

УДК 629.7.027.2

Д. В. Масалига, Р. І. Хома

## ОЦІНКА НАПРУЖЕНО–ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ШАСІ ЛІТАКА З ВРАХУВАННЯМ МІЖЕЛЕМЕНТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

### Вступ

Шасі літака є складною механічною системою, в якій всі елементи знаходяться у взаємодії між собою та з елементами інших агрегатів і систем, тому на етапі проектування нових виробів оцінка якості конструктивних рішень повинна проводитись комплексно на основі головних вимог до конструкції літака в цілому, а саме: взаємозамінність, міцність, жорсткість, функціональність та надійність.

Досягнення в сфері інформаційних технологій, а також стрімкий розвиток систем автоматизованого проектування та інженерного аналізу дозволяє розширювати коло завдань, що в них вирішуються, ступінь їх автоматизації та якість виконання.

### Постановка задачі

На даному етапі числова оцінка міцності здійснюється, як правило, для елементів, які з точки зору механічної системи, що розглядається є найбільш відповідальними. Розрахунки виконуються на основі розрахункових навантажень, що задаються на етапі проектування та підтверджу-

ються в ході стендових та льотних випробувань. Оцінка параметрів міцності здійснюється на базі методу скінченних елементів [1]. Недоліками цього методу є велика працездатність розрахунків, що в значній мірі зменшує об'єм елементів, що підлягають розрахунку, і неможливість врахування всіх додаткових навантажень, що виникають у вузлових з'єднаннях.

**Метою статті** є розробка методики оперативної оцінки напружено-деформованого стану (НДС) елементів конструкції шасі літака, що враховує додаткові навантаження, що виникають у вузлових з'єднаннях.

### Результати досліджень

*Вихідні умови.* Комплекс шасі є конструктивно складною системою. Відповідно до Авіаційного реєстру Міждержавного авіаційного комітету структура шасі літака повинна відповідати авіаційними правилами АП-23 розділ D [2]. На рис. 1 зображена типова структурна схема комплексу шасі літака.

В якості об'єкта дослідження була вибрана типова конструкція замка прибраного положення стійок шасі (рис. 1).

Конструкція замка та схема сил, що діють на його елементи, представлена на рис. 2.

Замок прибраного положення (рис. 2) є пристроєм, що призначений для фіксації стійки в прибраному положенні. При випуску шасі циліндр 1, втягуючи шток через качалку 2, повертає засувку 3, яка відпускає крюк 4. Це призводить до звільнення підвіски стійки. При прибиранні шасі підвіска стійки потрапляє в ловительгі, тисне на хвостовик крюка і повертає його. В прибраному положенні крюк фіксується засувкою.

Замок є одним з особливо відповідальних елементів конструкції. Руйнування одного з його елементів може призвести до самовільного випуску стійки. Вивільнення опори в польоті призведе до збільшення аеродинамічного опору літака, що суттєво вплине на його аеродинамічну якість та збільшить споживання пального. В свою чергу збільшаться зусилля на саму стійку за рахунок збільшення площі омивання набігаючим потоком; це призведе до збільшення перевантаження і руйнування елементів конструкції, наприклад, відриву стулок [3].

Виходячи з наведеної конструкції і умов роботи, одним з відповідальних елементів конструкції замка є засувка. Саме вона фіксує крюк в закритому положенні. Сили, що діють на засувку показані на рис. 2. В закритому положенні на засувку діє вага стійки  $P_1=7925\text{Н}$ , яка передається через крюк і перетворюється в силу  $P_3$ . При випуску на неї діє зусилля від гідроциліндра  $P_4 = 8000\text{Н}$ , що передається через качалку та ролик і утворює силу  $P_2$ .

