

Машини нафтової та газової промисловості

УДК 621.891

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК ШЛЯХОМ ПОДАЧІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДО МІЖКОНТАКТНОГО ПРОСТОРУ ФРИКЦІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ

С. І. Криштопа, Л. І. Криштопа, Л. Д. Пітулей

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 72-71-48, 72-71-31;
e-mail: kr.sv@ukr.net, L.I.Kryshropa@mail.ru*

Деструкція зв'язуючої речовини азбополімерних матеріалів у міжконтактному просторі відіграє важливу роль та, у залежності від видів тертя, механічних та фізико-хімічних властивостей поверхонь тертя, може набувати як додатних, так і від'ємних значень. Надлишковий тиск перешкоджає міграції газу від міжконтактного простору до навколишнього середовища та створює умови для утворення областей зі зменшеним коефіцієнтом тертя.

На підставі проведених лабораторних і стендових досліджень вивчені газодинамічні ефекти, що мають місце в міжконтактному просторі фрикційних пар стрічково-колодкових гальм бурових лебідок. Встановлено, що при тяжконавантажених режимах тертя, за яких працюють гальма бурових установок, в міжконтактному просторі створюється надлишковий тиск.

Аналіз результатів досліджень показав необхідність примусового введення газового середовища в міжконтактний простір з надлишковим тиском, який повинен перевищувати тиск газоподібних продуктів деструкції зв'язуючої речовини азбополімерних матеріалів. Розроблена система і методика підведення газового середовища, наприклад, вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання на фрикційний контакт з метою підвищення довговічності гальма.

Ключові слова: міжконтактний простір, фрикційний контакт, поверхні тертя, стрічково-колодке гальмо бурової лебідки.

На міграцію зовнішнього середовища до міжконтактного простору пар тертя, як показали лабораторні та натурні дослідження [1, 2], впливає газовиділення на фрикційному контакті. У роботі [3] вперше висвітлюється питання газовиділення при терті асбополімерних матеріалів і досліджується вплив газодинаміки на тертя фрикційних матеріалів ФК-16Л, ФК-24А, які застосовуються в стрічково-колодкових гальмах бурових лебідок. При температурах вище 400 К розпочинається газовиділення, яке залежить також ще й від геометрії контакту. Порівняння результатів лабораторних та натурних досліджень підтверджує цю закономірність. При лабораторних дослідженнях по газодинаміці, дані, одержані в інтервалі 370–600 К, відрізняються від результатів, одержаних при натурних дослідженнях. Таку відмінність можна пояснити тим, що в лабораторних умовах вимірювання тиску проводився по капілярах малого перерізу, що призводило до падіння тиску по його довжині, а також відмінністю динамічних навантажень, що впливають на пари тертя гальма і в лабораторній установці, що забезпечує статистичний режим.

Одержані результати підтверджують висновок про те, що в процесі тертя ФАПМ переважають фізико-хімічні процеси деструкції, які призводять до виділення газоподібних продуктів.

