

УДК 621.891

В.В. Аулін, к.ф.-м.н., І.О. Плохов, асп.  
Д.В. Голуб, ас.**ВПЛИВ ХАРАКТЕРУ ЗНОСУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ СТРУМОЗНІМАННЯ  
ТРОЛЕЙБУСА НА ЇЇ НАДІЙНІСТЬ**Кіровоградський національний технічний університет, [aulin52@mail.ru](mailto:aulin52@mail.ru)

*В статті дано загальну характеристику спрацювання системи струмознімання та її елементів «контактний провід – контактна вставка – головка струмоприймача». Показано, що надійність кожного елемента системи струмознімання залежить від характеристики та величини зносу. На основі експериментальних досліджень виявлено характерні типи спрацювання контактного проводу, контактної вставки та деталей головки струмоприймача.*

*Виявлено, що при зношуванні деталей головки струмоприймача збільшуються зазори спряжених деталей, збільшується люфт, зменшується стійкість контакту. Зазначене безпосередньо впливає на процес зношування контактного проводу та контактної вставки за рахунок чого погіршується процес струмознімання.*

**Ключові слова:** надійність, знос, троллейбус, система струмознімання, контактний провід, контактна вставка, головка струмоприймача.

**Вступ.** Надійність міського електротранспорту передусім залежить від надійності і зносостійкості системи струмознімання «контактна мережа – контактна вставка – головка струмоприймача». Кожний елемент цієї системи підлягає як механічному, так і електроерозійному зношуванню [1, 2]. Дослідження характеру і величини зношування системи струмознімання потребує системного підходу, який полягає в тому, що кожний елемент системи розглядається як окремо, так і в їх сукупності.

Загальновідомою проблемою системи струмознімання є швидке спрацювання вугільно-графітової вставки, що в процесі експлуатації призводить до зменшення електричного контакту та виникнення електричної дуги. Це обумовлює інтенсивний знос проводу контактної мережі міського електротранспорту. До цього часу для усунення даної проблеми проводились дослідження по вдосконаленню різних властивостей саме контактної вставки. Проте не можна залишати без належної уваги можливість вдосконалення інших елементів системи. Наприклад, конструкція головки струмоприймача ГТ-13А, якими на сьогоднішній день комплектуються троллейбуси СНГ, є конструктивно недосконалою та залишається без належної уваги дослідників з 1956 р. [3]. Даний факт дає змогу вважати, що модернізація конструкції головки струмоприймача підвищить експлуатаційну надійність окремих елементів, так і системи «контактна мережа – контактна вставка – головка струмоприймача» в цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день системного дослідження сукупності елементів струмознімання не проводилося. Дослідженню підлягали контактний провід і контактна вставка, а головка струмоприймача залишалася поза увагою.

Однією з відповідальних систем, від якої залежить безпека руху на дорогах, безумовно, є «струмоприймач – контактний провід». Серед складових деталей струмоприймачів електротранспорту найменший ресурс мають контактні вставки [1-5]. Контактні вставки, встановлені на струмоприймачах, служать для зняття струму з контактного проводу [4]. Вони повинні забезпечувати надійне струмознімання як під час стоянки, так і під час руху електротранспорту за різними маршрутами, а також при їх відхиленні від осі підвіски контактних проводів.

Особливою складністю при вирішенні триботехнічних проблем у контактних вставках і проводу є дія електричного струму, яка приводить до підсилювання умов зовнішнього тертя і зношування [5].

Необхідність заміни контактного проводу визначається, очевидно, не тільки середнім зносом його, але й розмірами і числом локальних зносів. Саме остання обставина і обумовлює одну з головних завдань дослідження процесу механічної взаємодії струмоприймача і контактної підвіски - визначення умов стабілізації контактного натискання [1].

Процес взаємодії струмоприймача і контактної підвіски являє собою складний механічний процес, оскільки взаємодіюча система має нескінченне число ступенів свободи і в обох взаємодіючих пристроях залежно від положення точки контакту і умов її переміщення змінюються жорсткість, маса і тертя. Вивчення цього процесу ведуть як експериментальними, так і теоретичними методами, залучаючи складний математичний апарат і використовуючи пакети прикладних програм на ПК.