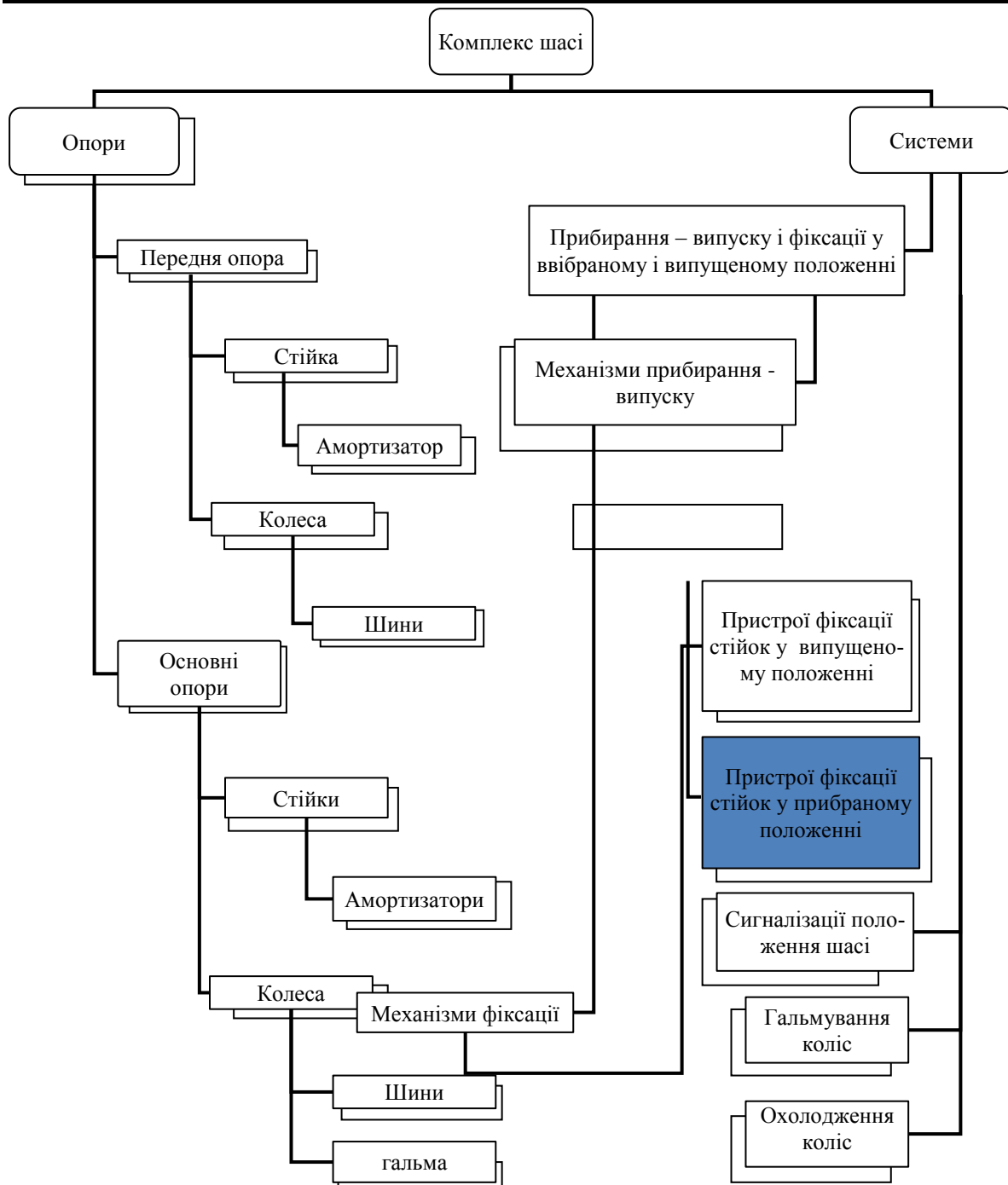


Рис. 1. Структурна схема агрегату шасі

При цих умовах характер прикладання сил і розподілу навантажень представлений на рис. 3.

*Розрахункова модель.* Оцінка напружено – деформованого стану елемента конструкції проводилась методом скінчених елементів на основі параметричної електронної моделі збірки засувки (див. рис.4), котра дозволила з максимальною точністю передати форму та механічні властивості елементів конструкції та її складових [4, 5]. Особливість запропонованої

моделі розрахунку – врахування реальних фізичних властивостей між її складовими. Розрахунок проводився в системі CATIA V5 [5].