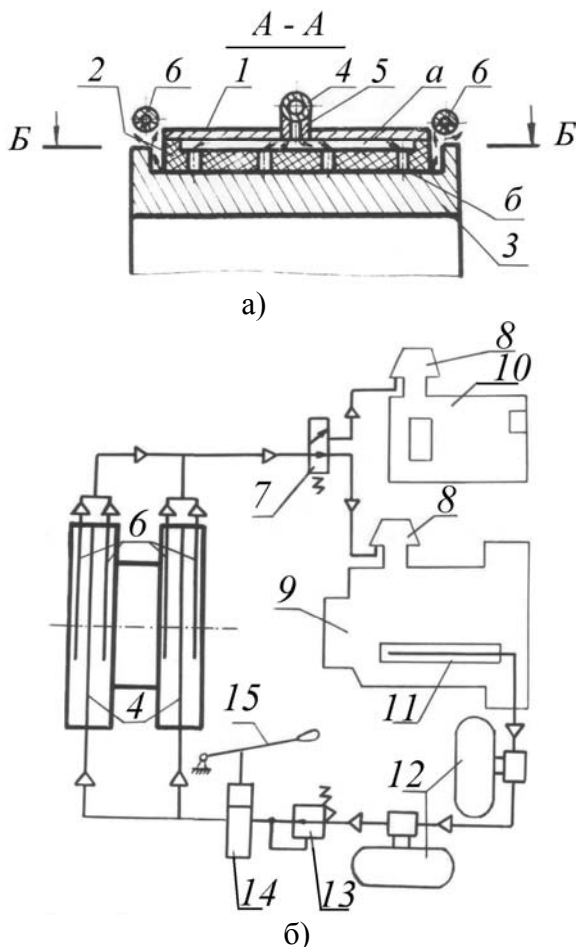
Газоподібні продукти деструкції, що виділяються, перешкоджають надходженню газового середовища ззовні в міжконтактний простір. Інжекція газового середовища може відбуватися лише за допомогою адсорбційного ефекту, коли ділянки поверхні тертя вивільняються з контакту, а щільний ефект при цьому вироджується. У стрічково-колодковому гальмі бурових лебідок конструктивно неможливий перекачувальний ефект, але поверхневі та підповерхневі шари ФАПМ, які є композицією з азбесту, бариту і коксоподібної речовини, утвореної при термодеструкції фенолформальдегідної смоли істотно змінюють свої властивості (наприклад, відбувається падіння густини до $\rho = 1,6 \cdot 10^3$ кг/м³).

У процесі тертя асбофрикційних матеріалів ефективна дія активного газового середовища на фрикційні пари можлива за примусової подачі його до міжконтактного простору з тиском, що перевищує тиск газоподібних продуктів деструкції (вище $\Delta P = 1000$ Па). Примусова подача газового середовища до міжконтактного простору дозволяє активно впливати на знософрикційні властивості пари тертя.

Розроблена методика подачі відпрацьованих газів до міжконтактного простору з метою підвищення зносостійкості стрічково-колодкових гальм, представлена на рис. 1 а, б.

На гальмівній стрічці 1 закріплені фрикційні накладки 2, у яких виконані подовжні канали «а» та отвори «б», що сполучаються з міжконтактним простором, утвореним поверхнями тертя накладки та гальмівного шківу 3 на гальмівній стрічці 1 концентрично гальмівному шківу 2 встановлені гнучкий газопровід 4, який за допомогою штуцерів 5, спо-

лучається з подовжнім каналом колодки 2 по сторонах гальмівної стрічки 1 концентрично гальмівному шківу 3 встановлені гнучкі відсмоктувачі газу 6, які через електропневматичний клапан 7 сполучаються з очисниками повітря 8 двигуна внутрішнього згоряння 9 і компресора 10.



а – переріз А – А стрічково-колодкового гальма; б – принципова схема

Рис. 1. Система підвищення зносостійкості стрічково-колодкового гальма бурової лебідки

Пристрій для подачі відпрацьованих газів в зону тертя складається з системи охолодження, очищення і регулювання подачі газового середовища і включає газовідбірник 11, встановлений у випускний тракт двигуна внутрішнього згоряння 9, маслологовіддільних балонів 12, регулятора тиску 13, клапана 14, сполученого з рукояткою управління гальма 15.

При включенні гальма натисненням на рукоятку управління гальмом 15, відкривається клапан 14 і відпрацьовані гази по газопроводах поступають до гнучких розподільних газопроводів 4 і по штуцерах 5,

каналів «а» і отворах «б», виконаних в гальмівній колодці 2, поступають в зону тертя фрикційної пари.

Газове середовище, що складається з відпрацьованих газів і газоподібних продуктів деструкції зв'язуючого гальмівних колодок, виготовлених із асбололімерних матеріалів, після виходу з міжконтактного простору і проходження зазору між гальмівною стрічкою 1 і гальмівним шківом 3 засмоктуються гнучкими забірниками 6 і через електропневматичний клапан 7 поступає в очисник повітря компресора 10, а при відключення компресора, за досягнення необхідного тиску в повітряній системі, в очисник повітря двигуна внутрішнього згоряння. Система відбору газу постійно відсмоктує із зони тертя газоподібні продукти деструкції зв'язуючого матеріалу колодок, які можуть виділятися унаслідок розігрівання колодок в процесі гальмування і повільного охолодження їх в проміжку між гальмуваннями. В процесі гальмування, при подачі до міжконтактного простору відпрацьованих газів, на поверхні тертя відбуваються трибохімічні процеси, що сприяють зниженню зносу фрикційних елементів.