При конструюванні струмоприймачів прагнуть забезпечити сталість контактного тиску для

різних режимів роботи. Досягається це підбором розмірів елементів конструкції струмоприймача, схемою струмоприймача, взаємним розташуванням деталей підйомно-штангового типу механізму та характеристик пружин і т. д. Сила тертя в механізмах повороту і шарнірних з'єднаннях також впливає на зміну контактного тиску [6]. Отже є потреба розглянути елементи системи як окремо, так і при їх взаємодії.

**Постановка завдання.** Дослідити та обґрунтувати характер зносу елементів системи «контактний провід – контактна вставка – головка струмоприймача».

**Виклад основного матеріалу.** При дослідженні проблеми підвищення надійності системи «контактна мережа – контактна вставка – головка струмоприймача» в першу чергу треба з'ясувати призначення та взаємодію її кожного елемента. Загальний вигляд системи струмознімання та схема взаємодії її елементів наведено на рисунку 1.

Схема взаємодії свідчить про те, що на контактний провід діє не тільки контактна вставка але й деталі головки струмоприймача, які також взаємодіють в процесі експлуатації.

Знос контактного проводу відбувається з протіканням складних електромеханічних процесів. На електричний знос контактуючих елементів основний вплив здійснює електрична ерозія, яка проявляється у вигляді плавлення, випаровування і переносу матеріалу під дією розрядів між електродами. За ознаками ерозію можна поділити на контактну та безконтактну. Контактна ерозія проявляється при підйомі чи опусканні струмоприймачів. Цей вид ерозії має назву замикання та розмикання. При цьому можлива і електровибухова ерозія визначається руйнуванням плям стягування при проходженні по ним струмів, що перевищують критичні. Безконтактна ерозія може бути дуговою, іскровою, імпульсно-дуговою і тліючою, прояв яких залежить від виду розряду, струму в контакті, тривалості розряду, довжини дуги, параметрів електричної ланки і властивостей матеріалу контактного проводу. Під час струмознімання, при повних відриваннях поверхонь тертя струмоприймача та контактного проводу, струм проходить по каналам електричного розряду у повітрі і в залежності від тривалості та параметрів розряду, цей процес може бути іскровим або дуговим.

При утворенні кратерів на контактному проводі зменшується площа контактування спряжених елементів та збільшується питомий тиск на їх поверхнях.

Зі збільшенням величини струму, що знімається, між струмоприймачем та контактним проводом, підвищується іскріння. Це пояснюється тим, що потужність втрат при великому значенні величини сили струму перевищує граничну потужність розсіювання контактної містки при вугільних струмознімальних вставках. На контактному проводі при такому зносі відбувається незначна фрагментація поверхневих шарів, різання і в'язке руйнування металу проводу. Зазначений вид спрацювання може проявлятися внаслідок електричного зносу, який обумовлений порушенням нормальних умов струмознімання. Це призводить до виникнення електричної дуги, яка обумовлює поверхневе руйнування матеріалу контактної містки шляхом оплавлення його поверхні контактної містки (рис. 2) та порушення гладкості контактуючих поверхонь.

При цьому контактний місток руйнується, а його матеріал викидається і відбувається іскріння. Приклад утворення каверн на робочій поверхні контактної містки наведено на рис. 2а.

Розряд чи вибух контактної містки викликає сильні ударні хвилі, що інтенсивно руйнують спряжені елементи (рис. 2 б). Особливо це проявляється, якщо середовище заповнено рідиною.

Механічний знос контактуючих елементів відбувається в процесі тертя. Він проявляється при взаємному зачепленні шорстких поверхонь і деформуванні поверхневих шарів при ковзанні. Знос зводиться до деструктивного характеру деформації: на границях фрагментів з'являються мікротріщини (рис. 2 в), по яким відбувається руйнування поверхневих шарів з відділенням продуктів зносу (рис. 2 г). При граничному спрацюванні контактної містки та при великій силі його натягу, іноді, утворюються шийки. Контактна вставка є деталлю головки струмоприймача, яка безпосередньо стикаючись з проводом здійснює струмознімання. Від вставки багато в чому залежить якість струмознімання: безперервність контакту, величина механічного та електричного зносу контактної містки, іскріння, радіоперешкоди, електричні втрати.

Найбільш важливими видами зношування трибосистеми "провід - вставка" є абразивне, втомлене, окислювальне і молекулярно-механічне. Одночасно можуть проявлятися декілька видів зношування, але один з них буде завжди домінуючим.

