

**Рудик Олександр Юхимович**  
*кандидат технічних наук, доцент кафедри зносостійкості та надійності машин  
Хмельницького національного університету, [arudyk@rambler.ru](mailto:arudyk@rambler.ru)*

**Гончар Вадим Васильович**  
*магістрант Хмельницького національного університету*

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВАЛ-ШЕСТЕРНІ ГОЛОВНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЗАДНЬОГО МОСТА АВТОМОБІЛЯ ГАЗ-53**

Розрахункам несучої здатності і напружено-деформованого стану елементів конструкцій була присвячена значна кількість досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Але до середини дев'яностих років двадцятого століття широко застосовувалися, в основному, методи інженерних розрахунків та експериментальних досліджень, наприклад, метод тензометричних вимірювань. Застосовуючи ці методи, складно було одержати ще на стадії проектування деталі її оптимальні параметри.

Різноманітність і складність геометричних форм деталей автомобільної техніки вимагають застосування для аналізу напружено-деформованого стану деталей чисельних методів, таких, як метод скінченних елементів (МСЕ). На теперішній час він повсюдно визнаний, як загальний метод вирішення широкого кола задач в різних галузях техніки. Суть МСЕ полягає в апроксимації суцільного середовища з нескінченно великим числом ступенів вільності сукупністю підобластей (або елементів), що мають скінченне число ступенів вільності [1]. Між цими елементами встановлюється взаємозв'язок. Визнання методу пояснюється простотою його фізичного тлумачення та математичної форми.

Найбільше поширення мають співвідношення МСЕ у формі переміщень. У межах кожного елемента задаються функції форми, які визначають переміщення у внутрішній області елемента по переміщенням у вузлах. Вузли – це точки, де сполучаються скінченні елементи. Невідомими МСЕ є можливі й незалежні переміщення вузлів скінченно-елементної моделі (СЕМ). Таким чином, СЕМ конструкції є системою закріплених вузлів. Додаткові в'язі ставляться у напрямку можливих переміщень вузлів, підкреслюючи цим самим їх незалежність. За своєю суттю СЕМ конструкції аналогічна основній системі класичного методу переміщень, який застосовується при розрахунку стержневих систем. Для досягнення сприйнятливої точності результатів розрахунків за МСЕ доводиться зменшувати розміри елементів, збільшуючи цим самим точність апроксимації геометричних характеристик і функцій переміщень в межах скінченного елемента. СЕМ складних конструкцій досягають сотень і навіть мільйонів ступенів вільності, а тому МСЕ є машинно-орієнтованим методом, реалізація якого можлива тільки засобами комп'ютерної техніки.

Професійна сучасна інженерна діяльність неминуче зв'язана із застосуванням систем автоматичного проектування, автоматичного

виробництва та автоматичного інженерного аналізу. Так, SolidWorks – програмний комплекс, призначений для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської і технологічної підготовки виробництва. Він забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності та призначення.

У SolidWorks використовується принцип тривимірного твердотілого й поверхневого параметричного проектування, що дозволяє конструктору створювати об'ємні деталі та компоувати збірки у вигляді тривимірних моделей, по яких створюються двомірні креслення і специфікації відповідно до вимог ЕСКД.

SolidWorks включає ряд прикладних модулів, з яких найбільший інтерес має SolidWorks Simulation. Даний модуль, заснований на МСЕ, дозволяє проводити розрахунки на міцність конструкцій в пружній зоні, вирішувати задачі механіки деформованого твердого тіла. Даний модуль дозволяє проводити статичний аналіз деталей і збірок, оптимізувати конструкцію, тобто уникати непотрібних витрат на зайвий матеріал. Спираючись на результати, можна зробити конструкцію міцнішою, легшою, витонченішою, а, отже, економічно вигіднішою і практичнішою.

Метою роботи ставилось дослідження вал-шестерні головної передачі заднього моста автомобіля ГАЗ-53 (сталь 12Х14Г14Н – [2]) з можливістю заміни даного матеріалу на дешевший – сталь 20. У додатку SolidWorks Simulation були проведені статичний і динамічний аналізи моделі вал-шестерні для отримання картини напружено-деформованого стану.

Аналіз скінченних елементів забезпечує надійний чисельний метод розробок. Процес починається зі створення геометричної моделі. Наступний етап – вибір сталей 12Х14Г14Н і 20 з бібліотеки SolidWorks. Для проведення статичного аналізу проведено закріплення моделі та прикладені навантаження (рис. 1).