Газове середовище поглинається відсмоктуючими забірниками і не завдає шкоди оточуючому середовищу і умовам роботи бурильника.

Натурні та лабораторні дослідження показали, що в міжконтактному просторі газоподібні продукти деструкції, що утворюються, мають тиск, перевищуючий барометричний на величину порядку 1 кПа. Таким чином, ефективна подача газоподібного середовища до зони тертя можлива лише при тиску, що перевищує цю величину. Оскільки динамічне навантаження гальмівних колодок може викликати збільшення цього значення, то подачу відпрацьованих газів необхідно здійснювати з п'яти, або навіть десятикратним запасом.

Гідравлічний розрахунок пневматичної системи подачі відпрацьованих газів проводився виходячи з того, що відпрацьовані гази є сумішшю газів, в основному: азоту N_2 – 77%; кисню O_2 – 8%; вуглекислого газу CO_2 – 12% та водяної пари H_2O – 3%.

Густина суміші газів визначається за формулою

$$\rho_{см} = 0,01(\rho_1\alpha_1 + \rho_2\alpha_2 + \dots + \rho_i\alpha_i), \quad (1)$$

де ρ_1, ρ_2, ρ_3 – густини компонентів;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – об'ємні частки складових у відсотках.

Динамічна в'язкість суміші газів визначається [4]:

$$\eta_{см} = \frac{100}{\frac{\alpha_1}{\eta_1} + \frac{\alpha_2}{\eta_2} + \dots + \frac{\alpha_i}{\eta_i}}, \quad (2)$$

де η_1, η_2, η_i – в'язкість компонентів.

На підставі лабораторних і натурних досліджень встановлено, що густина суміші компонентів $\rho_{см} = 1,314 \cdot 10^3$ кг/м³, в'язкість $\eta_{см} = 1710 \cdot 10^8$ кг/м·с і тиск в міжконтактному просторі в період гальмування повинні бути не менше $P_{вих} = 5$ кПа. Тому очевидно, що в період між гальмуваннями тиск в камері (див. рис. 1) повинен також бути не меншим $P_{вих}$. Підтримка тиску в камері на такому рівні дозволить в короткій проміжок часу забезпечити на протязі періоду гальмування (тобто при цьому відбудеться вирівнювання тиску в камері і у вихідних отворах).

Після закінчення процесу гальмування, гальмівні колодки відводяться від шківів. При цьому відбувається вільне вивільнення газу з газопроводу і тиск на виході з отворів дорівнює атмосферному. Таким чином, в період між гальмуваннями перепад тиску в гальмівній колодці складає $P_{вих} = 5$ кПа.

Визначимо витрату газової суміші при вивільненні її з одного отвору в гальмівній колодці [5]:

$$q_0 = \mu F_0 \sqrt{2gH}, \quad (3)$$

де F_0 – площа поперечного перетину вихідного отвору діаметром $d_0 = 0,005$ м.

$$F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{\pi (0,005)^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

μ – коефіцієнт витрати, віднесений до вихідного отвору. При гострих вхідних краях отвору $\mu = 0,82$; H – напір під центром мас вихідного отвору:

$$H = \frac{\Delta P}{g\rho}, \quad H = \frac{5 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 1,34} = 403,2 \text{ м.}$$

