

Рудик Олександр Юхимович
кандидат технічних наук, доцент кафедри зносостійкості та надійності машин
Хмельницького національного університету, arudyk@rambler.ru

Рибачук Юрій Михайлович
студент Хмельницького національного університету

SOLIDWORKS SIMULATION У ВИЗНАЧЕННІ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРА

Енергоаккумулятор – вузол пневматичного привода гальмівної системи вантажних автомобілів та автобусів. Цей елемент накопичує енергію стислої пружини й при необхідності звільняє її. Енергоаккумулятор працює за рахунок стисненого повітря в системі й прикладає сили до гальмівних колодок, які, притискаючись до гальмівного диска або барабана, гальмують автомобіль [1].

Пружинні енергоаккумулятори прийшли на зміну центральному трансмісійному гальму, нездатному втримувати на ухилах автотранспортні засоби. Застосування нових гальмівних приладів дозволило в декілька разів підвищити надійність і безпеку транспортних засобів, але це також відбилося на ускладненні конструкції гальмівного пневмоприводу (зросли вимоги до його експлуатації, якості проведення ТО й ремонту).

Автомобілі та автопоїзди КамАЗ обладнано чотирма автономними гальмівними системами: робочою (пневматичний гальмівний привод), допоміжною (моторне гальмо-сповільнювач), запасною та стоянковою з пружинними енергоаккумуляторами, які кріпляться до гальмівних камер середнього й заднього ведучих мостів та утворюють загальний гальмівний пристрій. Аварійний система розгальмовування призначена для розгальмовування пружинних енергоаккумуляторів при їх автоматичному спрацьовуванні й зупинці автомобіля внаслідок витoku стисненого повітря в приводі. Хоча ці системи мають загальні елементи, працюють вони незалежно й забезпечують високу ефективність гальмування у будь-яких умовах експлуатації.

Енергоаккумулятори:

- утримують автомобіль на стоянці в загальмованому стані;
- автоматично загальмовують рухомий автомобіль у випадку ушкодження трубопроводів пневматичного гальмівного привода або відмови в роботі компресора;
- виконують функції запасної гальмівної системи (колеса розгальмовуються й автомобіль може рухатися).

Привод системи аварійного розгальмовування дубльований: окрім пневматичного привода є гвинти аварійного розгальмовування в кожному із чотирьох пружинних енергоаккумуляторів, що дозволяє розгальмувати останні механічним шляхом.

Так як енергоаккумулятори спрацьовують дуже швидко, то автомобіль може зупинитися безпосередньо на проїзній частині дороги, перекривши рух іншого транспорту. Тому передбачена аварійна система розгальмовування, яка

наповнює циліндри енергоакумуляторів стисненим повітрям зі спеціального балона.

Ознаки несправності пружинного енергоакумулятора:

- гальмування автомобіля неефективне або воно відсутнє;
- погане утримання автомобіля на місці (неспрацьовування стоянкового гальма);
- при знятті стоянкового гальма вантажівка відмовляється розгальмовуватися;
- витік повітря через прискорювальний клапан відбувається при включеному стоянковому гальмі й одночасно натиснутої гальмівної педалі;
- підгальмування проміжного й заднього мостів під час руху.

Основні елементи енергоакумулятора: корпус, силова пружина, штовхач, поршень, гвинт-вісь.

У процесі експлуатації в енергоакумуляторах зношуються й виходять з ладу ущільнення поршня в циліндрі й труби штовхача в корпусі, що веде до пригальмовування автомобіля та, як наслідок, до збільшення витрати палива й зношування гальмівного механізму. При обриві пневмопроводів, які підводять стиснене повітря в енергоакумулятори для розгальмовування автомобіля, відбувається спрацьовування стоянкового гальма під час руху, що може привести до виникнення аварійної ситуації й дорожньо-транспортної пригоди. Необхідність постійно при русі автомобіля подавати в енергоакумулятори стиснене повітря призводить до того, що компресор перебуває в робочому стані значний час, здійснюючи підживлення стоянкового контуру. При цьому відбувається зношування навантажених деталей компресора.