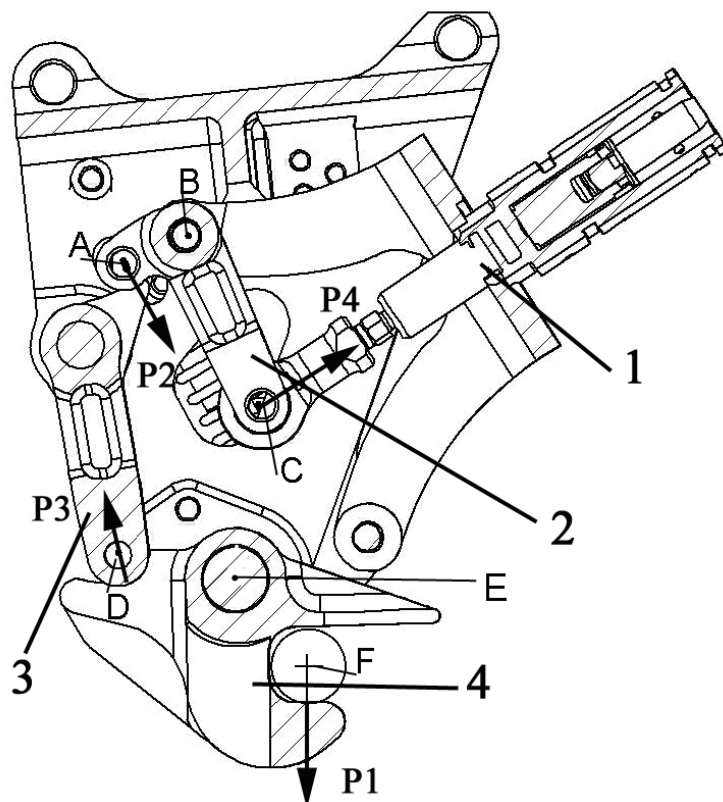


Рис. 2. Конструкція замка та схема сил, що на нього діють  
1- циліндр; 2- качалка; 3- засувка; 4- крюк

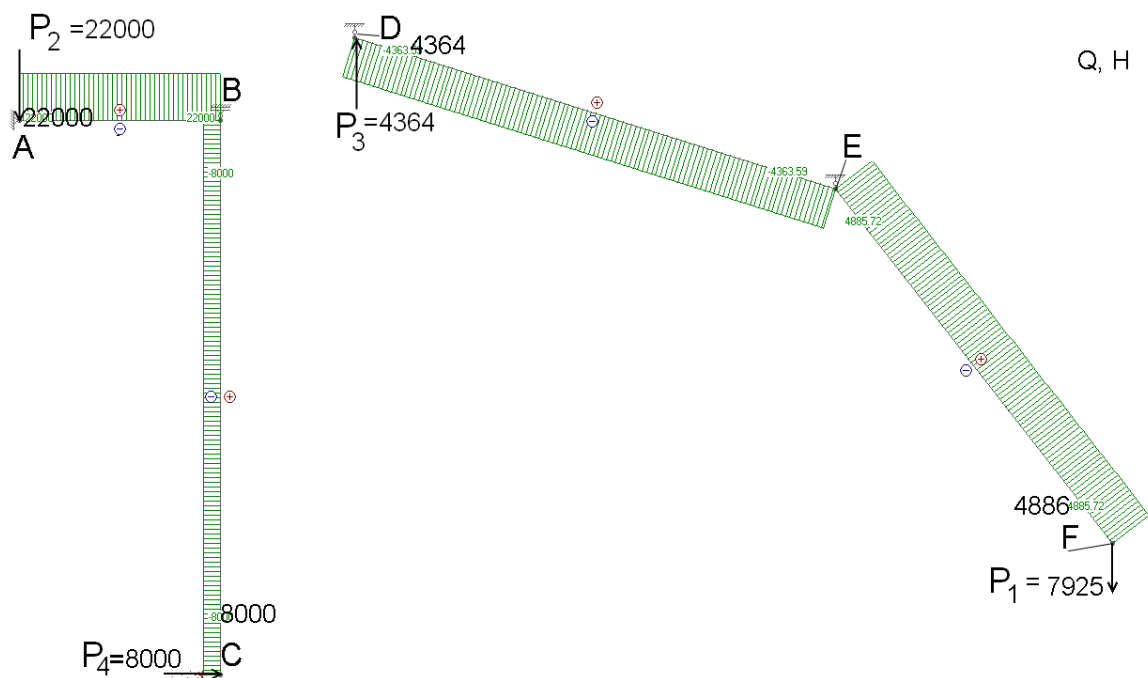







Рис. 3. Епюри сил, що діють на засувку

Порядок створення параметричної електронної моделі геометричних параметрів збірки засувки наведено нижче (рис. 4). Вона складається як з окремих деталей, так і з вузлів. При розробці моделі збірки потрібно керуватись тим, що всі елементи взаємодіють між собою і тому важливо коректно задати ці зв'язки:

- 1) Створення параметричної моделі геометричних параметрів деталей, що входять в збірку. Задання матеріалу та механічних властивостей у відповідності до технічної документації.
- 2) Створення типової збірки (файл).
- 3) В створену збірку завантажуюмо за допомогою функції  «завантажити існуючий компонент» деталь засувку 1 (рис. 4);
- 4) Задаємо цій деталі обмеження  «закріплення компонента», тим самим ми робимо даний елемент і його систему координат базовим для створення збірки засувки;
- 5) Завантажимо аналогічно п. 3 вузол ролик, який складається з ролика 3 та втулки 2. Зв'язки між цими деталями були задані наступним чином:
  - а) обмеження контакту типу I по зовнішній циліндричній поверхні втулки 2 та циліндричній поверхні отвору ролика 3;
  - б) обмеження контакту типу II поверхні торців ролика 3 та втулки 2;
- 6) Завантажимо аналогічно п. 3 болт 4, шайбу 5, гайку 6.
- 7) За допомогою функції  «обмеження циліндричного контакту» створюємо обмеження контакту типу I по:
  - а) зовнішній циліндричній поверхні гладкої частини болта 4 та поверхні отворів у вилці засувки 1.
  - б) зовнішній циліндричній поверхні гладкої частини болта 4 та поверхні отвору втулки 2;
  - с) зовнішній циліндричній поверхні гладкої частини болта 4 та поверхні отвору шайби 5;
  - д) зовнішній циліндричній поверхні гладкої частини болта 4 та поверхні отвору гайки 6;
- 8) За допомогою функції  «обмеження контакту площиною» створюємо обмеження контакту типу II між:
  - а) лискою на головці болта 4 та стопорним буртом на засувці 1;
  - б) поверхнею головки болта 4 та боковою поверхнею вушка засувки 1;
  - с) торцем шайби 5 та боковою поверхнею вушка засувки 1;
  - д) торцем шайби 5 та торцем гайки 6.
- 9) За допомогою функції  «обмеження зміщення» створюємо обмеження контакту типу III, встановлюючи зазор між торцями ролика 3 та внутрішніми поверхнями вушка засувки 1.