Отже,

$$g_0 = 0,82 \cdot 1,96 \cdot 10^5 \sqrt{2g403,2} = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Загальна витрата газу на ділянці О – В повинна дорівнювати:

$$Q_{O-B} = 5q_0;$$

$$Q_{O-B} = 5 \cdot 1,44 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

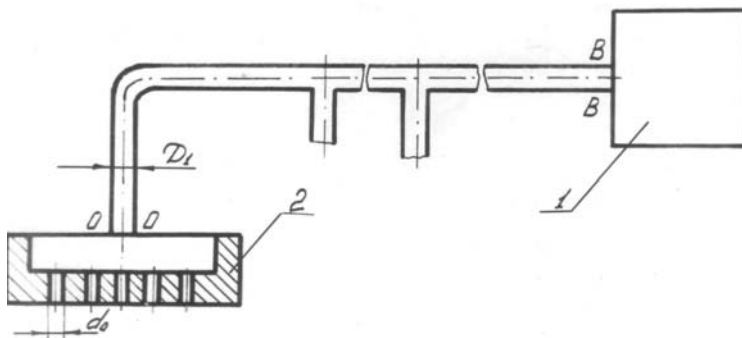
Для забезпечення тиску $P_{вих} = 5$ кПа на виході з регульовального клапану тиск повинен бути рівним:

$$P_{кл.} = P_{вих} + \Delta P_{O-B}, \quad (4)$$

де ΔP_{O-B} – втрати тиску на ділянці.

Після регульовального клапану газ виходить через 22 отвори в гальмівні колодки. Оскільки отвори рівномірно розподілені по ділянці га-

зопроводу, то ця ділянка може розглядатися по довжині l , біля якої рівномірно відбирається газ по q , де q – питома витрата газу на одиницю довжини газопроводу. В цьому випадку схема ділянки О – В матиме вигляд, зображений на рис. 2.



1 – регулюючий клапан, 2 – гальмівна колодка

Рис. 2. Схема ділянки підводу відпрацьованих газів

Аналітичну витрату газу в будь-якій точці газопроводу можна виразити лінійною залежністю:

$$Q_{nx} = q(l - x). \quad (5)$$

Визначимо перепад тиску на даній ділянці газопроводу. Згідно [3] перепад тиску визначається за формулою:

$$P_B - P_x = \frac{\rho}{2F_1^2 D_1} \int_0^l \lambda_1 [q(l - x)]^2 dx, \quad (6)$$

де F_1 – площа поперечного перетину трубопроводу;

D_1 – діаметр трубопроводу;

λ_1 – коефіцієнт гідравлічного опору.

Критерієм режиму перебігу газу є число Рейнольдса, що визначається згідно формули [3]:

$$Re = \frac{\omega_1 D_1 \rho}{\eta}, \quad (7)$$

де ω_1 – швидкість потоку.

Швидкість потоку визначають згідно формули:

$$\omega_1 = \frac{Q_n}{F_1} = \frac{4Q_n}{\pi D_1^2}, \quad \omega_1 = \frac{4 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (0,012)^2} = 63,4 \text{ м/с.}$$

$$\text{Тоді } Re = \frac{63,4 \cdot 0,012 \cdot 1,314}{1710 \cdot 10^{-8}} = 5,85 \cdot 10^4.$$

Якщо $4000 \leq Re \leq 10^5$ маємо турбулентний режим руху, то у цьому випадку матимемо

$$\lambda_1 = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}}, \quad (8)$$

$$\lambda_1 = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{58500}} = 0,0203.$$

Втрати тертя в трубопроводі при рівномірному відборі газу при турбулентному русі газу визначається

$$\Delta P_{O-B} = \frac{0,0577 \cdot \sqrt[4]{Q^7} \cdot \sqrt[4]{v} \cdot \rho \cdot l}{\sqrt[4]{F_1^7} \cdot \sqrt[4]{D^5}}, \quad (9)$$

де l – довжина трубопроводу, м.

Таким чином, тиск на виході з клапана повинен бути:

$$P_{кл} = 5 + 5626 = 10,26 \text{ кПа.}$$

Втратами тиску в самому клапані нехтуємо і вважаємо, що тиск на виході в клапан 10,26 кПа.

Розглянемо ділянку системи підведення відпрацьованих газів “випускний тракт – регулюючий клапан”. Діаметр трубопроводу $D_2 = 25$ мм.

