

Рудик Олександр Юхимович

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

Дудник Сергій Анатолійович

студент Хмельницького національного університету

ЗАСТОСУВАННЯ SOLIDWORKS SIMULATION ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ ЕКСКАВАТОРА

Серед різних видів спецтехніки до особливої категорії надважких машин відноситься крокуючий екскаватор. Свою назву такі екскаватори одержали через особливу конструкцію їх самохідного шасі, принципово відмінного від традиційних колісних і гусеничних двигунів, які використовуються на даному виді спецтехніки. Такий двигун є спеціальною опорною плитою (основа), на якій закріплена поворотна платформа з екскаваторним устаткуванням різного типу і дві-чотири опорні лижі (черевика), керовані гідроциліндрами (залежить від конкретних моделей). У нерухомому (робочому) стані опорна плита обпирається на ґрунт, забезпечуючи стійку основу для машини. Для початку руху опорні лижі підіймаються вгору, переміщуються вперед і упираються в ґрунт. При цьому вага екскаватора переноситься на них, внаслідок чого він разом з опорною плитою підводиться над поверхнею землі, зміщується вперед на певну відстань та опускається, знову упираючись опорною плитою в ґрунт. Таким чином, екскаватор якби робить один крок. Потім весь цикл повторюється необхідну кількість разів, забезпечуючи поступальну ходу машини вперед на необхідну відстань.

Використання крокуючого гідравлічного двигуна дає можливість зменшити тиск на ґрунт (вага машин може досягати тисяч тонн) і додати машині ще більше надійності.

Крокуючий екскаватор ЕК–5/45М є повноповоротною електричною машиною з робочим устаткуванням драглайна. Він призначений, головним чином, для вилучення ґрунтів міцністю до IV категорії включно при виробництві розкривних робіт по безтранспортній системі з укладанням породи у вироблений простір або на борт кар'єру.

Екскаватори з робочим устаткуванням драглайна застосовують для розробки ґрунтів, які знаходяться нижче рівня стоянки. Завдяки подовженій порівняно з іншими видами робочого устаткування стрілі, драглайни працюють на більшому радіусі копання, тому їх використовують переважно на копанні великих котлованів і траншей, а також для вантаження і розвантаження сипких будівельних матеріалів.

Екскаватор може застосовуватися на відкритих розрізах у вугільній промисловості, чорній й кольоровій металургії, виробництві будівельних матеріалів, а також на будівництві каналів, іригаційних систем і різних гідротехнічних споруджень. Невисокі значення питомих тисків на ґрунт при пересуванні й роботі в комбінації з високою маневреністю дозволяють

використовувати екскаватор для робіт на слабких ґрунтах і в обмежених умовах.

В результаті аналізу технічних характеристик драглайнів, які впливають на умови їх експлуатації, виявлений стрибкоподібний характер зміни середньої величини тиску на ґрунт при загальній тенденції до збільшення, а також несинхронне підвищення й наступне пониження кутів нахилу бази, які допускаються при роботі й пересуванні екскаватора.

На деталі робочого обладнання впливають великі динамічні навантаження, які виникають в періоди розгону і гальмування механізмів підйому, напору та повороту. Оскільки розгін і гальмування цих механізмів відбувається по декілька разів за робочий цикл, дія динамічних навантажень на деталі робочого обладнання має місце практично увесь час: при добре організованій роботі та кваліфікованому обслуговуванні екскаватора число включень підйомного двигуна доходить до 200-300 в год., а напірного і поворотного – до 600-700 в год. Піки навантаження цих механізмів часто у 2-3 рази більше середнього навантаження й інколи можуть повторюватися по декілька разів протягом 10-20 с. Крім того, великі динамічні навантаження виникають при раптових стопоріннях ковша, неминучих при розробці неоднорідних ґрунтів.

Під час роботи крокуючого екскаватора періодично змінюється як величина, так і положення рівнодійної сили. Максимальних значень величина сили досягає при повному завантаженні ковша, а її ексцентриситет – при винесенні навантаженого ковша до голови стріли. Виникаючий при цьому на кромці бази тиск, за даними Р.Ю. Подерні (1985), перевищує середній тиск в 2-3,6 рази, а за даними М.Е. Певзнера (1978) в 2,7-6,3 рази [1].