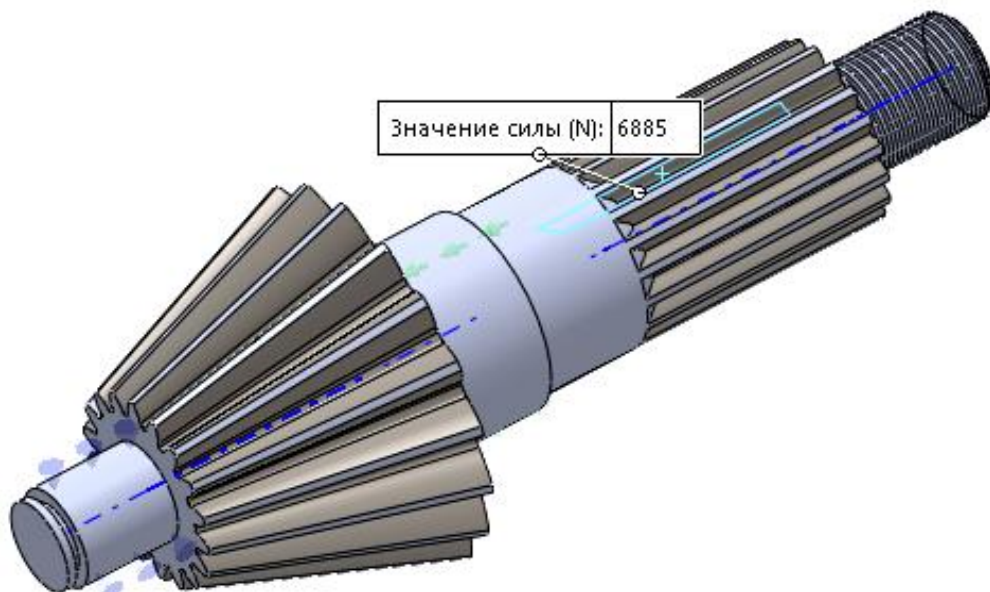


Рис. 1 – Формування картини навантажень

Потім програма ділить модель на маленькі частини простої форми (елементи), з'єднані у спільних точках (вузлах): програма аналізу скінченних елементів розглядає модель як мережу дискретних зв'язаних між собою елементів (сітку). МСЕ прогнозує поведінку моделі за допомогою зіставлення інформації, одержаної від усіх елементів, з яких складається модель.

Створення сітки – дуже важливий етап в аналізі конструкцій. Сітка створюється на основі глобального розміру елемента, допуску і характеристик локального управління сіткою, яка дозволяє задати різні розміри елемента для компонентів, граней, кромки і вершин. Програма визначає розмір елемента для моделі, беручи до уваги її об'єм, площу поверхні та інші геометричні характеристики. Розмір створюваної сітки (кількість вузлів та елементів) залежить від геометрії та розмірів моделі, допуску сітки, параметрів її управління та характеристик контакту. На ранніх стадіях аналізу конструкцій, де можуть підійти приблизні результати, можна задати більший розмір елемента для швидшого вирішення (для точнішого вирішення – менший).

При використанні елементів оболонки програма створює один з наступних типів елементів залежно від того, які параметри створення сітки активовані для дослідження:

- сітка низької якості (лінійні трикутні елементи оболонки);
- сітка високої якості (параболічні трикутні елементи оболонки).

У нашому дослідженні параметри сітки (рис. 2) наступні: якість висока, 4 точки Якобіана, розмір елемента 6,80668 мм, допуск 0,340334 мм, всього вузлів 33959, всього елементів 21045, максимальне співвідношення сторін 1299, перекручених елементів Якобіана – 0%.

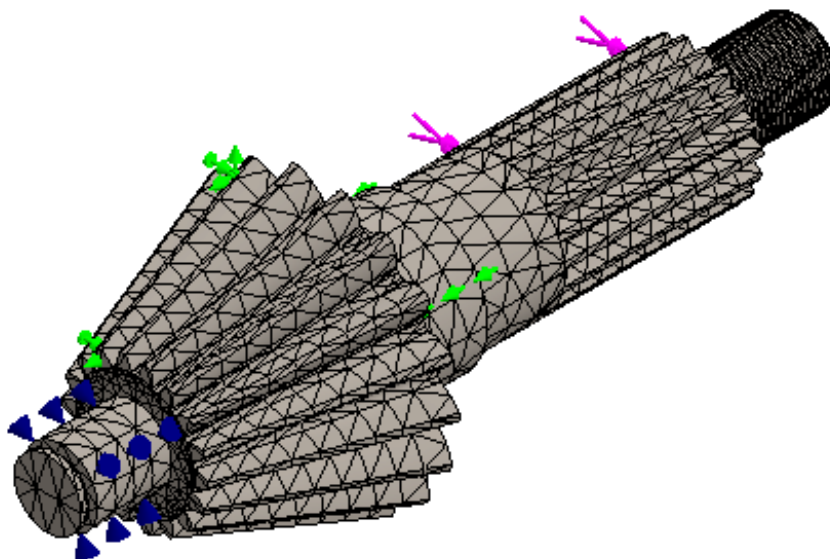


Рис. 2. Скінченно-елементна сітка вал-шестерні типу „на твердому тілі”