Вважаємо, що потік газу нестискуваний. Швидкість потоку буде:

$$\omega_1 = \frac{4 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (0,025)^2} = 14,66 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса при цьому набуватиме значення:

$$\text{Re} = \frac{14,66 \cdot 0,025 \cdot 1,314}{1710 \cdot 10^{-8}} = 2,82 \cdot 10^4.$$

Згідно величини Re робимо висновок, що режим руху газу турбулентний.

Відомо, що гідравлічні втрати при русі реальних газів по трубопроводах викликаються двома видами опорів: 1 – лінійними ΔP_L , виявляються на всіх ділянках потоку (на тертя); 2 – місцевими ΔP_M , виявляються на окремих ділянках і обумовленими змінами величини або напрямку швидкості потоку:

$$\Delta P_M = \xi \frac{\gamma \omega_2^2}{2g}, \quad (10)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору.

При гідравлічних розрахунках газопроводів звичайно здійснюється принцип накладення втрат:

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_M. \quad (11)$$

вважаємо, що середня швидкість потоку не змінюється уздовж всієї ділянки трубопроводу. Тоді втрати тиску:

$$\Delta P = \lambda_2 \frac{L\gamma\omega_2^2}{2gD_2} + \frac{\gamma\omega_2^2}{2g} \sum \xi_i, \quad (12)$$

де i – кількість місцевих опорів.

На даній ділянці лінійні опори викликані наявністю поворотів, масловологовідділювального балона та ресивера.

Коефіцієнт місцевого опору при повороті трубопроводу визначається згідно формули [6]:

$$\xi_{нов} = 0,0175\lambda_2 \frac{R_0}{D_2} \delta_0, \quad (13)$$

де R_0 – радіус повороту, $R_0 = 150$ мм;

δ_0 – кут повороту, $\delta_0 = 90^\circ$;

$$\xi_{нов} = 0,0175 \cdot 0,0244 \frac{150}{25} \cdot 90 = 0,23068.$$

Коефіцієнт місцевого опору масловологовідділювального балона і ресивера визначимо як суму коефіцієнтів місцевих опорів при раптово-му розширенні і раптовому звуженні потоку.

У разі раптового розширення потоку газу коефіцієнт місцевого опору визначаємо по формулі Бордо-Карно [7]:

$$\xi_{розш.} = \left(1 - \frac{F_0}{F_1}\right)^2, \quad (14)$$

де F_0 – площа трубопроводу до розширення;

F_1 – площа трубопроводу після розширення.

$$\text{Оскільки, } \frac{F_0}{F_1} = \frac{1}{15} \text{ то } \xi_{розш.} = \left(1 - \frac{1}{15}\right)^2 = 0,8711.$$

Коефіцієнт місцевого опору при раптовому звуженні трубопроводу визначається по формулі:

$$\xi_{звуж.} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2, \quad (15)$$

де ε – коефіцієнт стиснення потоку, який визначається по формулі Альтшуля:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - n}, \quad (16)$$

$$n = \frac{F_0}{F_1},$$

де F_0 – площа трубопроводу після звуження;

F_1 – площа трубопроводу до звуження;

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - 1/15} = 0,6116.$$

Враховуючи, що в проектній системі підведення відпрацьованих газів в середньому (згідно діючих зразків) 6 поворотів, 2 раптові розширення і звуження, втрати тиску на даній ділянці трубопроводу рівні:

$$\Delta P = 0,0244 \cdot \frac{21 \cdot 1,314 \cdot 14,66^2}{2 \cdot 0,025} + \frac{1,314 \cdot 14,66^2}{2} \times \\ \times (2 \cdot 0,6116 + 2 \cdot 0,8711 + 6 \cdot 0,23068) = 3,48 \text{ кПа}.$$

Отже, з урахуванням втрат тиску на вході в систему підведення газів до двигуна внутрішнього згоряння тиск повинен бути рівним:

$$P_{BX} = P_{KL} + \Delta P = 10,26 + 3,48 = 13,74 \text{ кПа}.$$

Таким чином, розрахунки показують, що для досягнення необхідного тиску на виході пневмосистеми ($P_{ВИХ} = 5$ кПа), достатньо тиску газу у випускному тракті двигуна внутрішнього згоряння, який досягає 100 кПа, оскільки при таких розмірах пневмосистеми забезпечується підведення відпрацьованих газів до гальмівних колодок без затрат додаткової енергії.