Ремонт енергоакумулятора – трудомісткий і небезпечний процес, який неможливо зробити без спеціального устаткування й без професійного втручання. Для виконання ремонту пружинного енергоакумулятора в автотайстернях застосовують стенди, що дозволяють виконати розбирання й складання вузла, перевірити й відрегулювати його роботу.

Серед різних конструкцій і типів енергоакумуляторів є одна особливість – практично в усіх джерелом, що накопичують механічну енергію, є пружинний елемент, виконаний у вигляді витої пружини. У робочому стані (розгальмованому) пружина стиснута й утримується у такому положенні за допомогою тиску поршня (під дією на нього стисненого повітря). Заклинювання або поломка поршня призводять до неможливості здійснення гальмування транспортного засобу в робочому режимі й утримання автомобіля у режимі стоянки. Тому задача даного дослідження – перевірка працездатності поршня енергоакумулятора.

Порушення міцності поршня або його окремого елемента може відбуватися в результаті надмірної (пружної або пластичної) деформації, втрати стійкості, руйнування. Одним із методів, яким можна скористуватись для комплексного розв'язування поставленої задачі, – метод скінченних елементів (МСЕ).

МСЕ — числова техніка знаходження розв'язків інтегральних та диференціальних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП). Процес розв'язання

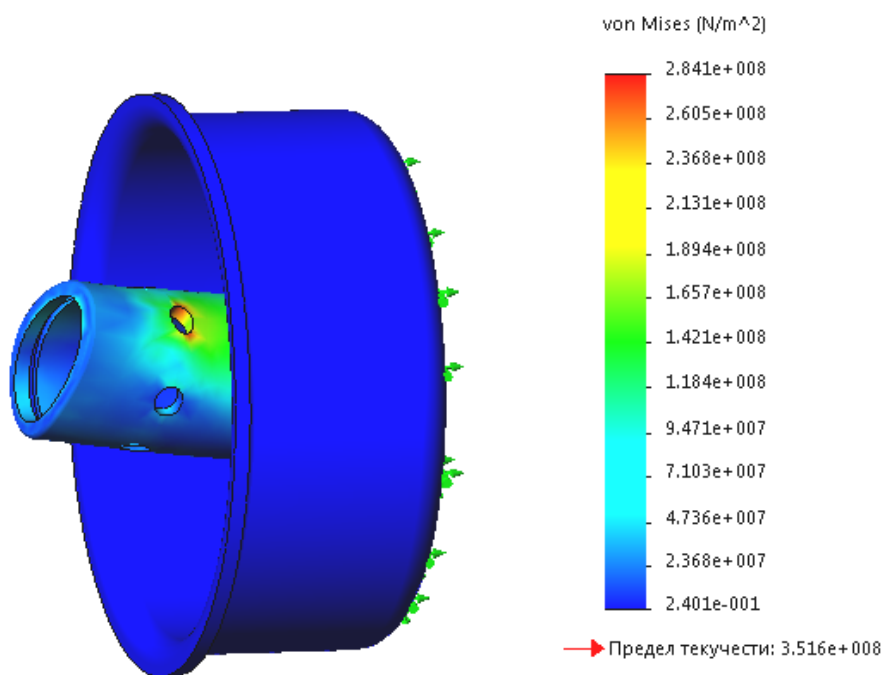
побудований або на повному усуненні диференціального рівняння для стаціонарних задач, або на розкладі ДРЧП в апроксимуючу систему звичайних диференціальних рівнянь, які потім розв'язуються використанням якої-небудь стандартної техніки, такої як метод Ейлера, Рунге-Кутта тощо [2].