З механізмів крокуючого екскаватора в найважчому режимі працює поворотний механізм, який призначений для здійснення повороту на вивантаження і в забій, а також для допоміжних поворотів екскаватора. Його деталі, які зазнають ударні навантаження, більше 40% часу працюють в режимі перевантаження. До порушення працездатності драглайна (відмові поворотного механізму) призводять наступні причини: порушення режиму змащування; недотримання термінів зупинки на поточний ремонт; недотримання умов експлуатації екскаватора. Остання причина обумовлена відривом бази від основи при значному крені. На частку простоїв крокуючих екскаваторів, пов'язаних з усуненням такого роду відмов, припадає 2-2,5% календарного фонду часу [2].

Виходу з ладу механізму повороту також сприяють: наявність некерованого циклічного навантаження на кінематичній парі «вінець поворотного круга – приводна шестерня», виникаючого у момент розгону і гальмування; наявність динамічних навантажень при гальмуванні, які виникають за рахунок моментів інерції, пульсації потоку робочої рідини й різкого уповільнення; великий розкид швидкості та прискорень поворотної платформи в процесі такту; неможливість максимального використання кінетичної енергії об'єкту, що обертається; висока енергоємність на одиницю виконаної роботи; наявність великих значень величини реактивних сил у

механізмі; необхідність високого тиску в гідроприводі повороту платформи; відсутність можливості миттєвого реагування на навантаження, що змінюються, в процесі часу розгону і гальмування; відсутність можливості автоматичного розподілу сили в поворотному механізмі.

Основною вимогою до електроприводу механізму повороту є забезпечення протікання перехідних процесів у мінімально можливий час з обмеженим прискоренням або уповільненням, особливо при гальмуванні. Така вимога викликана тим, що механізм повороту працює виключно у перехідних процесах пуску, реверсування і гальмування, оскільки він має значну масу, яка у декілька разів перевищує махову масу двигуна. Крім того, через наявність крупномодульного зачеплення й великих передаточних відношень поворотний механізм має найбільший зведений зазор. Відсутність пружних муфт призводить до того, що при роботі двох електродвигунів поворотного механізму на один зубчастий вінець за рахунок неоднаковості номінальних ковзань кожного з них утворюється деформаційний момент, який призводить до неоднакових амплітуд і фаз коливань моментів у часі, тобто до значних за величиною динамічних навантажень.

Під дією внутрішніх збурень пружна механічна система механізму повороту залучається до коливального процесу. У міру зміни швидкості платформи під час пуску або гальмування, коли частота збурень стає рівній частоті вільних коливань системи, настає резонанс, при якому амплітуди коливань пружного моменту та швидкості істотно зростають. За відсутності демпфування ці коливання розвиваються безперервно до повного руйнування механізму [3].

Одним із способів підвищення надійності екскаваторів є пошук рішень зі зниження впливу експлуатаційних навантажень на вузли машини, зокрема, на елементи опорно-поворотного пристрою.

Сучасний етап розвитку систем моделювання технологічних процесів характеризується підвищенням їх функціональної насиченості. Моделювання процесів роботи вузлів екскаватора є складною системною задачею, оскільки дана система є ієрархічною і має широкий діапазон властивостей, які динамічно змінюються у часі.

Однією з основних деталей механізму повороту екскаватора ЕК-5/45М є вал-шестерня, тому у програмі SolidWorks Simulation за допомогою методу скінченних елементів побудована модель її напружено-деформованого стану. Вибір базової програми обґрунтовується тим, що в її основному багатofункціональному модулі містяться функції проектування деталей в тривимірному просторі. Є можливість оформлення конструкторської документації відповідно до вимог стандартів, а також для вирішення ряду інших задач.

Матеріалом вал-шестерні є сталь 34Х2Н2М, тому з бібліотеки SolidWorks вибрано сталь AISI 4340 з границею міцності на розтяг 1110 МПа та границею текучості 710 МПа.

Параметри сітки на твердому тілі відображені на рис. 1.

Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический анализ 2 (
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	2.63314 mm
Допуск	0.131657 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	95151
Всего элементов	64604
Максимальное соотношение сторон	17.967
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99.3
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0.00929
% искаженных элементов (якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:09

