

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ КЛЕМИ МАРКИ КП-5.2

У даній роботі проведена чисельна оцінка параметрів працездатності пружної клеми марки КП-5.2. Визначені геометричні характеристики поперечного перерізу клеми, жорсткість клеми, а також виконані перевірні розрахунки клеми на міцність та витривалість.

В данной работе проведена численная оценка параметров работоспособности упругой клеммы КП-5.2. Определены геометрические характеристики поперечного сечения клеммы и жесткость клеммы, а также выполнены проверочные расчеты клеммы на прочность и выносливость.

The numerical rating of parameters of serviceability of the elastic plug КП-5.2 is carried out in this work. The geometrical characteristics of the plug cross section and rigidity of plugs are determined, and also the verifying calculations on strength and endurance are carried out.

Сучасні стандарти якості вимагають впровадження нових технічних засобів та конструкцій, якість яких доведена ще на стадії проектування. Таким доказом можуть бути авторитет підприємства та нагромаджений досвід створення подібних виробів, а також порівняльні розрахункові дані, що отримані при використанні сучасних технологій.

Основними параметрами, що визначають працездатність пружного скріплення, є:

- сила притиснення подошви рейки та коефіцієнт передачі монтажного навантаження;
- жорсткість клеми та здатність підвищувати її при профілактичних та ремонтних роботах (наявність другої жорсткості);
- пружний хід клеми;
- здатність чинити опір боковим навантаженням;
- монтажні та експлуатаційні максимальні навантаження;
- надійність та інші показники.

У даній роботі виконані перевірні розрахунки пружної клеми марки КП-5.2 на міцність та витривалість при експлуатаційних навантаженнях та розрахунки з визначення жорсткості клеми та моменту на ключі й зусилля на рукоятці ключа, потрібних для монтажу (демонтажу) клеми на анкер.

### Фізичні та розрахункові моделі клеми пружного скріплення КП-5.2

Клема пружна марки КП-5.2 (рис. 1) – це брус з постійною геометрією поперечного перерізу, ділянками якого є плоскі та просторові криві. Конструкція клеми складається з двох симетричних гілок.

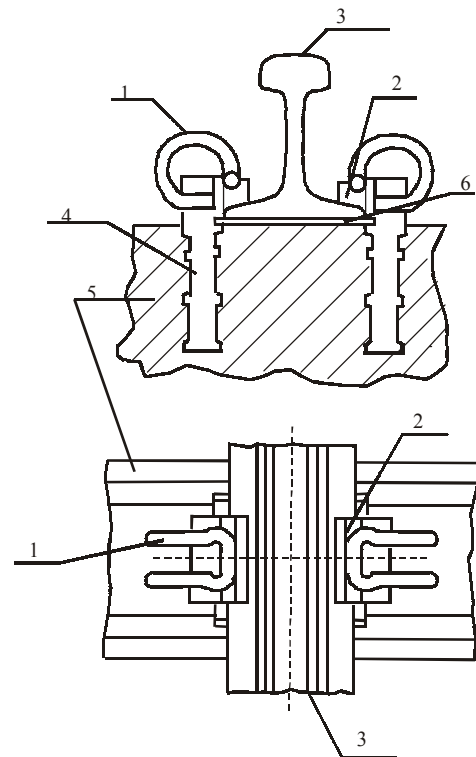


Рис. 1. Загальний вигляд скріплення КПП-5.2:  
1 – клема марки КП-5.2; 2 – вкладиш; 3 – рейка; 4 – анкер закладний; 5 – шпала; 6 – підрейкова прокладка

У процесі експлуатації клема має два основних режими навантаження:

1. Монтажний режим навантаження. Під час монтажу клеми на закладний анкер «лапки» клеми (прямі ділянки гілок клеми) примусово розтискають на відстань, необхідну для подолання (обходження) найширшого місця головки анкера. Горизонтальне зусилля, з яким розтискають «лапки» клеми під час монтажу, надалі називатимемо монтажним зусиллям ( $P_m$ ).

2. Робочий режим навантаження. Найвищий при дії на клеми зусилля притиснення рейки  $P_r$ .