Абразивне зношування виникає внаслідок потрапляння у площину тертя продуктів зносу та зовнішнього пилю, а також при наявності твердих включень, які входять в основу матеріалу спряжених елементів трибосистеми. Найчастіше на графітових вставках відбувається поява мікроскопів, малих частинок вирваних з поверхні тертя, але при цьому поверхня зберігає полірування. Характерні пошкодження вугільних вставок в експлуатації наведено на рис. 3.

Сколи виникають тільки при порушенні регулювання елементів контактної підвіски, тріщини -

через удари по вставці та при умовах погіршеного струмознімання виникають підпали.



Рис. 1. Система струмознімання: а – загальний вигляд; б – схема взаємодії

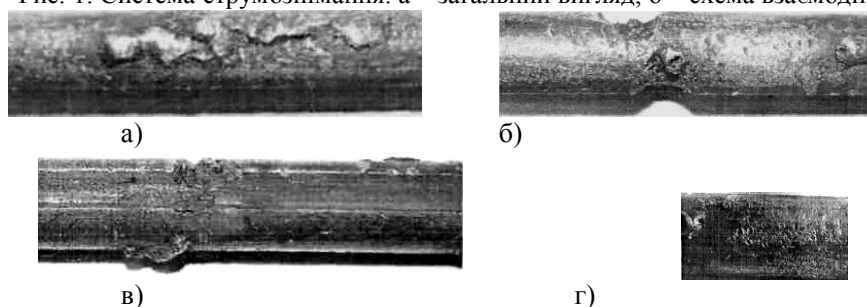


Рис. 2. Приклад руйнування контактної провуду: а – утворення каверн на робочій поверхні контактної провуду; б – виплавлення часток металу контактної провуду під час вибуху контактної містка; в – тріщини; г – розшарування.

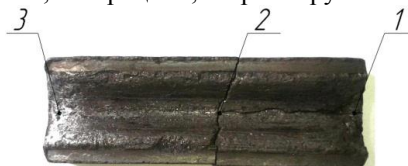


Рис. 3. Характерні пошкодження вугільних вставок в експлуатації: 1 - сколи; 2 - тріщини; 3 – підпали. Втолене зношування пов'язане з об'ємним деформуванням поверхонь тертя і розтріскуванням перенаклепаного шару металу з наступним його видаленням. Окислювальне зношування пов'язане з утворенням і руйнуванням тонких окисних плівок на поверхнях тертя.

Механічний знос виникає в результаті процесу тертя і внаслідок ударів полоза струмоприймача об контактний провід та залежить від характеристик контактуючих матеріалів, стану їх поверхонь, тиску у точці контакту, швидкості ковзання і нерівномірності висоти підвіски провуду.

Зміна профілю контактної вставки, в залежності від пройденного шляху, представлена в таблиці 1.

При неякісному регулюванні контактної підвіски вугільним вставкам характерні пошкодження, які наведені на рис. 3, та проявляється надмірне спрацювання чи бічний знос.

Таблиця 1

Динаміка зміни профілю контактної вставки				
Шлях тертя, км	0	30	60	90
Динаміка зміни профілю контактної вставки				

Якщо початкові розміри жолобу контактної вставки: ширина – 12 мм; висота – 3 мм, то при її зношенні в процесі експлуатації до граничного стану становить: ширина – 21 мм; висота – 10 мм.

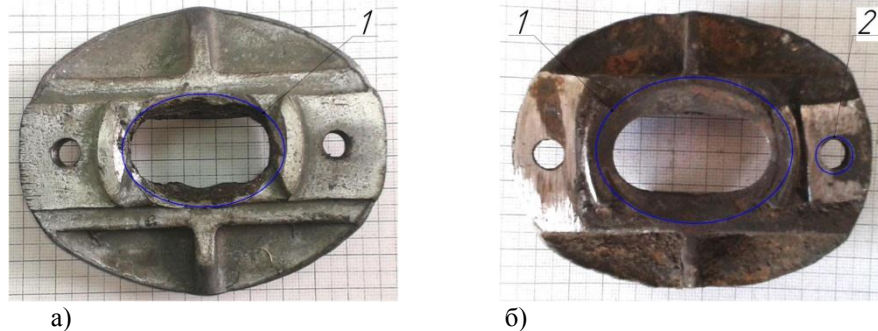
Знос контактної провину і вставок залежить не тільки від механічних сил і величини струму, що діють в контакті, а ще й від інтенсивності руху електрорухомого складу і підбору матеріалів в контактуючій парі.

