

Литература

1. Данилин, В. П. Гироскопические приборы [Текст]: учеб. пособ. / В. П. Данилин; Минвуз СССР. — М.: Высш. школа, 1965. — 539 с.
2. Ривкин, С. С. Теория гироскопических устройств [Текст]: моногр. / С. С. Ривкин. — Л.: Судостроение, 1964. — Ч. 2. — 547 с.
3. Бойко, Г. Линеино упругий подвес поплавкового гироскопа в акустическом поле [Текст] / Г. В. Бойко // Технологический аудит и резервы производства. — 2013. — № 6/1(14). — С. 7–10.
4. Karachun, V. V. Influence of diffraction effects on the inertial sensors of a gyroscopically stabilized platform: three-dimensional problem [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nik // International Applied Mechanics. — 2012. — Vol. 48, № 4. — P. 458–464. doi:10.1007/s10778-012-0533-y
5. Karachun, V. V. Elastic stress state of a floating-type suspension in the acoustic field. Deviation of the spin axis [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nik // Strength of Materials. — 2012. — Vol. 44, № 6. — P. 668–677. doi:10.1007/s11223-012-9421-2
6. Шибецкий, В. Ю. Збурючий вплив на чутливі датчики ГСП при льотній експлуатації гіперзвукових літальних апаратів [Текст] / В. Ю. Шибецкий // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Достижения высшей школы-2013», 17–25 листопада 2013 р., Болгарія, Софія. — Софія: Бял ГРАД-БГ, 2013. — С. 12–16.
7. Косова, В. П. Вплив ударної хвилі на газові бульбашки сенсора [Текст] / В. П. Косова // Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «WYKSZTALCENIE I NAUKA BEZ GRANIC-2012», 07–15 grudnia 2012 roku. — Przemysł: Nauka i studia, 2012. — Vol. 35. Techniczne nauki. — С. 79–81.
8. Бойко, Г. В. Реакция поплавкового подвеса на действие N -волны [Текст] / Г. В. Бойко // Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Strategiczne pytania swiatowew

nauki-2014», 07–15 Lutego, 2014 rok. — Przemysł: Nauka i studia, 2014. — Vol. 35. Techniczne nauki. — С. 78–80.

9. Лозовик, Т. М. Стационарна взаємодія акустичного випромінювання з коловою пластиною [Текст] / Т. М. Лозовик // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 5/7(53). — С. 20–23.
10. Забрда, А. А. Дифракційні ефекти в інерціальних системах [Текст] / А. А. Забрда, А. А. Кривец // XIII Міжнародна науково-практ. конф. «Людина і космос», 13–15 жовтня 2011 р. — Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2011. — С. 24.

ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЗВУКОВОЙ ВОЛНОЙ НИЗКОЧАСТОТНОГО РЕЗОНАНСА В ПОПЛАВКОВОМ ГИРОСКОПЕ

Строится расчетная схема упругого взаимодействия акустического излучения с поплавковым гироскопом при эксплуатационном использовании в условиях гиперзвукового движения. Доказано, что на низких частотах, значительно меньших граничной частоты, окружная волна в корпусе гироскопа порождает волновое совпадение резонансного типа, когда корпус прибора становится акустически прозрачным.

Ключевые слова: поплавковый гироскоп, акустическое излучение, волновое совпадение, низкочастотный резонанс.

Бойко Галина Володимирівна, аспірант, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: karachun11@i.ua.

Бойко Галина Владимировна, аспирант, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Boyka Galina, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: karachun11@i.ua.

УДК 629.7.054

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.29906

Шибецкий В. Ю.

КОРЕКЦІЯ ПОХИБКИ ГІРОСКОПА В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ОБ'ЄМНОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ ПОПЛАВКОВОГО ПІДВІСУ

Наводиться кількісний аналіз додаткової систематичної похибки поплавкового гироскопа, що використовується в навігаційних системах авіаційної та космічної техніки, при взаємодії з потужними акустичними полями. Запропоновано перехід від підвісу у вигляді класичного коллового циліндра до опуклого підвісу. Визначено вплив гаусової кривизни підвісу поплавка на похибку вимірювань.

Ключові слова: поплавковий гироскоп, ненульова гаусова кривизна, опуклий підвіс, N -хвиля.

1. Вступ

Дослідження відносяться до технології машинобудування. З метою забезпечення надійної навігації гіперзвукових літальних апаратів, незаперечною постає необхідність побудови триортогональної системи координат, жорстко зв'язаною з фюзеляжем літального апарата (ЛА). Зазвичай таку функцію виконує гіростабілізована платформа, в якій двостепеневі поплавкові гироскопи виконують функції чутливих елементів. Однак варто відмітити, що при подоланні звукового бар'єру, на

інерціальні сенсори діє потужна N -хвиля, яка переводить поверхню підвісу поплавкового гироскопа з абсолютно твердого стану в імпедансний. Це призводить до появи додаткової похибки вимірювань у вигляді реакції на «хвилю» кутову швидкість.