Результатом статичного аналізу є епюри напруження (рис. 3), переміщення, деформації, запасу міцності. Встановлено, що вузлові максимальні напруження Von Mises, переміщення URES і деформація ESTRN для вала зі сталі 12X14Г14Н складають 89,9025 МПа, 0,0713178 мм і

0,000333314 мм, а для сталі 20 – 89.6666 МПа, 0,0719863 мм і 0,000306111 мм, тобто в обох випадках не перевищують допустимих значень. При цьому мінімальний коефіцієнт запасу міцності FOS для вала зі сталі 12X14Г14Н становить 3,05887, а зі сталі 20 – 2,78811. Тобто, у випадку заміни сталі 12X14Г14Н на сталь 20 для виготовлення вал-шестерні запас міцності достатній.

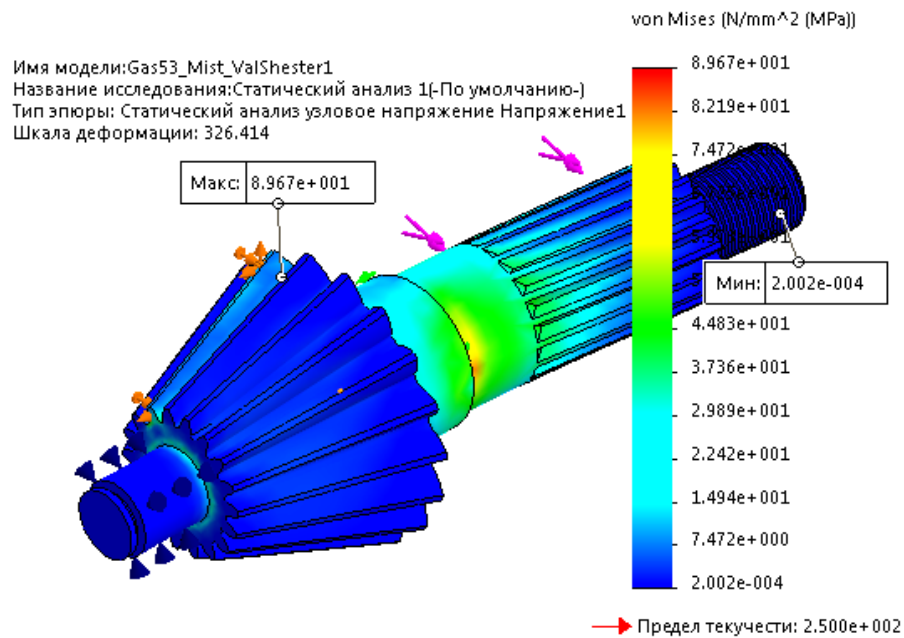


Рис. 3. Контурний графік сумарних напружень von Mises

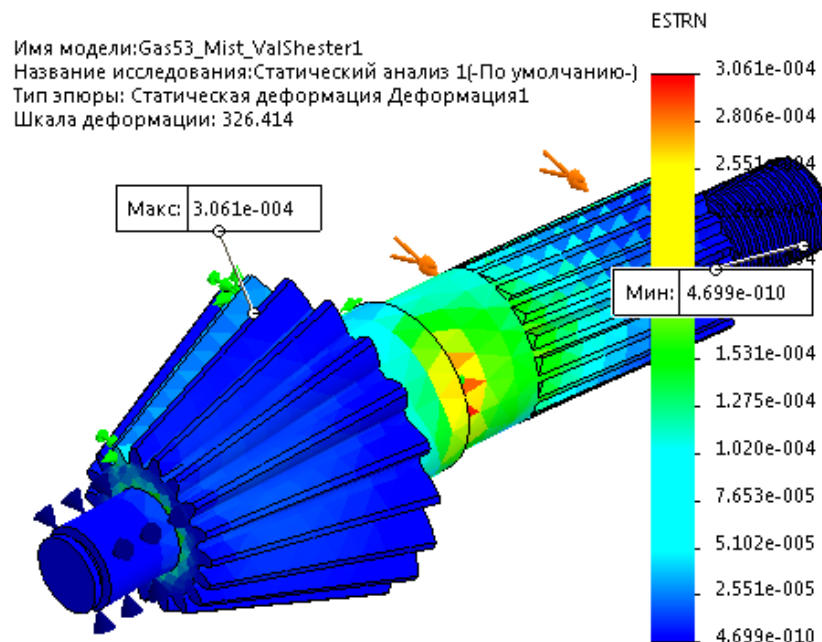


Рис. 3. Контурний графік сумарних деформацій ESTRN

На епюрі Von Mises, видно місця з найменшою міцністю і концентрацією напружень. Щоб визначити точні величини напружень використовуємо їх зондування у критичних точках (рис. 4).