Якщо при повному базуванні клеми на анкер і відсутності зусилля притиснення рейки у посадці матимемо натяг, то окрім двох названих основних режимів навантаження клема може мати ще один – проміжний. Розрахункова схема при проміжному режимі навантаження відповідає схемі монтажного режиму навантаження, за винятком величини горизонтального зусилля, з яким розтискають «лапки» клеми.

Припущення, прийняті для спрощення розрахункових схем навантажень клеми:

1) зусилля, діючи на клеми при всіх режимах навантажень, розподіляються між гілками рівномірно;

2) гілки клеми ідентичні;

3) поперечні перерізи бруса клеми мають однакову геометрію та розміри;

4) матеріал, з якого виготовлено клеми, ізотропний та однорідний.

Прийняті припущення дозволяють вважати, що схеми навантаження клеми, як і конструкція самої клеми, є симетричними, тобто для проведення розрахунків достатньо розглянути лише одну з двох гілок клеми.

Для опису конструкції клеми у просторі використовуємо дві системи координат:

1) глобальну (нерухому) систему прямокутних координат  $xuz$ ;

2) локальну (рухоми) систему координат  $xuy$ : осі  $x, y$  розташовані у площині поперечного перерізу бруса, вісь  $z$  спрямована по дотичній до осі бруса.

На першому етапі було визначено геометричні характеристики поперечного перерізу клеми. Вони мають такі значення:

- граничні значення площі поперечного перерізу клеми,  $m^2$ ,

$$F_{\min} = 0,000197; F_{\max} = 0,000201;$$

- граничні значення моментів інерції поперечного перерізу клеми відносно осей  $x$  та  $y$  відповідно,  $m^4$ ,

$$J_{x\min} = 3,074 \cdot 10^{-9}; J_{x\max} = 3,217 \cdot 10^{-9};$$

$$J_{y\min} = 3,075 \cdot 10^{-9}; J_{y\max} = 3,217 \cdot 10^{-9};$$

- граничні значення моментів опору поперечного перерізу клеми відносно осей  $x$  та  $y$  відповідно,  $m^3$ ,

$$W_{x\min} = W_{y\min} = 3,887 \cdot 10^{-7};$$

$$W_{x\max} = W_{y\max} = 4,021 \cdot 10^{-7}$$

- граничні значення полярного моменту інерції поперечного перерізу клеми,  $m^4$ ,

$$J_{\rho\min} = 6,149 \cdot 10^{-9}; J_{\rho\max} = 6,434 \cdot 10^{-9};$$

- граничні значення моменту опору поперечного перерізу клеми при крученні,  $m^3$ ,

$$W_{\rho\min} = 7,774 \cdot 10^{-7}; W_{\rho\max} = 8,042 \cdot 10^{-7};$$

- граничні значення геометричного фактора крутильної жорсткості поперечного перерізу клеми,  $m^4$ ,

$$J_{\tau\min} = 6,149 \cdot 10^{-9}; J_{\tau\max} = 6,434 \cdot 10^{-9};$$

Для визначення геометричних характеристик ділянок клеми гілку клеми було поділено на ділянки  $ab, bc, cd, de, eg, gf$  (рис. 2). Для кожної з виділених ділянок визначили всі геометричні характеристики, що необхідні в подальших розрахунках.

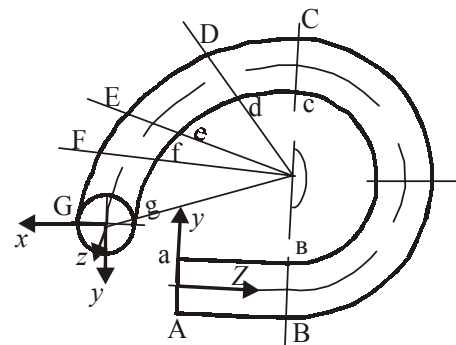


Рис. 2. Схема розташування ділянок та координатних осей

Ділянка  $ab$  – прямий брус. Одноіменні осі локальних (рухомих) та глобальних (нерухомих) координат на ділянці  $ab$  паралельні між собою. Осі  $x, y$  локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса.