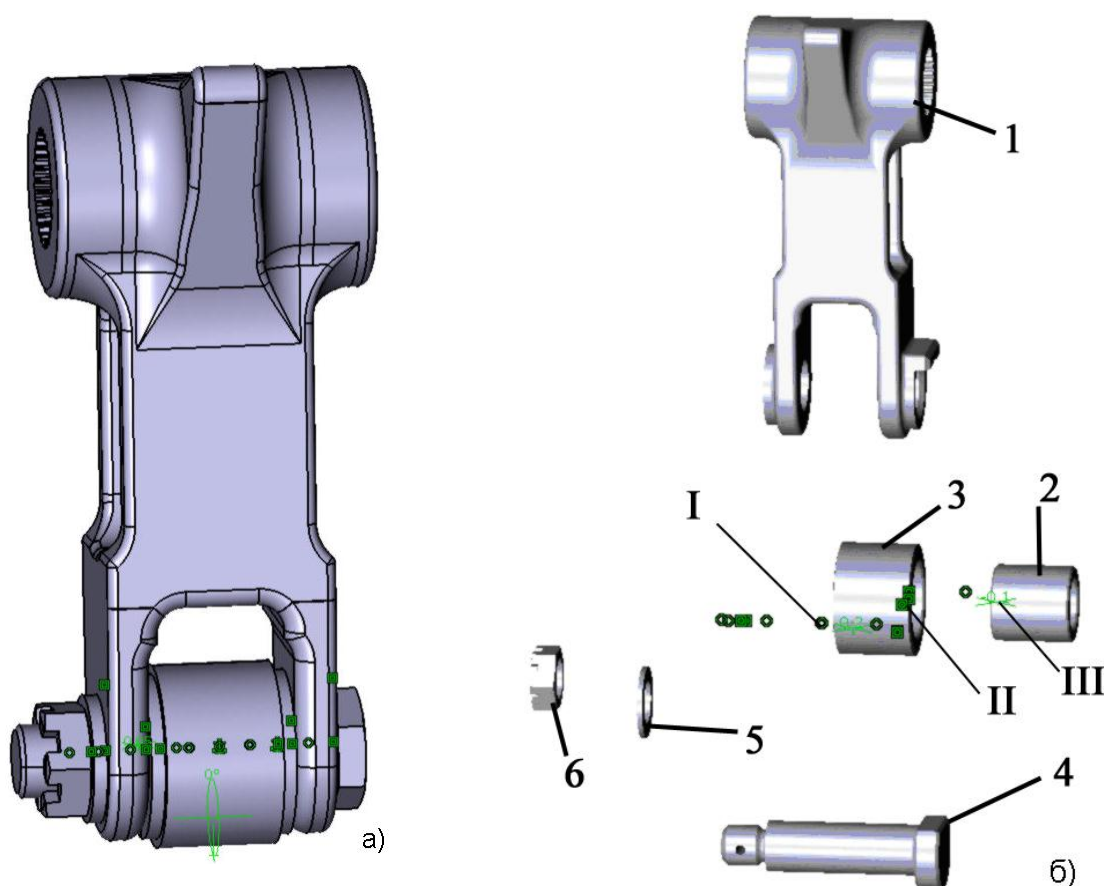










Рис. 4. Параметрична модель збірки засувки:

а) в зборі;

б) подетальна (1- засувка, 2- втулка, 3- ролик, 4- болт, 5 –шайба, 6- гайка)

В результаті отримана параметрична модель засувки замка прибраного положення. Дана геометрична модель збірки засувки точно описує взаємодію елементів в реальній конструкції. На основі даної моделі була створена розрахункова модель для оцінки НДС. Порядок задання розрахункових параметрів представлений нижче:

- 1) Імпортуємо створену модель зі вказаними обмеженнями в модуль Generative Structural Analysis;
- 2) Виходячи з конструктивних та функціональних особливостей замка прибраного положення задаємо  «обмеження закріплення» по торцевим поверхням в зоні контакту з корпусом, а також в шліцевому отворі.
- 3) Задаємо  «навантаження» в вигляді сил на ролик та носик засувки. Значення навантажень відповідають розрахунковим.
- 4) Задаємо обмеження міжелементних зв'язків. Дані обмеження вказуються з прив'язкою до встановлених на етапі створення параметричної моделі геометричних параметрів збірки засувки:

- а) в місцях де в параметричній моделі задане обмеження контакту типу I задаємо в залежності від конструкції обмеження фітингового  або різьбового  з'єднання;
- б) в місцях де в параметричній моделі задане обмеження контакту типу II задаємо в залежності від конструкції обмеження ковзаючого контакту , контакту з визначеним коефіцієнтом тертя , закріпленим контактом , або пружним контактом .

В результаті було отримано розрахункову модель засувки з урахуванням всіх обмежень, що виникають в реальній конструкції (рис. 5).

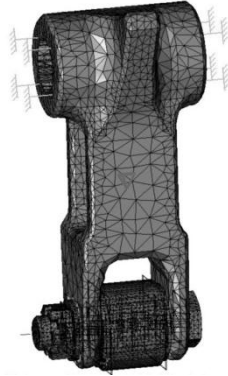


Рис. 5. Скінченно – елементна модель засувки

Візуалізація даних проведена за критерієм Фон Мізеса [6] і представлена на рис. 6, де чітко відображені взаємні деформації елементів конструкції та характер розподілу навантажень. Максимальні значення навантажень розміщуються в зоні упора засувки і становлять 370 МПа.