Аналіз похибок інерціальних сенсорів ГСП на базі серійно виготовляемого двостепеневого гироскопа класу ДУСУ з рідинностатичним підвісом необхідно здійснювати з позицій одночасного впливу на гироскоп двох збурюючих чинників — кінематичного (кутового рух ЛА) і N -хвилі.

Підсумовуючи, можна відмітити, що проблема створення певного і надійного навігаційного обладнання (навігаторів) перетворюється на одну з важливіших складових бойового забезпечення, зокрема, для автономного і зовнішнього позиціонування цілі на бойовому чергуванні, а її вирішення, таким чином, постає надзвичайно *актуальним*.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Аналізуючи вплив дифракційних явищ на підвіс гіроскопа, обмежимося вивченням лише змішаної крайової задачі, тобто вивченням дифракційних явищ на імпульсній поверхні, як такої, що представляє найбільший практичний інтерес. Результати напівнатурних стендових випробувань підтверджують слушність такого вибору. Поплавковий підвіс не є абсолютно м'яким (задача Неймана) [1, 2]. При акустичному навантаженні у 150 дБ і вище, поверхня підвісу переходить з абсолютно твердої до категорії *імпульсної*, тобто такої, коли на поверхні під дією силового впливу з боку проникаючого випромінювання виникають пружні переміщення в трьох напрямках — вздовж протяжності поплавка (координата z), в коловому напрямку (координата φ) і в поперечному напрямку (в площині шпангоута, координата W) [3, 4].

До тих пір, поки поверхня підвісу може вважатися абсолютно твердою, всі властивості поплавка окреслені одним параметром — моментом інерції. Звідси походить і механізм опису похибки сенсорів [5, 6].

Якщо ж поверхня стає імпульсною, і здійснює вимушені пружні переміщення, тоді, в силу інерціальних властивостей гіроскопа, пружно-напружений стан підвісу буде сприйматися приладом за вхідну величину і породжувати додаткову похибку вимірювань у вигляді реакції на «хибну» кутову швидкість [7, 8]. Внаслідок того, що поверхня поплавкового підвісу досить велика, тому інтегральна похибка буде сягати значних величин. Причому, найбільш небезпечними є не стільки періодичні її складові, скільки наявні систематичні компоненти [9, 10].

Метою наукових досліджень є аналіз природи дії потужної ударної акустичної хвилі (*N-хвилі*) на інерціальні сенсори ГСП, чисельна оцінка виникаючих при цьому додаткових похибок чутливих елементів, які неминуче привносять неприпустимі відхилення просторової орієнтації, оцінка впливу гаусової кривизни підвісу на додаткову похибку вимірювань.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

1. Побудувати розрахункові моделі явища взаємодії потужної *N-хвилі* із засобами інерціальної навігації.
2. Розробити програмне забезпечення для розрахунку похибки позиціонування.
3. Проаналізувати вплив гаусової кривизни підвісу на виникнення додаткової похибки.

3. Підвіс інерціального сенсора ГСП з нульовою гаусовою кривизною. Тривимірна задача. Синхронна хитавиця фізеляжа. Асинхронна хитавиця

Виконуючи кількісний аналіз похибки, окреслимо, для конкретності, наступні числові значення параметрів,

які містяться в робочій формулі: $c = 0,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $B = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $H = 0,2093 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$; $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$; $\nu = 0,32$; $h = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; $L = 0,06 \text{ м}$; $R_0 = 0,02 \text{ м}$; $\rho = 2,7 \cdot 10^3$; $P_{10} = 0,7 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$; $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \pi/6 \text{ рад}$; $A = 0,7$; $B = 0,3$; $I_2 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $\nu_1 = 0,5 \text{ с}^{-1}$; $\rho_\varphi = \rho_\theta = \rho_\psi = \pi/36 \text{ рад}$; $n = 34,5$.

Числовий аналіз доводить, що при частоті хитавиці ЛА 300 Гц систематична похибка приладу складає $0,24 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$, а на частоті 500 Гц — $0,35 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$ (рис. 1, *а*). На частоті 600 Гц — $(-0,38 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1})$, на частоті 800 Гц — $(-0,48 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1})$, на 960 Гц — $(-0,39 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1})$.