Ділянка  $bc$  – плоский кривий брус з радіусом кривизни  $r_2$  та кутовою координатою позиціонування  $\varphi_2$ . Осі  $x, y$  локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь  $x$  перпендикулярна площині бруса;  $y$  спрямована по радіусу кривини  $r_2$ ), вісь  $z$  спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка  $cd$  – просторовий кривий брус з радіусом кривини  $r_3$  та радіусом обертання  $r_{3к}$ . Положення довільного перерізу на ділянці  $cd$

визначається центральним кутом вигину  $\varphi_3$  та спряженим з ним кутом кручення  $\varphi_{3к}$ . Осі  $x$ ,  $y$  локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь  $x$  спрямована по радіусу кручення  $r_{3к}$ ;  $y$  – по радіусу кривини  $r_3$ ), вісь  $z$  спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка  $de$  – просторовий кривий брус з радіусом кривини  $r_4$  та радіусом кручення  $r_{4к}$ . Положення довільного перерізу на ділянці  $de$  визначається центральним кутом вигину  $\varphi_4$  та спряженим з ним кутом кручення  $\varphi_{4к}$ . Осі  $x$ ,  $y$  локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь  $x$  спрямована по радіусу кручення  $r_{4к}$ ;  $y$  – по радіусу кривини  $r_4$ ), вісь  $z$  спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка  $eg$  – просторовий кривий брус з радіусом кривини  $r_5$  та радіусом кручення  $r_{5к}$ . Положення довільного перерізу на ділянці  $eg$  визначається центральним кутом вигину  $\varphi_5$  та спряженим з ним кутом кручення  $\varphi_{5к}$ . Осі  $x$ ,  $y$  локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь  $x$  спрямована по радіусу кручення  $r_{5к}$ ;  $y$  – по радіусу кривини  $r_5$ ), вісь  $z$  спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка  $gf$  – просторовий кривий брус з радіусом кривини  $r_6$  та радіусом кручення  $r_{6к}$ . Положення довільного перерізу на ділянці  $gf$  визначається центральним кутом вигину  $\varphi_6$  та спряженим з ним кутом кручення  $\varphi_{6к}$ . Осі  $x$ ,  $y$  локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь  $x$  спрямована по радіусу кручення  $r_{6к}$ ;  $y$  – по радіусу кривини  $r_6$ ), вісь  $z$  спрямована по дотичній до осі бруса.

Згідно з визначеними геометричними характеристиками поперечного перерізу клеми були встановлені геометричні розміри клеми.

#### **Визначення величин примусових деформацій клеми**

Під примусовими деформаціями розуміємо деформації, яких клема зазнає під час монтажу на анкер або при кінцевому складанні вузла проміжного скріплення, тобто при «заневолюванні» клеми у вузлі. Величини примусових

деформацій клеми залежать від складальних розмірів елементів вузла проміжного скріплення та матеріалів, з яких вони виготовлені.

Примусова горизонтальна деформація клеми, необхідна для здійснення монтажу клеми на анкер, – це відстань, на яку потрібно розтиснути «лапки» клеми, щоб під час монтажу обійти найширше місце в головці анкера.

Зусилля притискання рейки  $P_r$  створюється проміжним скріпленням завдяки попередньому «заневолюванню» клеми, тобто консоль клеми має монтажну вертикальну деформацію. Величина примусової вертикальної деформації клеми регулюється висотою вкладиша, на який спирається консоль клеми у даному проміжному скріпленні.

При дії на клеми зусилля притиснення рейки  $P_r$  лапки клеми отримують горизонтальне зрушення  $\gamma$ , яке буде визначене далі. Примусова горизонтальна деформація однієї гілки клеми при робочому режимі навантаження  $\delta_R$  буде більша або менша за  $\delta_{\Pi}$  (в залежності від знака  $\delta_g$ ) на величину  $\delta_g$ . Для визначення величини додаткового розтискання «лапок» клеми  $\delta_g$  скористались енергетичним методом, де потенціальна енергія деформованого бруса виражається через внутрішні силові фактори. При цьому будемо вважати, що виконуються такі умови:

- 1) матеріал клеми працює в межах закону Гука;
- 2) лінійні та кутові переміщення перерізів бруса достатньо малі;
- 3) як для внутрішніх силових факторів, так і для переміщень справедливий принцип незалежності дії та складання.