При розв'язанні часткових диференціальних рівнянь головною метою є створення рівності, яка апроксимує досліджувану рівність і є чисельно стабільною, тобто помилки у вхідних даних і проміжних обчисленнях не акумулюються і не спричиняють беззмистовних результатів. Для реалізації цього є багато способів, кожен зі своїми плюсами і мінусами. Але МСЕ-програми забезпечують широкий спектр моделювальних можливостей контролю складності як модельовальної, так й аналітичної систем. За потреби у більшості інженерних програм можна змінювати бажаний рівень точності та час, потрібний для необхідних та асоційованих обчислень.

Однією із таких програм є 3D система твердотілого параметричного моделювання SolidWorks, а, точніше, її додаток SolidWorks Simulation. Цей програмний продукт використовує геометричну модель деталі SolidWorks для формування розрахункової моделі. Інтеграція з SolidWorks дає можливість мінімізувати операції, зв'язані зі специфічними особливостями кінцево-елементної апроксимації.

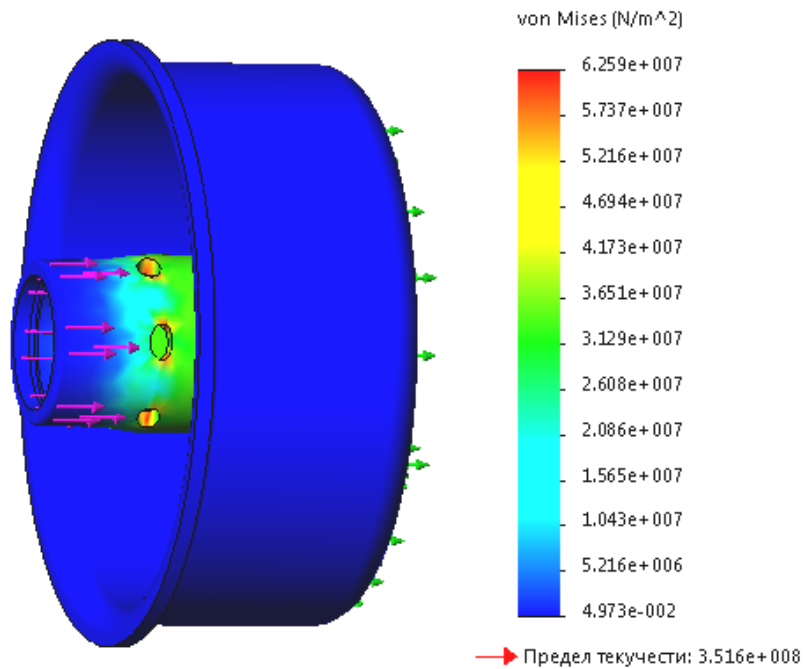
Розрахунок міцності поршня починали з вибору матеріалу, з якого він виготовлений – сталь 20; тому з бібліотеки SolidWorks вибрано сталь AISI 1020 з границею міцності на розтяг 420,507 МПа та границею текучості 351,571 МПа.

Досліджувались два випадки прикладення навантаження: на початку спрацювання енергоакумулятора (рис. 1, а) й у випадку його рівномірного розподілу на поршень після відповідних деформацій (рис. 1, б).



а

Имя модели: Stal20
Название исследования: Статический анализ 2(-По умолчанию-)
Тип эпоры: Статический анализ узловое напряжение Напряжение1
Шкала деформации: 1212.08



б

Рис. 1. Вузлові напруження von Mises

У першому випадку (рис. 1, а) мінімальний запас міцності $k = 1.2$, у другому (рис. 1, б) – $k = 5.6$, тобто поршень в обох випадках працездатний (час спрацювання мізерний і не чинить визначальної дії на його довговічність).

Але часто причиною руйнування конструкції є не порушення міцності, а втрата стійкості рівноваги окремих її елементів. Тому наступне дослідження поршня, яке може запобігти його руйнуванню – втрата стійкості (розрахунки лінійної статика за допомогою скінченно-елементної техніки).