Результати стендових випробувань промислових зразків ДУСУ виявили, що на частоті 300 Гц систематична похибка становить $0,24 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$, на частоті 500 Гц — $0,31 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$, на частоті 800 Гц — $(-0,6 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1})$, а на частоті 960 Гц — $(-0,13 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1})$ (рис. 1, *б*).

Таким чином, за результатами стендових випробувань *максимальні* значення похибки поплавкового гіроскопа мають місце на частотах проникаючого акустичного випромінювання 300 Гц, 500 Гц, 700 Гц, 800 Гц, 960 Гц. Кількісний аналіз виявив *максимальні* значення похибок приладу, для умов експерименту, також на частотах 300 Гц, 500 Гц, 800 Гц. Причому, вони практично збіглися не лише за величиною, а також і за знаком.

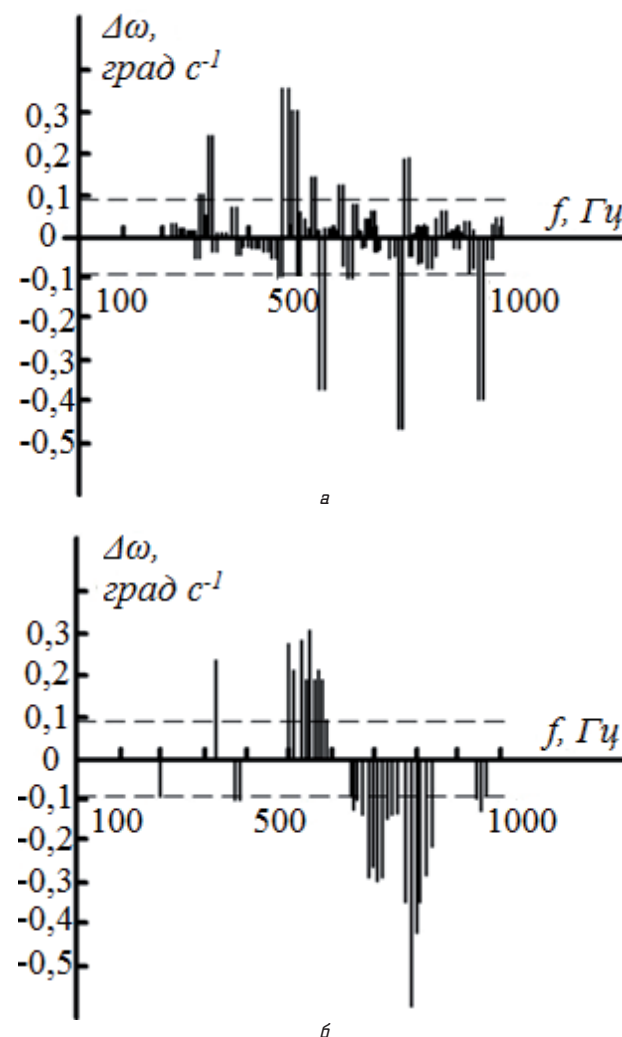


Рис. 1. Похибка ДУСУ в акустичному полі: *а* — розрахункова, при синхронній хитавиці; *б* — стендова, в акустичній камері. Пунктирна лінія окреслює поріг чутливості приладу

4. Опуклий підвіс поплавка

Приймаючи до уваги, що рівень кривизни оболонкової частини підвісу поплавкового гіроскопа суттєво впливає на розрахункову систематичну похибку, і оптимальне значення прогину твірної не відповідає максимальному, були проведені розрахунки для опуклого підвісу. Так само, як і для *катеноїду*, значення прогину δ твірної варіювалося від $0,1 \cdot 10^{-3}$ до $2,0 \cdot 10^{-3}$ м, з кроком $0,1 \cdot 10^{-3}$ м [6].

На відміну від *катеноїда*, для опуклого підвісу в усіх випадках максимальне значення розрахункової похибки вимірювання перевищувало максимальне значення похибки для підвісу з нульовою гаусовою кривизною.

Для значень величини прогину $0,3 \cdot 10^{-3}$, $0,7 \cdot 10^{-3}$, $0,8 \cdot 10^{-3}$, $1,7 \cdot 10^{-3}$, $1,9 \cdot 10^{-3}$, $2,0 \cdot 10^{-3}$ майже на всіх частотах спостерігається зниження похибки, а її максимальна величина не багато перевищує максимальне значення в $0,6 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$, визначене для підвісу з нульовою гаусовою кривизною.

Для інших випадків похибка сягає значень більших за $2 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$. Найбільше значення похибки $-6,85 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$, що майже в 10 разів перевищує максимальне значення для підвісу з нульовою гаусовою кривизною, спостерігається на частоті 570 Гц, при величині прогину $\delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 2, а).