Розглянемо найбільш характерні, виявлені авторами, їх спрацювання.

Динамічне навантаження обумовлює деформацію та зношування робочих поверхонь контактуючих деталей, викликає руйнування різьби кріпильних елементів корпусу головки та металевго вкладиша (рис. 4).

Робоча поверхня корпусу головки струмоприймача зношується на величину 4 мм, при взаємодії з зовнішньою сферичною частиною пальця-п'яти.

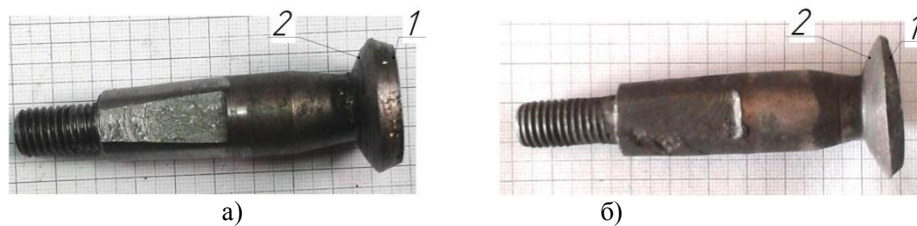
За рахунок руйнування різьбових з'єднань, для подальшої експлуатації корпусу, їх розточують до різьби М8.



1 – робоча поверхня корпусу; 2 – різьба кріпильних елементів.

Рис. 4. Корпус головки струмоприймача: а – новий; б – спрацьований.

Спряження головки струмоприймача з утримувачем відбувається саме за рахунок пальця-п'яти (рис. 5), який забезпечує необхідний ступінь вільності головки струмоприймача тролейбуса.



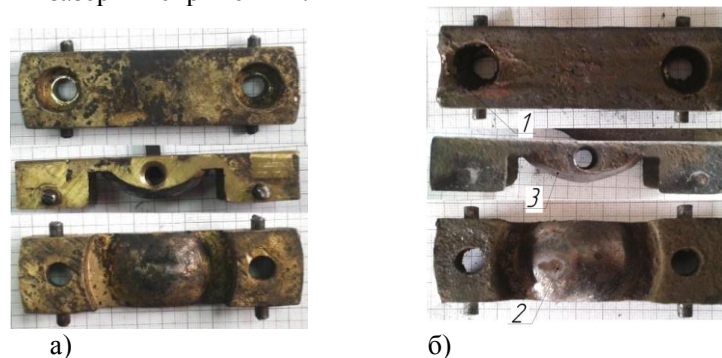
1, 2 – робочі поверхні пальця-п'яти.

Рис. 5. Палець-п'ята: а – новий; б – спрацьований.

Характер зносу пальця-п'яти: при динамічному навантаженні деформуються його робочі поверхні, що призводить до зменшення товщини робочої частини та спостерігається абразивний знос спряжених деталей. За рахунок ударних навантажень зношення робочих поверхонь пальця-п'яти є нерівномірним: загальний знос по всій поверхні становить 5 мм, а зі сторони ударного навантаження знос складає 12 мм.

На рисунку 6 представлений металевий вкладиш.

В процесі експлуатації опір обертанню головки струмоприймача у вертикальній і горизонтальній площинах збільшується через вигорання мастила, задири контактних поверхонь, механічних ушкоджень та зростання зазорів в спряженнях.



1 – задири контактних поверхонь; 2 – механічні ушкодження; 3 – зазор в спряженнях.

Рис. 6. Металевий вкладиш: а – новий; б – спрацьований.



Виявлено, що сферична поверхня металевго вкладиша, яка контактує з робочою поверхнею пальця-п'яти, також спрацьовується нерівномірно. Знос, зосереджений в центрі сферичної поверхні, складає 2 мм. Саме нерівномірний знос робочих поверхонь пальця-п'яти та металевго вкладиша обумовлюють збільшення люфту, заклинювання та зменшення стійкості контакту.

Щічки головок струмоприймачів наведено на рис. 7.

Виявлено, що щічки зношуються по висоті через ковзання по спеціальних частинах стрілок контактної мережі, а їх бічний знос відбувається в моменти проходження головкою кривих ділянок мережі і при відхиленні тролейбуса від осі мережі. Крім того, виникає оплавлення щічок при короткочасній втраті контакту на спеціальних частинах за рахунок виникнення електричної дуги.



1 – знос по висоті; 2 – бічний знос; 3 – оплавлення.