На підставі проведених лабораторних і натуральних досліджень вивчені газодинамічні ефекти, що мають місце в міжконтактному просторі фрикційних пар стрічкових гальм бурових лебідок. Встановлено що при важконавантажених режимах тертя, при яких працюють гальма стрічково-колодок бурових лебідок, в міжконтактному просторі створюється надлишковий тиск.

Аналіз результатів досліджень показав необхідність примусового введення газового середовища до міжконтактного простору з надлишковим тиском, який повинен перевищувати тиск газоподібних продуктів деструкції зв'язуючого асбополімерних матеріалів. Розроблена система і методика подачі газового середовища, наприклад, відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння на фрикційний контакт з метою підвищення довговічності гальма.

Литература

1. Криштопа Л.І. Дослідження механізму поступлення газового середовища з зовні у міжконтактний простір поверхонь тертя (частина 1) / Л.І.Криштопа, І.М.Богатчук // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2014.– № 4 – С. 31-36.
2. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии / Д.Бакли. – М.: Машиностроение, 1986. – 360 с.
3. Бобровский С.А. Движение газа в трубопроводах с путевым отбором / С.А.Бобровский С.Г.Щербаков, М.А.Гусейнзаде. – М.: Наука, 1973. – 192 с.

4. Богатчук И.М. Повышение износостойкости фрикционных пар асбосодержащая композиция-металл за счет воздействия подаваемых в контакт газов. / И.М.Богатчук // Автореферат дис. канд. тех. наук. – Калинин, 1983. – 22 с.
5. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В.Крагельский, М.Н.Добычин, В.С.Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
6. Ковыршин О.Н. Хроника изучения влияния газовой среды на трение / О.Н.Ковыршин // Среда и трение в механизмах. – Таганрог, 1974. – Вып. 1. – С. 125-131.
7. Покусаев В.В. Исследование расхода воздуха через контакт точечных поверхностей / В.В.Покусаев // Сб. «Контактные взаимодействия твердых тел», Калинин. гос. ун-т. – 1982. – С. 22-27.

Стаття надійшла до редакційної колегії 11.12.2015

Рекомендовано до друку д.т.н., професором Вольченком О.І., д.т.н., професором Кіндрачуком М.В. (м. Київ)

INCREASE OF WEARPROOF OF BAND-BLOCK BRAKES OF DRILLING HOISTS BY THE SERVE OF EXHAUST GASES TO INTERCONTACT SPACE OF FRICTION SURFACES

S. I. Kryshchtopa, L. I. Kryshchtopa, I. D. Pituley

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;

76019, Ivano-Frankivsk, Carpathians str., 15;

ph. +380 (342) 72-71-48, 72-71-31;

e-mail: kr.sv@ukr.net, L.I.Kryshchtopa@mail.ru

Destruction of connective asbopolymer materials at intercontact space has a difficult character depending on the modes of friction and mechanical, physical and chemical properties of friction surface can get the positive or negative value. Surplus pressure hinders to migration in between contact space of environment and creates terms for formation areas of pellicle starvation.

According to laboratory and natural researches gas dynamic effects taking place in intercontact space of friction pairs and hard loading friction units of band-block brakes of drilling hoists work at surplus pressure is created in intercontact space. The analysis of results of researches showed the necessity of the forced input of gas environment for intercontact space with surplus pressure which must exceed pressure of gaseous products of destruction of connective asbopolymer materials. The system and method of serve of gas environment is developed, for example, exhaust gases of combustion engines on the friction contact with the purpose of increase of liveability of the brake.

Article is devote to the problem of necessity of the forced inputing of gas environment for intercontact space of hard loading friction units of band-block brakes of drilling hoists with surplus pressure which must exceed pressure of gaseous products of destruction of connective asbopolymer materials. System and method of serve of gas environment is developed, for example, exhaust gases of combustion engines on the friction contact with the purpose of increase of liveability of the brake.

Key words: *intercontact space, friction contact, surfaces of friction, band-block brakes of drilling hoists.*