Після проведення розрахунків маємо такий результат:

- величина примусової горизонтальної деформації клеми, необхідної для здійснення монтажу клеми на анкер,  $\delta_m = 0,0092$  м;
- середнє значення примусової горизонтальної деформації однієї гілки клеми при проміжному режимі навантаження,  $\delta_p = 0,0092$  м;
- середнє значення натягу (зазору) у посадці клеми на анкер при робочому режимі навантаження  $N_R = 0,0013$  м;
- середнє значення примусової вертикальної деформації клеми при робочому режимі навантаження  $v_R = 0,0065$  м.

## Визначення жорсткості клеми

Жорсткість є характеристикою пружності конструкції і визначається величиною навантаження, яке створює пружну (зворотну) деформацію, що дорівнює одиниці. Для клеми, яку виготовлено з пружинної сталі, залежність між навантаженням та пружною деформацією лінійна, оскільки клема повинна працювати в пружній стадії. Робота клеми в пружній стадії забезпечується прийнятим при проектуванні запасом міцності конструкції. Розрахунок жорсткості клеми виконуємо, використовуючи енергетичний метод.

Враховуючи, що клема має декілька схем навантаження, визначення жорсткості проводили за двома основними напрямками:

1) горизонтальний напрямок – напрямок дії монтажного зусилля  $P_m$ ;

2) вертикальний напрямок – напрямок дії зусилля притиснення рейки  $P_r$ .

Зусилля, що діє на клеми при проміжному режимі навантаження, збігається за напрямком з монтажним зусиллям  $P_m$ .

Визначення жорсткості клеми у горизонтальному напрямку виконуємо для випадку, коли замість  $P_m$  на клеми в заданому перерізі  $b$  діятиме допоміжна одинична сила, що має горизонтальний напрямок дії.

На клеми при робочому режимі навантаження окрім зусилля притиснення рейки  $P_r$  діятиме горизонтальне зусилля  $P_R$  – це зусилля від залишкового натягу при повному базуванні клеми на анкері. Тому при визначенні вертикальної жорсткості клеми та при перевірному розрахунку клеми на міцність вважаємо за необхідне врахувати вплив зусилля  $P_R$ . Для цього рівняння залежності внутрішніх силових факторів від складової зусилля притиснення рейки доповнюємо рівняннями залежності внутрішніх силових факторів від зусилля  $P_R$  та рівняннями залежності від допоміжних одиничних сил, розташованих у перерізах  $a$ ,  $b$  і спрямованих у бік дії реакції опору  $R_a$  – вертикальний напрямок. На рис. 3 подано схему розташування сил при визначенні жорсткості. Вертикальне зрушення крайнього перерізу консолі клеми (переріз  $f$ ), по якому регулюють величину зусилля притиснення рейки, тобто робочий хід клеми, утворюється з двох основних складових:

1) за рахунок деформації клеми при її навантаженні;

2) за рахунок вільного повороту «лапки» клеми в межах існуючого зазору між діаметром посадочних отворів анкера та діаметром прутка, з якого виготовлено клеми.

Але при визначенні жорсткості клеми у вертикальному напрямку приймається, що жорсткість клеми залежить лише від першої із означених складових.

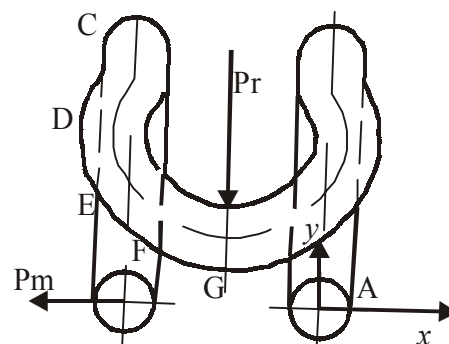


Рис. 3. Схема розташування сил при визначенні жорсткості

Таким чином, маємо такі результати:

- граничні значення горизонтальної жорсткості клеми, Н/мм,

$$\Gamma_{\min} = 328,96 ; \Gamma_{\max} = 482,75 ;$$

- середнє значення горизонтальної жорсткості клеми  $\Gamma = 405,86$  Н/мм;
- діапазон допустимих відхилень ( $\pm$ ) фактичних значень горизонтальної жорсткості клеми від її номінального (середнього) значення  $\Gamma - 19\%$ ;
- середнє значення повного горизонтального зрушення однієї гілки клеми при дії допоміжної одиничної сили, м,  $\delta_r = 1,28 \cdot 10^{-6}$  Н/мм;
- середні значення горизонтальних зусиль, що діють на клеми при різних режимах навантаження, Н:

– монтажний режим навантаження

$$P_m = 7584,12 ;$$

– проміжний режим навантаження

$$P_{II} = 925,99 ;$$

– робочий режим навантаження

$$P_r = 515,78 ;$$

- діапазон фактичних відхилень ( $\pm$ ) значень горизонтальних зусиль, що діють на клеми при різних режимах навантаження, від їх номінальних (середніх) значень  $\Gamma$ , %:
- монтажний режим навантаження

$$P_m = 26;$$

– проміжний режим навантаження

$$P_{II} = 92;$$

– робочий режим навантаження

$$P_R = 172,6;$$

- середнє значення жорсткості клеми у вертикальному напрямку  $V = 1547,58$  Н/мм;
- діапазон допустимих відхилень ( $\pm$ ) фактичних значень вертикальної жорсткості  $V = 12$  %;
- середнє значення фактичного зусилля притиснення рейки, що створюється у проміжному рейковому скріпленні з клемою марки КП-5.2,  $P_{rf} = 10,27$  кН;
- діапазон фактичних відхилень ( $\pm$ ) значення зусилля притиснення рейки, що створюється у проміжному рейковому скріпленні з клемою марки КП-5.2, – 28 %

#### Встановлення залежності між робочим ходом клеми та зусиллям притиснення рейки $P_R$

Під робочим ходом маємо на увазі примусове вертикальне переміщення крайнього перерізу консолі клеми (переріз  $f$ ), тобто «заневолювання» клеми, при якому клема, намагаючись повернутися у первинне положення, створюватиме потрібне зусилля притиснення рейки  $P_r = 10$  кН. У межах заданих допусків на виготовлення конструкції клеми та анкера робочий хід клеми для відповідних значень зусилля притиснення рейки  $P_r$  матиме не конкретне значення, а діапазон можливих значень. Найбільш імовірним вважаємо середнє значення робочого ходу. Графік залежності зусилля притиснення рейки від робочого ходу клеми наведено на рис. 4.

На рис. 4 показано: 1 –  $\Delta \min(P_r)$  – робочий хід найбільш жорсткої клеми, тобто клеми, яка в межах заданих допусків на виготовлення має найменші лінійні розміри та найбільший діаметр заготовки, мм; 2 –  $\Delta \max(P_r)$  – робочий хід найменш жорсткої клеми, тобто клеми, яка в межах заданих допусків на виготовлення має найбільші лінійні розміри та найменший діаметр заготовки, мм; 3 –  $\Delta(P_r)$  – найбільш імовірний робочий хід клеми, тобто робочий хід клеми, яка в межах заданих допусків на вигото-

влення має середні значення лінійних розмірів та діаметра заготовки, мм.

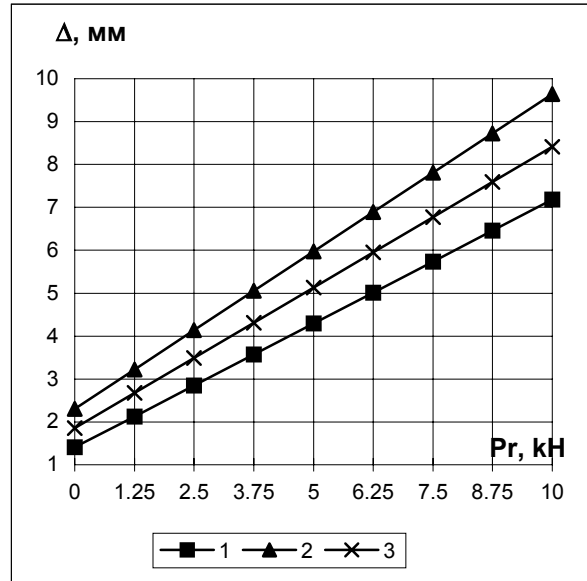


Рис. 4. Графік залежності зусилля притиснення рейки від робочого ходу клеми

#### Перевірний розрахунок клеми на міцність при експлуатаційних навантаженнях

Як уже вказувалось, під час експлуатації клема має два основних режими навантаження:

- 1) монтажний режим навантаження;
- 2) робочий режим навантаження.