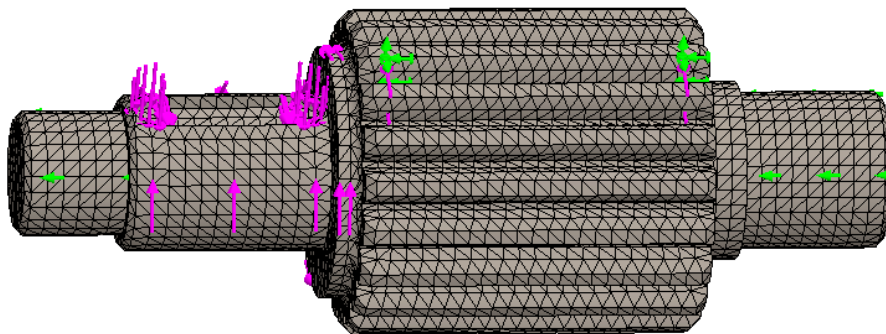


Рис. 1. Сітка на твердому тілі

Миттєво зростаюча величина сили й моменту інерції викликає різке збільшення контактних та згинаючих напружень у парі зачеплення. Крім того, концентрація даних напружень відбувається на малій площі контакту зубів шестерні і колеса. При цьому основне навантаження сприймає один зуб шестерні і посадочне місце колеса, а зуби, що стоять поруч, – по дотичній ділильного діаметра.

Розрахунками встановлено: максимальне напруження, яке виникає у зубі вал-шестерні $\sigma = 1.21908e+008$ МПа (вузол 87275 – рис. 2);

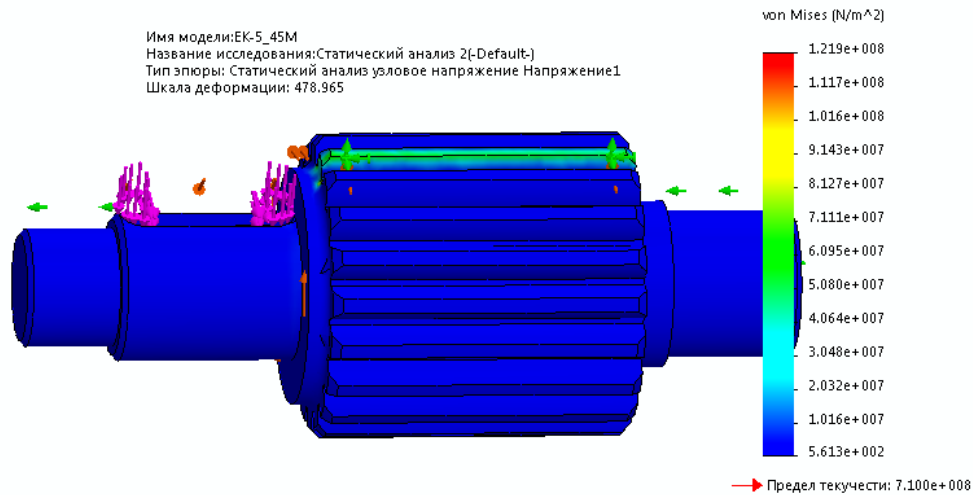


Рис. 2. Вузлові напруження von Mises

- максимальне результуюче переміщення $h = 0.0294427$ мм (вузол 1539);
- максимальна еквівалентна деформація $\delta = 0.000380373$ (елемент 7576);
- мінімальний запас міцності $k = 5.82405$ (вузол 87275).

На рис. 3 наведено розподіл навантаження по контактній поверхні зуба. Колірна гамма спектральної діаграми характеризує контактну ділянку вал-шестерні (червоний колір вказує ділянки зачеплення, які працюють з критичними напруженнями). Так як червоний колір на рис. 3 відсутній, то даний режим навантаження протікає у допустимих межах за умови міцності $\sigma_M < [\sigma_M]$.

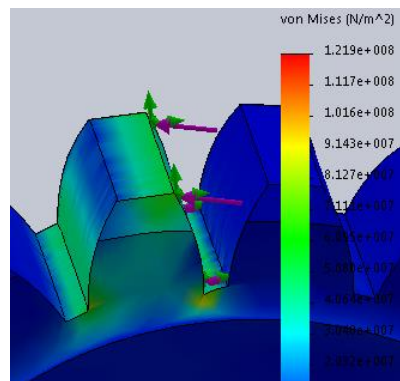


Рис. 3. Розподіл навантаження по контактній поверхні зуба

Список використаних джерел

1. Федорова Е.А. Оценка приспособленности шагающих экскаваторов к работе на свежееотсыпанных песчано-глинистых отвалах / Е.А. Федорова – М.: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – Выпуск № 12, том 3, 2009. – с. 270-278.
2. Бубновский Б.И. Ремонт шагающих экскаваторов / Б.И. Бубновский, В.Н. Ефимов, В. И. Морозов. – М.: Недра, 1991. – 347 с.
3. Соловьев С.В. Привод механизма поворота мощного экскаватора-драглайна / С.В. Соловьев, М.Р. Хромой. - Научный вестник МГГУ, №1 (1). – М.: 2010. С. 31 – 34.