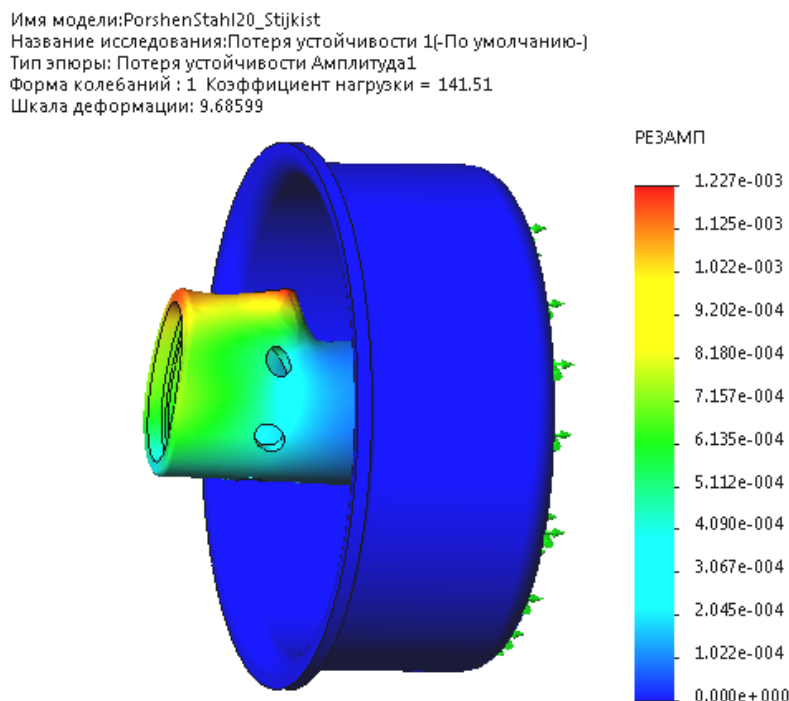
Втрата стійкості первинної форми рівноваги для більшості елементів конструкцій є причиною вичерпання їх працездатності, а це може призвести до катастрофи всієї конструкції. Такі випадки не поодинокі. При цьому втрата стійкості навіть, здавалося б, другорядним елементом конструкції може виявитися фатальною для всієї конструкції в цілому [3].

Втрата стійкості означає практично повну втрату несучої здатності конструктивного елемента і з цим явищем при проектуванні необхідно рахуватися. Перш за все, слід по можливості уникати такого типу навантажень, при яких можлива втрата стійкості.

Деталі з тонкими компонентами, які навантажуються в осьовому напрямку, згинаються під відносно малими осьовими навантаженнями. Такі конструкції можуть вийти з ладу внаслідок втрати стійкості, незважаючи на те, що напруження набагато нижчі критичних рівнів. Для таких конструкцій критичне поздовжнє навантаження стає критичним конструктивним фактором

(аналіз втрати стійкості не потрібні для об'ємистих конструкцій, так як руйнування відбувається раніше внаслідок великих напружень).

За допомогою SolidWorks Simulation встановлено, що максимальна амплітуда коливань $a = 0,00122695$, вузол 52 (рис. 2, а); запас міцності при можливій втраті стійкості складає 141,51 (рис. 2, б), тобто втрата стійкості поршня не відбувається (у випадку рівномірного розподілу навантаження на поршень запас міцності складає 374,46).



а

Тип	Мин	Макс
РЕЗАМП:	0	0.00122695
результующая амплитуда	Узел: 1453	Узел: 52
Эпюра - для формы колебаний:		
1 (Коэффициент нагрузки = 141.511)		

б

Рис. 2. Резульуюча амплітуда (а) та запас міцності при втраті стійкості (б)

Список використаних джерел

1. Ремонт энергоаккумулятора автомобиля КамАЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://star-avto.com/2016/03/09/remont_yenergoakkumulyatorov_avtomobileiy_kamaz.html
2. Метод скінченних елементів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_скінченних_елементів
3. Потеря устойчивости элементов конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://mash-xxl.info/info/339747/>