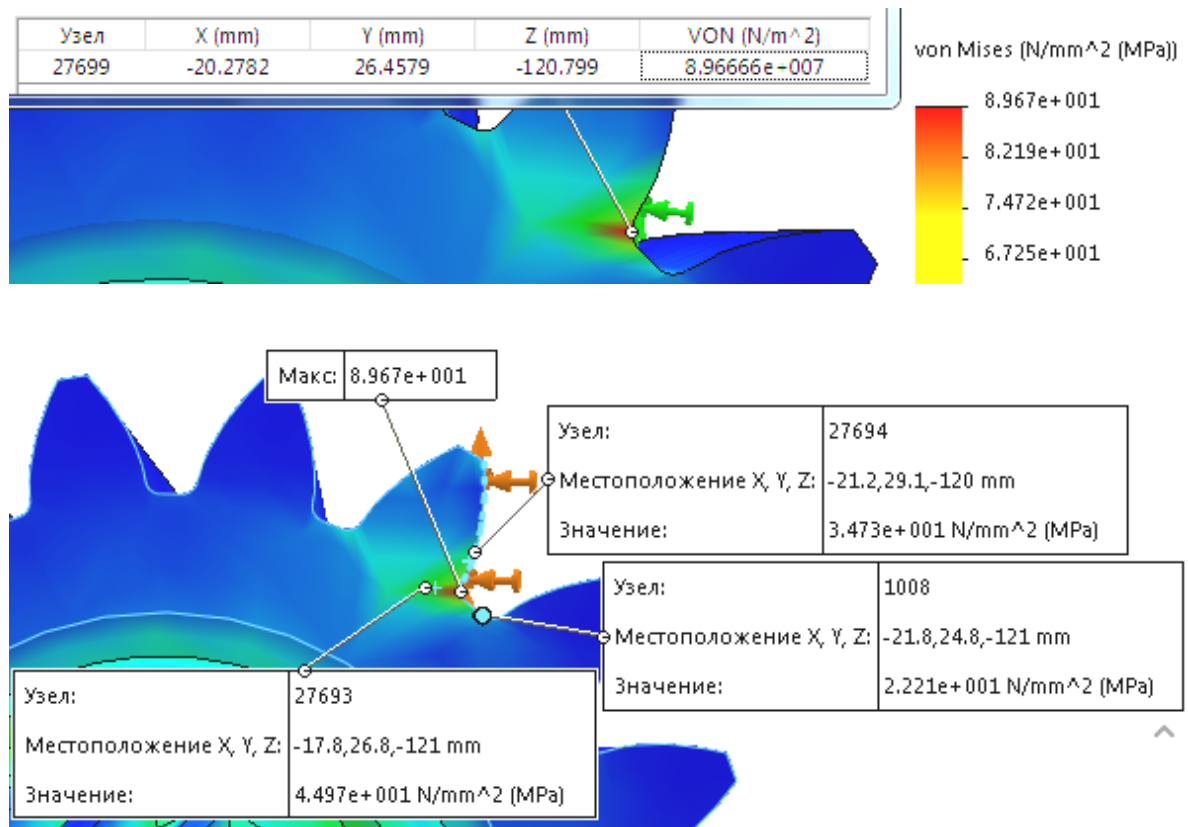


Рис. 4. Зондування напружень у небезпечному перерізі поблизу їх максимальних значень

Наступний етап дослідження – оцінка впливу заміни матеріалу вал-шестерні на втомну міцність зубів шестерні у небезпечному перерізі. Встановлено, що результуючий коефіцієнт зниження втомної міцності  $k = 0,657637$ .

Таким чином, результати комп'ютерного моделювання, з одного боку, підтвердили можливість заміни матеріалу вал-шестерні, з іншого – незначний вплив цієї заміни на її втомну міцність.

Проведення дослідження напружено-деформованого стану вал-шестерні головної передачі заднього моста автомобіля ГАЗ-53 за допомогою МСЕ забезпечує якісно новий підхід до визначення його основних параметрів. Розроблені моделі та методичні положення розрахунку дозволяють перейти до оцінки навантаженості елементів вал-шестерні в різних розрахункових положеннях.

### Список використаних джерел

1. Легостаев А.Д. Метод скінченних елементів: Конспект лекцій / А.Д. Легостаев. – К.: КНУБА, 2004. – 112 с.
2. Рудик О.Ю. Визначення працездатності вал-шестерні головної передачі заднього моста автомобіля ГАЗ-53 / О.Ю.Рудик., В.В.Гончар // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 46-47.