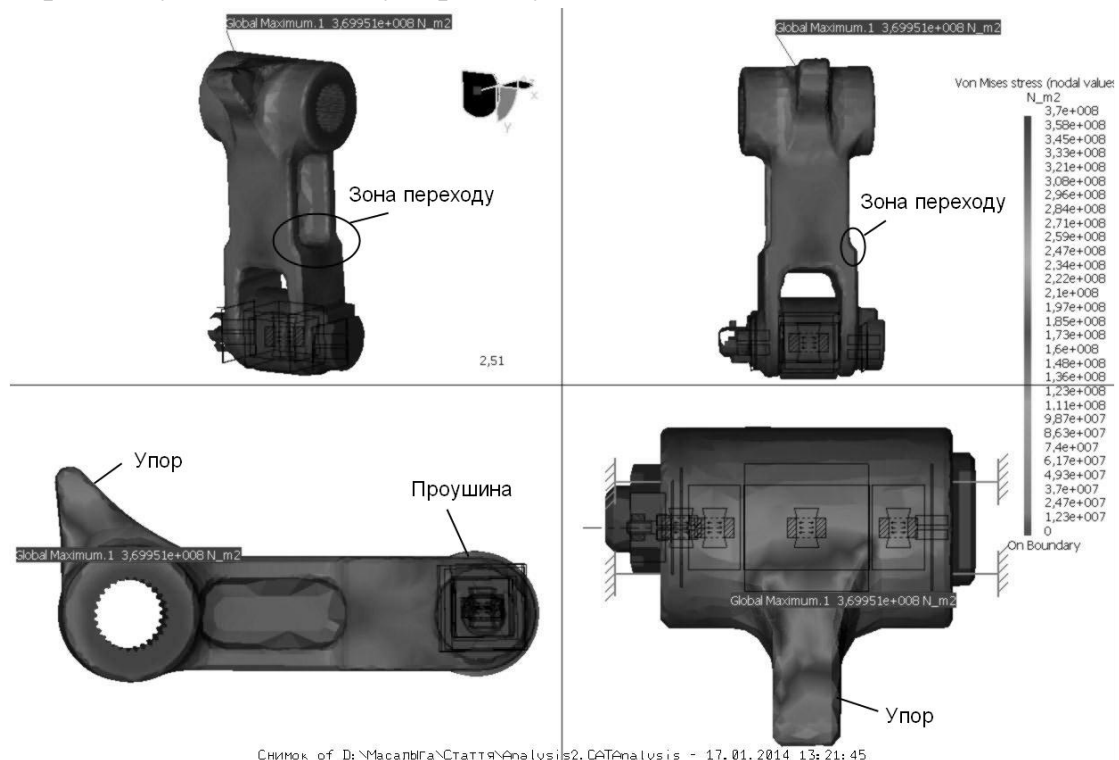


Рис. 6. Розподіл навантажень на збірці засувки

## Розділ 2. Механіка

Для порівняння отриманих результатів була проведена оцінка напружено-деформованого стану тієї ж деталі, але без урахування елементів, що входять у збірку. Умови розрахунку аналогічні та показані на рис. 7.