Рис. 7. Щічка: а – нова; б – спрацьована.

Визначено, що знос щічки складає: по висоті – до 15 мм; бічний знос – до 3 мм.

Таким чином, зношування контакту відбувається під впливом експлуатаційних чинників і залежить від фізико-механічних, електро- та триботехнічних властивостей матеріалів спряжених елементів.

Істотними є сила натискання на контактний провід та зміна рівня підвіски контактної мережі (рис. 8).

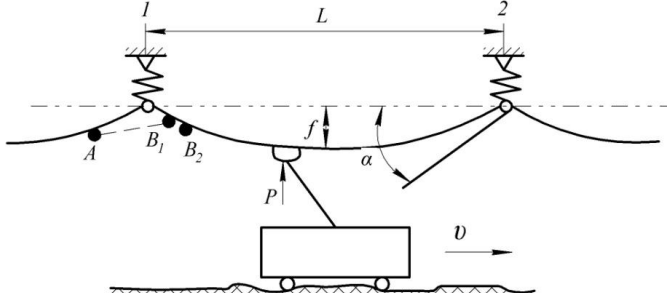


Рис. 8. Схема провисання контактної мережі

Величина натиснення визначається в цьому випадку статичною характеристикою струмоприймача. Зазначимо, що при несприятливій статичній характеристиці контактне натиснення змінюється до 60% від номінального.

На рис. 9 наведені осцилограми зміни навантаження від швидкості руху і характеру шляху слідування.

Можна бачити, що різкі зміни натиснення контакту часто викликаються нерівностями дорожнього покриття (рис. 9 криві

1, 2) або власними коливаннями штанги струмоприймача, що призводить до зміни натиснення в межах від +15 до -20% від номінального статичного тиску.

Інший тип навантаження (рис. 9 криві 3, 4) носить характер удару і приводить до руйнування вхідної частини контактної вставки. Це може відбуватися в момент проїзду струмоприймачем точок контактної мережі, в яких спостерігається різке зниження еластичності проводів. Величина ударного навантаження на вставку (у вертикальній площині) може становити до 20% від статичного натиснення головки.

Що стосується величини площі контактної поверхні ідеальним є такий випадок, коли вся робоча поверхня проводу повністю стикається зі вставкою. Фактично ж струмознімання здійснюється лише невеликою її частиною.

У поздовжньому напрямку вставка зношується, як правило, нерівномірно. Вхідна частина вставки має завжди підвищений знос: нею сприймаються удари об нерівності контактної мережі, що викликають викришування або сколи матеріалу на контактній поверхні.

Спостереження за характером контактування проводу і вставки свідчить, що в експлуатації не може бути їх щільного прилягання у всіх точках (рис. 10).

Це перш за все пов'язано з тим, що ширина внутрішньої частини обойми завжди більше поперечного розміру контактної вставки. В результаті чого на вставці утворюється сидлоподібна поверхня, і стикається зі вставкою в кращому випадку лише половиною контактної поверхні дуги (рис. 10 б).

Провід може знаходитися як в середньому, так і в проміжному положеннях по відношенню до

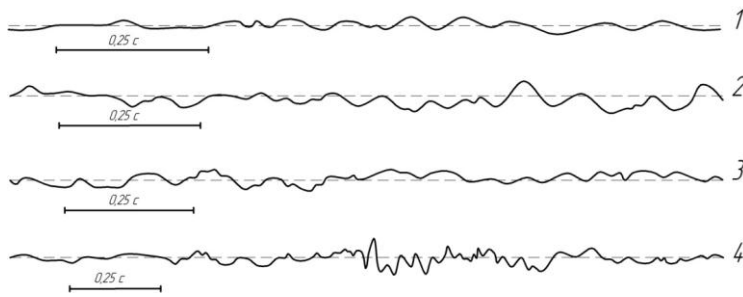


Рис. 9. Осцилограми, що показують зміну навантаження на вставку при різних умовах руху

1 - рух по асфальтовому покриттю ( $v = 34$  км/год); 2 - рух по ушкодженому асфальтовому покриттю ( $v = 31,4$  км/год); 3 - проїзд перетину двох тролейбусних ліній ( $v = 16,6$  км/год); 4 - проїзд автоматичної стрілки ( $v = 12,0$  км/год).

