | обрив муфти | 4 | 8,6 |
| 61 | Долинське | 215 | 22 | тріснута муфта | 4 | 8,56 |
| 62 | Долинське | 0 | 25пш | обрив штока | 4 | 8,36 |
| 63 | Долинське | 1396 | 22 | протерта муфта | 4 | 8,28 |
| 64 | Долинське | 0 | 25 пш | обрив штока | 4 | 8,12 |

Таблиця 2

Обриви насосних штанг за 1979 –2015 роки в НГВУ "Долинанафтогаз"

| Характер обриву | Роки | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|---------|-------|
| | 1979 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | |
| Обрив | | | | | | | | | |
| – по тілу | 66 | 93 | 75 | 45 | 46 | 31 | 37 | 37 | |
| – по різьбі | 18 | 30 | 48 | 56 | 36 | 37 | 27 | 16 | |
| – по штоку | 30 | 23 | 32 | 49 | 41 | 23 | 21 | 33 | |
| – по муфті | 6 | 13 | 13 | 15 | 10 | 13 | 14 | 18 | |
| Відгвинчування штанг | 2 | 6 | 19 | 22 | 38 | 16 | 7 | 5 | |
| Всього | 122 | 165 | 187 | 187 | 171 | 120 | 106 | 109 | |
| Характер обриву | Роки | | | | | | | Загалом | % |
| | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 2014 | 2015 | | |
| Обрив | | | | | | | | | |
| – по тілу | 40 | 31 | 77 | 60 | 63 | 28 | 18 | 753 | 36,03 |
| – по різьбі | 31 | 30 | 33 | 30 | 25 | 32 | 9 | 458 | 21,91 |
| – по штоку | 27 | 19 | 48 | 30 | 33 | 19 | 8 | 436 | 20,86 |
| – по муфті | 21 | 16 | 24 | 27 | 24 | 37 | 27 | 278 | 13,3 |
| Відгвинчування штанг | 12 | 4 | 7 | 12 | 10 | 3 | 2 | 165 | 7,8 |
| Всього | 131 | 100 | 189 | 159 | 161 | 119 | 64 | 2090 | 100,0 |

Таблиця 3

Обриви насосних штанг на промислах США (Пермський басейн) [3]

| Характер обриву | Роки | | | | | Загалом | % |
|-----------------|------|------|------|------|------|---------|------|
| | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | | |
| Обриви: | | | | | | | |
| – по тілу | 385 | 266 | 179 | 219 | 191 | 1240 | 34,5 |
| – по різьбі | 263 | 205 | 119 | 106 | 87 | 780 | 21,7 |
| – по штоку | 147 | 76 | 117 | 47 | 34 | 421 | 11,7 |
| – по муфті | 225 | 142 | 79 | 92 | 68 | 606 | 16,9 |

| | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|--|------|------|
| Відгвинчування штанг, інші відмови | 192 | 132 | 97 | 65 | 59 | | 545 | 15,2 |
| Всього | 1212 | 821 | 591 | 529 | 439 | | 3592 | 100 |

Висновки з даного дослідження. Аналіз показує, що процент поломок та різниця між кількістю поломок в НГВУ "Долинанаштогаз" та в фірмах США складає:

- для тіла штанг – $36,0\% - 34,5\% = 1,5\%$
- для різьби – $21,9\% - 21,7\% = 0,2\%$
- для полірованого штока – $20,9\% - 11,7\% = 9,2\%$
- для муфт – $13,3\% - 16,9\% = 3,6\%$ (гірші показники в США)
- інші відмови – $7,8\% - 15,2\%$ (гірші показники в США).

Література

1. Копей Б.В., Зінченко Ю.С., Копей В.Б. Аналіз поломок насосних штанг в промислових умовах. Науковий вісник Національного технічного університету нафти і газу. - № 2(18). - 2008. - с. 49-56.
2. Clayton T. Hendricks, Russell D. Stevens. Sucker rod failure analysis. Special report from Norris. Tulsa . – 2005. - 15 pp.
3. Zhanyu Ge. Statistical analysis of sucker rod pumping failures in the Permian basin, B.S.E., M.S.E. a thesis in Petroleum Engineering May, 1998, - 156 pp.