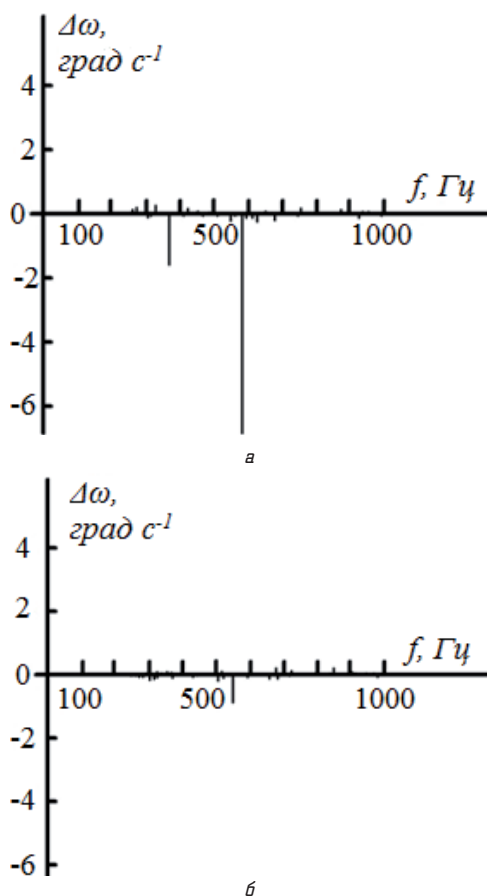


Рис. 2. Розрахункова систематична похибка ДУСУ з ненульовою гаусовою кривизною підвісу під дією *N*-хвилі: а — $\delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м; б — $\delta = 1,7 \cdot 10^{-3}$ м

Найменше максимальне значення розрахункової систематичної похибки для опуклого підвісу зафіксовано

за величини $\delta = 1,7 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 2, б). На частоті 550 Гц похибка досягла $-0,8 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$, для всіх інших частот похибка не перевищувала $0,2 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$. Так, на частоті 305 Гц похибка дорівнює $-0,16 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$, на 670 Гц і 840 Гц — $0,18 \text{ град} \cdot \text{с}^{-1}$.

5. Висновки

1. Тривимірний модель дозволила переконливо довести необхідність врахування, окрім іншого, також пружних переміщень уздовж протяжності підвісу, на тій підставі, що вони вносять свою частку у формування «хибної» кутової швидкості і, як наслідок, слугують появі додаткової похибки двостепеневого гіроскопа в акустичних полях. Тому, незважаючи на значно меншу їх величину, у порівнянні з двома іншими координатами, треба все ж прийняти цей факт до уваги, не обмежуючись дво-вимірною моделлю.

2. Хоча опуклий підвіс і не зменшив величини розрахункової систематичної похибки, проте його використання може бути обґрунтованим за необхідності збільшення жорсткості конструкції.

Литература

1. Шибецкий, В. Ю. Поплавковый подвес гироскопа при летной эксплуатации [Текст] / В. Ю. Шибецкий, В. В. Карачун // Известия ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение. — 2013. — Вып. 4. — С. 41–44.
2. Гиперзвук: третий участник гонки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/ URL: http://rus.ruvr.ru/2014_01_17/Giperzvuk-tretij-uchastnik-gonki-8178/ — 17.01.2014 г.
3. Совместный выход на «гиперзвук» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/ URL: <http://vpk-news.ru/articles/3901>. — 15.04.2009 г.
4. Karachun, V. V. Influence of diffraction effects on the inertial sensors of a gyroscopically stabilized platform: three-dimensional problem [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nik // International Applied Mechanics. — 2012. — Vol. 48, № 4. — P. 458–464. doi:10.1007/s10778-012-0533-y
5. Карачун, В. В. Погрешности гироскопа, обусловленные развивающейся качкой фюзеляжа при летной эксплуатации [Текст] / В. В. Карачун, В. Н. Мельник, В. Ю. Шибецкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 5/7(65). — С. 45–47.
6. Шибецкий, В. Ю. Влияние гауссовой кривизны подвеса поплавкового гироскопа на упругую податливость в акустическом поле [Текст] / В. Ю. Шибецкий // Молодой ученый. — 2012. — № 12. — С. 116–120.
7. Кузьмичев, Ю. М. Возбуждение цилиндрической оболочки ультразвуком [Текст] / Ю. М. Кузьмичев, В. М. Макаров // Акуст. журнал. — 1958. — Т. IV, Вып. 3. — С. 282–283.
8. Макаров, В. И. Об излучении волн оболочками в звуковом поле [Текст] / В. И. Макаров, Н. А. Фадеев // Акуст. журнал. — 1960. — Т. IV, Вып. 2. — С. 261–263.
9. Пат. 66311 на корисну модель, Україна, МПК (2011) G01C19/20. Поплавковий гіроскоп [Електронний ресурс] / Карачун В. В., Тривайло М. С., Мельник В. М., Руденко Л. С. — № u201108294, заявл. 01.07.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/2-66311-poplavkovij-giroskop.html>
10. Шендеров, Е. Л. Волновые задачи гидроакустики [Текст]: моногр. / Е. Л. Шендеров; ЛЭТИ. — Л.: Судостроение, 1972. — 352 с.