Тому перевірний розрахунок клеми на міцність при експлуатаційних навантаженнях складатиметься:

- з перевірного розрахунку клеми на міцність при монтажному режимі навантаження;
- перевірного розрахунку клеми на міцність при робочому режимі навантаження.

Відомо, що клема пружна марки КП-5.2 – це брус, ділянками якого є плоскі та просторові криві. У зв'язку з складністю конструкції клеми зовнішні сили, що діють на неї у кожному з вказаних режимів навантаження, створюють одночасно декілька (або і всі шість) внутрішніх силових факторів. Внутрішні силові фактори (сили  $N_z$ ,  $Q_x$ ,  $Q_y$ ; моменти  $M_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ) змінюють свої значення по довжині бруса клеми. Зростання або зниження величин кожного з шести внутрішніх силових факторів відбувається за індивідуальних законом, не завжди синхронно з іншими. Тому визначити найбільш небезпечний переріз, тобто переріз, у якому будуть зосереджені максимальні напруження, не визначивши попередньо напруження по всій довжині бруса клеми, досить складно, а інколи і неможливо. Таким чином, на першому етапі

перевірною розрахунку клеми на міцність визначаємо напруження у всіх виділених перерізах клеми. Також звернемо увагу на практичне підтвердження того, що при перевантаженні подібних конструкцій, перші ознаки руйнування спостерігаються на внутрішніх волокнах кривих, тобто, іншими словами, – напруження на внутрішніх волокнах перевищують напруження на зовнішніх волокнах. Означений факт має просте теоретичне обґрунтування: у кривих брусів нейтральний шар не збігається з віссю симетрії бруса. Як результат – радіус нейтрального шару перевищує радіус кривини бруса. Вказане свідчить про те, що фактична відстань між нейтральним шаром та зовнішніми волокнами в кривих брусах скорочується, а між нейтральним шаром і внутрішніми волокнами, навпаки, збільшується. Між значенням напружень та відстанню від відокремленого волокна до нейтрального шару існує практично лінійна залежність, за якою зростання напружень практично пропорційно зростанню відстані між відокремленим волокном та нейтральним шаром. Таким чином, збільшення напружень на внутрішніх волокнах конструкцій, що являють собою криві бруси, є результатом збільшення відстані між цим волокном та нейтральним шаром. Змінність значень напружень по площині довільного перерізу кривої ділянки клеми змушує нас напруження у кожному  $i$ -му перерізі визначати для 4 волокон: 1 і 2 – зовнішні волокна у площині вигину та кручення ділянок клеми відповідно; 3 і 4 – внутрішні волокна у площині вигину та кручення ділянок клеми відповідно.

Серед існуючих теорій міцності 4-та теорія міцності разом з теорією міцності Мору мають найкраще практичне підтвердження, тому вони визнані пріоритетними. 4-ту теорію міцності використовують при перевірних розрахунках конструкцій, виготовлених з матеріалів, що чинять однаковий опір при розтяганні та стисненні. Матеріал, з якого виготовлено клеми, має такі ж властивості, тому при перевірних розрахунках клеми на міцність будемо використовувати саме 4-ту теорію міцності.

#### **Перевірний розрахунок клеми на міцність при монтажному режимі навантаження**

Клема сприйматиме монтажне зусилля  $P_m$  протягом усього терміну експлуатації обмежену кількість раз: лише під час монтажу та демонтажу проміжного рейкового скріплення. Час дії зусилля  $P_m$  в кожному з вказаних випадків становить всього декілька секунд. При

розрахунку вважаємо, що для перевірки клеми на міцність при монтажному режимі навантаження достатньо перевірити міцність матеріалу у найбільш небезпечному перерізі, тобто робимо припущення про статичний характер навантаження клеми. Умова міцності клеми формується так: клема вважатиметься міцною при монтажному режимі навантаження, якщо результуючі (еквівалентні) напруження у найбільш небезпечному перерізі конструкції не перевищуватимуть межі плинності матеріалу  $\sigma_{\tau 1}$ , тобто клема після зняття дії зусилля  $P_m$  не повинна мати залишкових деформацій.