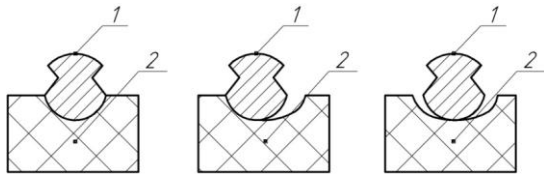


Рис. 10. Схема взаємодії контактної головки з вставкою: а - дотик всій поверхні вставки; б - вставка відтиснута до бічної поверхні проводу; в - вставка контактує з проводом середньою частиною.

відбувається нагрівання вставки та пошкодження оксидної плівки на контактному проводі обоймою контактної головки або в результаті дії зовнішнього середовища. Іскріння може відбуватися і з інших причин: через сили інерції струмоприймача, тертя в його шарнірах, нерівностей на контактному проводі і спедачини, а також різкого зменшення еластичності контактної головки (у жорстких точках).

**Висновки.** В роботі проведені дослідження характеру і величини зносу елементів системи струмознімання: контактний провід – контактна вставка – деталі головки струмоприймача.

Наведені результати зміни навантаження на контактну вставку при різних умовах руху тролейбуса. Розглянуто динаміку взаємодії контактної головки і контактної вставки. Виявлено як змінюється характер та площа їх взаємодії і як це впливає на густину струму знімання і супутні процеси (іскріння, тертя та зношування).

Аналіз відмов та характер спрацювання, а також умов експлуатації елементів системи струмознімання вказав на необхідність підвищення експлуатаційної надійності даної системи. Проблему швидкого спрацювання вугільно-графітової вставки, що в процесі експлуатації призводить до зменшення електричного контакту та виникнення електричної дуги, що обумовлює інтенсивний знос проводу контактної мережі міського електротранспорту можна вирішити методом модернізації конструкції головки струмоприймача. До цього часу для усунення даної проблеми проводились дослідження по вдосконаленню різних властивостей саме контактної вставки.

#### Список використаної літератури

1. Алтухов П.М. Забезпечення надійності ковзних контактів міського електротранспорту у процесі експлуатації/ В.А. Коваль, П.М. Алтухов// Нові технології Науковий вісник КУЕПУ – 2011 – №4 (34) – С. 96–100.
2. Малозёмов, Б. В. Анализ и повышение надёжности транспортных средств электрического транспорта/ Б.В. Малозёмов// Вестник Красноярского государственного технического университета. – 2004. – №34. – С. 206-217.
3. Хорошилов, В. П. Обеспечение долговечности и безопасности эксплуатации электрооборудования троллейбусов / В. П. Хорошилов, В. И. Емец // Вестник ГЭТ России. – 2000. – № 6. – С. 24-25.
4. Захаров С.А. Анализ и оценка мероприятий повышения эффективности и безопасности работы троллейбуса в зимний сезон 1999-2000 гг. / С. А. Захаров // Вестник ГЭТ России. – 2000. – № 3. – С. 9-13.
5. Беляев И.А. Токосъём и токоприёмники электроподвижного состава/ И. А. Беляев, В. П. Михеев, В. А. Шиян – М, «Транспорт», 1976. 184с.
6. Пат. 49287 Україна, МПК (2009) B60L 1/00. Головка струмоприймача тролейбуса/ Аулін В.В., Плохов І.О., Голуб Д.В.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №u200911125; заявл. 02.11.2009; опубл. 26.04.2010; Бюл.№ 8, 2010 р.

бічних контактних поверхонь вставки. Площа контакту їх при цьому мінімальна, і її розмір досить невизначений (рисунок 10 в). Таким чином, площа зіткнення вставки і проводу завжди менше контактної поверхні проводу, непостійна за величиною та місцем розташування.

Через великі зміни величини натискання і розмірів площі контакту питоме натискання вставок непостійне і коливається від 0,10 до 0,50 МПа, що обумовлює підвищений їх знос та збільшення втрат на тертя.

На роботу вставки впливає також щільність струму. В процесі експлуатації густина струму може досягати значної величини – 156 А/см<sup>2</sup>, а на найбільш тривалих і часто повторюваних режимах коливається в межах 10...100 А/см<sup>2</sup>. Підвищена щільність струму негативно позначається на роботі вставки: зростають електричні втрати під контактною вставкою, викликаючи нагрів і підвищений її знос та проводу.

Крім цього є не тільки велика величина щільності струму, але і стрибкоподібний характер навантаження, що викликає іскріння в контакті,