КОРРЕКЦІЯ ПОГРЕШНОСТІ ГИРОСКОПА В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ОБ'ЄМНОЇ НЕЛІНЕЙНОСТЮ ПОПЛАВКОВОГО ПОДВЕСА

Приводится количественный анализ дополнительной систематической погрешности поплавкового гироскопа, используемого в навигационных системах авиационной и космической техники, при взаимодействии с мощными акустическими полями. Предложен переход от подвеса в виде классического кругового цилиндра к выпуклому подвесу. Определено влияние гауссовой кривизны подвеса поплавка на погрешность измерений.

Ключевые слова: поплавковый гироскоп, ненулевая гауссова кривизна, выпуклый подвес, N-волна.

Шибецкий Владислав Юрійович, асистент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: sjavva@mail.ru.

Шибецкий Владислав Юрьевич, ассистент, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Shybetskij Vladislav, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: sjavva@mail.ru

УДК 622.240.53

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.31838

Івасів В. М.,
Гриджук Я. С.,
Юрич Л. Р.

АНАЛІЗ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

В даній статті зроблено аналіз опублікованих матеріалів, що стосуються відмов елементів бурильних колон. Встановлено, що найбільший відсоток аварій припадає на різьбові з'єднання та бурильні замки. На механізм їх виникнення в першу чергу впливають властивості матеріалу, корозійність бурового розчину, профіль стовбура свердловини, частота обертання ротора, навантаження на долото.

Ключові слова: елементи бурильної колони, втома, руйнування, аналіз аварійності.

1. Вступ

Від розвитку нафтогазової промисловості в значній мірі залежить соціально-економічний розвиток України. На даний час проблеми пов'язані зі збільшенням обсягів видобування нафти і газу залишаються актуальними. Для збільшення видобутку вуглеводневих ресурсів необхідно збільшити буріння глибоких та надглибоких свердловин, які в свою чергу вимагають використання надійного обладнання. В ускладнених умовах буріння збільшується кількість аварій з бурильною колоною (БК) та її елементами. Для розроблення рекомендацій для підвищення довговічності БК та її елементів необхідно проаналізувати основні причини, які спричиняють відмову.

2. Аналіз літературних джерел та промислових даних

Практика буріння нафтових та газових свердловин [1–3] показує, що аварії, які відбуваються з бурильними трубами, як правило, мають втомний характер, а руйнування конструктивних елементів бурильної колони виникають внаслідок втомних характеристик металу [4, 5]. Здебільшого втома металу виникає через змінні навантаження, а саме: згин, коливання, крутильні удари. Як показують результати досліджень [6, 7], втома металу залежить від таких факторів як: дефекти матеріалу труб, малі радіуси заокруглення різьб, застосування безопорного з'єднання труби з замком

чи муфтою, несприятливі гірничо-геологічні і техніко-технологічні умови.

Перелічені фактори впливають на поломку труб, конусної частини ніпелів та муфт різьбових з'єднань. За даними досліджень [8–12] 85–90 % аварій при роторному бурінні відбувається з різьбовими з'єднаннями, бурильними замками та іншими елементами БК (табл. 1).

Таблиця 1

Дані по аварійності бурильних труб при роторному бурінні

Тип аварії	Відсоток руйнування, %
Злам бурильних труб по тілу	9,5
Злам бурильних труб в потовщених кінцях	46,8
Зрив бурильних труб по 8-ниткової нарізці	11,2
Злам бурильного замка	4,2
Зрив різьбового з'єднання бурильного замка	9,6
Злам і зрив різьбового з'єднання важкого низу	10,5
Злам труб, перевідників і зрив по різьбі	8,2

Руйнування елементів бурильної колони можуть відбуватися як під час процесу буріння, так і під час ліквідації аварій, які є наслідком порушення технології буріння. За даними джерела [13] саме 23 % аварій, як поступових відмов, припадає на злам та відгвинчування бурильного інструменту і елементів КНБК внаслідок прихоплення.