За результатами проведених розрахунків, встановлено, що при дії на клеми монтажного зусилля  $P_m$  найбільші напруження в клемі створюються в перерізі, який на рис. 2 позначено літерою С. Цей переріз найбільш небезпечний переріз клеми при монтажному режимі навантаження.

Для забезпечення умови міцності кожної придатної клеми (усі розміри конструктивних елементів клеми вказані у межах заданих допусків) при монтажному режимі навантаження ймовірні еквівалентні (результуючі) напруження у перерізі С не повинні перевищувати межі плинності матеріалу клеми  $\sigma_{\tau 1}$ .

Граничні значення ймовірних еквівалентних напружень, зосереджених у перерізі С при монтажному режимі навантаження клеми, МПа,

$$\sigma_{m \min} = 1122,21; \sigma_{m \max} = 1666,42.$$

Середнє значення ймовірних еквівалентних напружень, зосереджених у перерізі С при монтажному режимі навантаження клеми, МПа,

$$\sigma_m = 1394,32.$$

Висновок: умова міцності при монтажному режимі навантаження виконується майже для всього діапазону придатних клем, тобто переважна більшість придатних клем після зняття дії монтажного зусилля  $P_m$  не матиме залишкових деформацій.

#### **Перевірний розрахунок клеми на міцність при робочому режимі навантаження**

Передбачається, що під час експлуатації проміжного рейкового скріплення зусилля притиснення рейки  $P_r$  змінюватиметься в належних діапазонах значень, тобто клема матиме циклічний характер робочого навантаження. Циклічний характер дії зусилля притиснення рейки  $P_r$  вимагає, щоб перевірний розрахунок

клеми на міцність при робочому режимі навантаження складався з двох етапів:

1) перевірного розрахунку клеми на міцність як статично навантаженої конструкції;

2) перевірного розрахунку клеми на витривалість.

Умова міцності клеми при робочому режимі навантаження формулюється так: клема вважається міцною, якщо виконуються одночасно умови міцності та витривалості матеріалу.

### **Перевірний розрахунок клеми на витривалість**

Клема в залежності від розташування її у плані колії може мати різні цикли навантаження:

– зусилля притиснення рейки зменшуватиметься від свого первинного значення  $P_r$  до  $P_{\min}$  при просіданні рейки під колесом рухомого складу;

– зусилля притиснення рейки зростатиме від свого первинного значення  $P_r$  до  $P_{\max}$  при створенні клемою опору «перевертанню» рейки в результаті дії значної бічної сили в кривих ділянках колії.

Розрахунок клеми на витривалість виконували для циклу, що має найбільше середнє значення напружень та амплітуди циклу.

За результатами розрахунку маємо, що фактичний запас витривалості клеми при навантаженні циклом 2 більший за нормативний ( $\eta_{k2} \eta >$ ). Напруження в клемі у разі зростання

зусилля притиснення рейки від  $P_r$  до  $P_{\max}$  (при створенні клемою опору «перевертанню» рейки) не перевищуватимуть межу плинності матеріалу клеми ( $\sigma_{\tau1} \sigma_{\max} >$ ). Таким чином, кожна придатна клема, сприймаючи 1-й або 2-й цикли робочого навантаження при створенні зусилля притиснення рейки  $P_{r\phi} = 10,27$  кН знаходиться в зоні пружних деформацій, тобто клеми вважаємо міцною і працездатною.

За нормативами з безпеки праці максимальне зусилля на рукоятці ключа при проведенні монтажних робіт на колії не повинно перевищувати 30 кгс (294,3 Н). Вказана умова виконується у разі використання при монтажі (демонтажі) клеми марки КП-5.2 на анкер ключа с довжиною рукоятки  $L_{k2} = 1,2$  м.

Висновки:

1. Проведена чисельна оцінка параметрів працездатності пружної клеми марки КП-5.2.

2. Визначені геометричні характеристики поперечного перерізу клеми.

3. Визначена жорсткість клеми.

4. Встановлено залежність між робочим ходом клеми та зусиллям притиснення рейки  $P_r$ .

5. Проведено перевірений розрахунок клеми на міцність та витривалість.

6. Визначено момент на ключі та зусилля на рукоятці ключа, потрібні для монтажу (демонтажу) клеми на анкер.