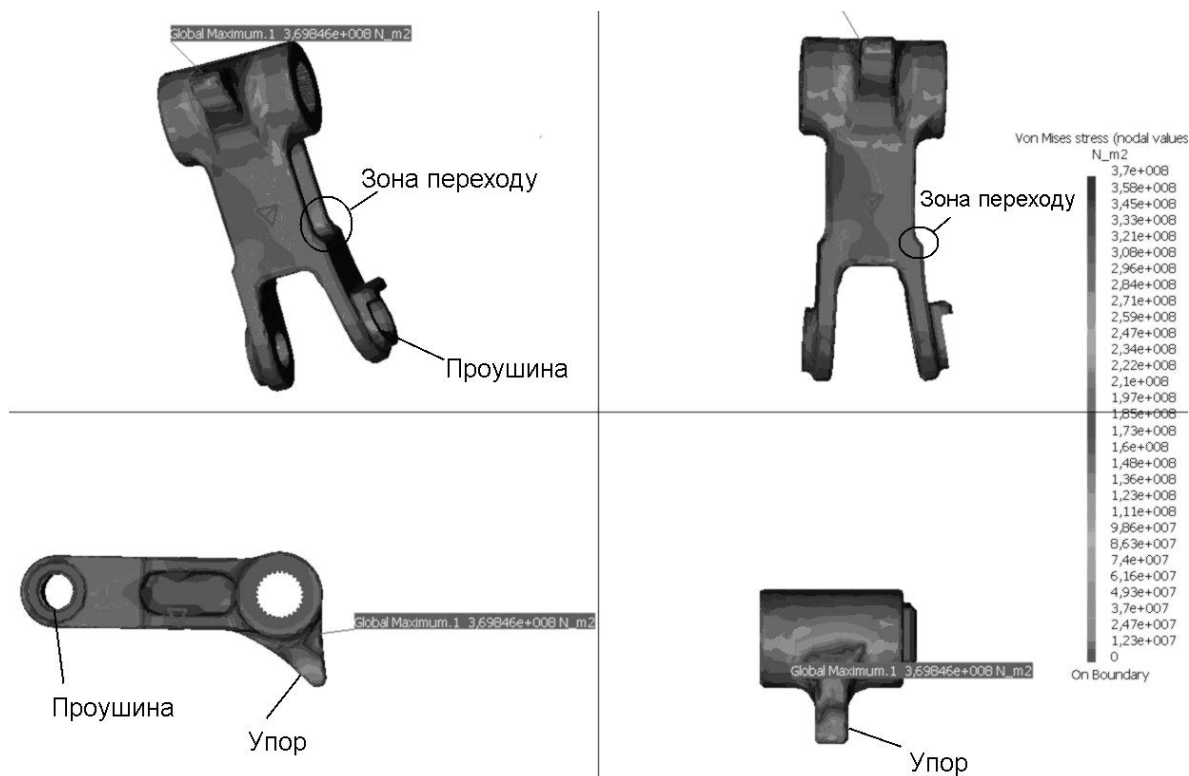


Рис. 7. Розподіл навантажень на деталі засувки

Максимальні значення навантажень розміщуються в зоні упора засувки і становлять 370 МПа на обох досліджуваних моделях (рис. 8), проте характер розподілу і значення навантажень значно відрзняються.

Найбільшою відмінністю в розглянутих розрахункових моделях є характер деформації вушок проушини та розподіл зон, що працюють на розтяг та стиск. Розглянемо декілька зон: зона упора, зона переходу двотапвової частини в проушини та зона проушини.

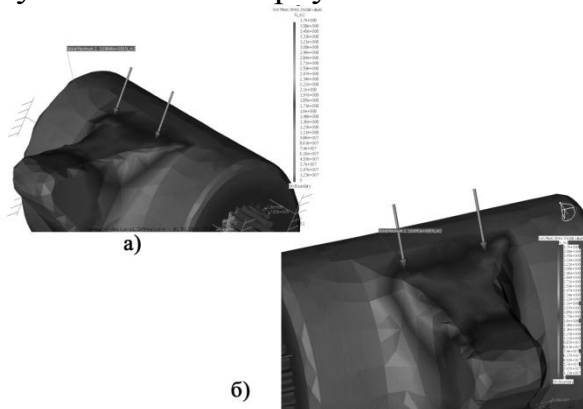


Рис. 8. Значення напружень на носіку.

- а) модель без урахування взаємозв'язків;
- б) модель з урахуванням взаємозв'язків



Значення напружень в зоні переходу двотаврової частини конструкції в проушину при розрахунку моделі із врахуванням між елементних зв'язків сягає до 49 МПа, а при розрахунку без урахування взаємозв'язків сягає до 88 МПа. Також слід відзначити, що в першому випадку елементи в зоні переходу працюють на розтяг, а в другому на стиск (рис. 9).

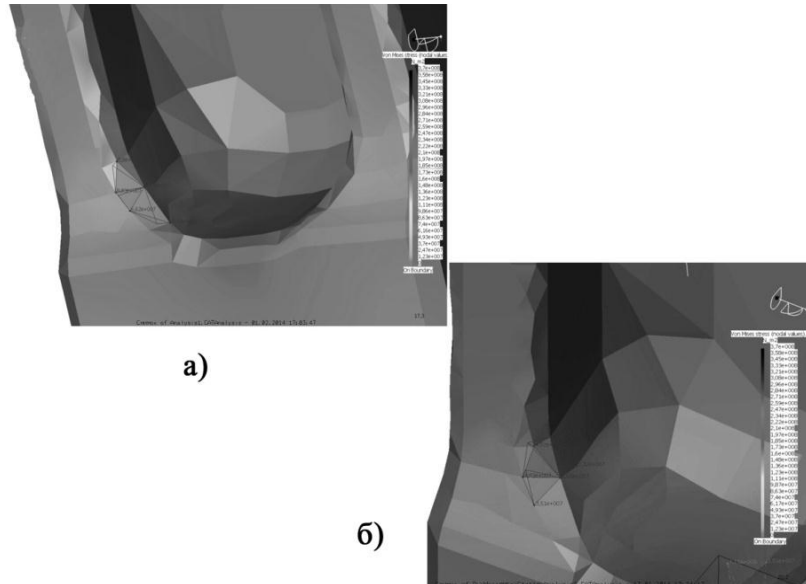


Рис. 9. Значення напружень в зоні переходу:

а) модель без урахування взаємозв'язків;

б) модель з урахуванням між елементних взаємозв'язків

Значення напружень в зоні вушок проушини при розрахунку моделі із врахуванням між елементних зв'язків до 21,6 МПа, а при розрахунку без урахування взаємозв'язків сягає до 33,9 МПа (рис. 10).

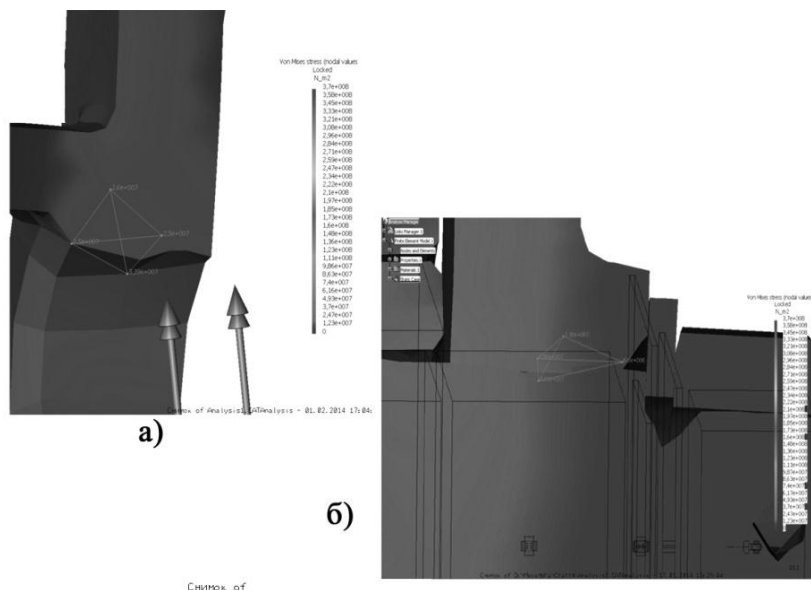


Рис. 10. Значення напружень в проушині:

а) модель без урахування взаємозв'язків;

б) модель з урахуванням взаємозв'язків

**Висновки**

Представлена методика оцінки напружено-деформованого стану елементів конструкції шасі з урахуванням взаємодії деталей, що входять до збірки.

Врахування реальних умов взаємодії між елементами відображаються на величині та характері розподілу напружень по поверхнях деталей, що взаємодіють. В окремих зонах елементів конструкції значення напружень можуть змінюватись від 10% до 50%.

Отримані результати можуть бути вихідними даними для оперативної оцінки напружено-деформованого стану конструкції шасі при проектуванні нових виробів та внесенні змін в існуючі зразки, а також для оцінки довговічності конструкції.

**Список використаної літератури**

1. *Образцов И. Ф.* МКЭ в задачах строительной механики летательных аппаратов [Текст] // И. Ф. Образцов, Л. М. Савельев, Х. С. Хазанов/– М.: Высшая школа, 1985. – 392 с.
2. Федеральные авиационные правила АП-23 раздел D, п. 23.721.
3. Северо-западное межрегиональное территориальное управление воздушного транспорта федерального агентства воздушного транспорта [Электронный ресурс] за даними Федерального агентства воздушного транспорта (росавиация) – режим доступу <http://szfavt.ru/wp-content/uploads/2012/02/13.pdf>.
4. *Сабонадьер Ж. К.* Метод конечных элементов и САПР [Текст] //Ж. К. Сабонадьер, Ж. Л. Кулон/ пер. с франц. М.: Мир, 1989. – 190 с.,– ISBN 5-03-000488-2.
5. *Басов К. А.* Catia V5. Геометрическое моделирование [Текст] – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008 – 269с.
6. *Каримов Ильдар* Электронный учебный курс для студентов очной и заочной формы обучения [Электронный ресурс] – режим доступу <http://www.soprotmat.ru>.