

ЗАЛЕЖНІСТЬ ДИНАМІЧНОГО РОЗЦЕНТРУВАННЯ РОТОРНОЇ МАШИНИ ВІД ВПЛИВУ ОСЛАБЛЕННЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ

Бондар О. В.

Проведен статистический анализ и выявлены факторы, влияющие на работоспособность стационарных роторных машин. Проведено моделирование и анализ методом конечных элементов роторной машины в системе SolidWorks Simulation. Проведен расчет величины дополнительных нагрузок от действия неконтролируемых эксплуатационных факторов и установлены предельные значения допустимых нагрузок. Выявлена зависимость влияния ослабления резьбовых соединений на изменение упруго-инерционных характеристик конструкции машины. Исследовано изменение состояния механизма в зависимости от действия неконтролируемых эксплуатационных факторов. Предложен комплексный подход для устранения аварийных ситуаций, связанных с ослаблением резьбовых соединений роторной машины.

Проведено статистичний аналіз та виявлено фактори, що впливають на працездатність стаціонарних роторних машин. Проведено моделювання та аналіз методом кінцевих елементів роторної машини в системі SolidWorks Simulation. Проведено розрахунок величини додаткових навантажень від дії неконтрольованих експлуатаційних факторів та встановлено граничні значення допустимих навантажень. Виявлено залежність впливу ослаблення різьбових з'єднань на зміну пружно-інерційних характеристик конструкції машини. Досліджено зміну стану механізму в залежності від дії неконтрольованих експлуатаційних факторів. Запропоновано комплексний підхід для усунення аварійних ситуацій, пов'язаних з ослабленням різьбових з'єднань роторної машини.

A statistical analysis is carried out and factors that influence the capability of stationary rotary machinery are identified. The simulation and analysis by finite element method of rotary machine in the SolidWorks Simulation is carried out. The calculation of the value of additional loads from the action of uncontrolled operational factors is carried out and limit values of the allowable loads are identified. The dependence of the effect of the screw joints loosening on the change of elastic-inertial characteristics of the machine design is found. The change in the state of the mechanism according to the operation of uncontrolled operational factors is studied. A complex approach to accident control related to the loosening of screw joints of rotary machine is suggested.

Бондар О. В.

ст. викл. ДВНЗ «КНУ»
helena.bondar@mail.ru

ДВНЗ «КНУ» – Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг.

УДК621.165:622

Бондар О. В.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ДИНАМІЧНОГО РОЗЦЕНТРУВАННЯ РОТОРНОЇ МАШИНИ ВІД ВПЛИВУ ОСЛАБЛЕННЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ

Стационарні роторні машини (СРМ) є допоміжним обладнанням, але від його працездатності та надійності залежить виробничий процес всього гірничодобувного комплексу. Вихід з ладу СРМ призводить до порушення графіку виконання робіт, а іноді й до повної зупинки комплексу.

Існує велика кількість неконтрольованих експлуатаційних факторів, що впливають на працездатність та ресурсні характеристики СРМ. За результатами статистичного аналізу працездатності СРМ за коефіцієнтом відмов на підприємствах Кривбасу, встановлено, що одним з найбільш розповсюджених факторів є ослаблення кріплення болтових з'єднань: опор до рами, стяжних шпильок, кріпильних болтів корпусу підшипника [1].

Прикрий приклад небезпеки виникнення ослаблення різьбових з'єднань, і появи неконтрольованого додаткового динамічного навантаження, є аварія на Саяно-Шушенській ГЕС від 17 серпня 2009 року. По результатам акту технічного розслідування причин аварії на СШ ГЭС [2] встановлено, внаслідок багаторазового виникнення додаткових навантажень змінного характеру на гідроагрегат, виникли та розвинулись утомні пошкодження вузлів кріплення гідроагрегату, в тому числі кришки турбіни. Викликані динамічними навантаженнями руйнування шпильок призвели до зриву кришки турбіни та розгерметизації гідроагрегату. В період з 21.04.2009 по 17.08.2009 спостерігались зростання показників вібрації турбінного підшипника гідроагрегату № 2, приблизно в 4 рази. Система безперервного віброконтролю не була введена в експлуатацію. Внаслідок чого, гідроагрегат № 2, який знаходився в роботі, раптово зруйнувався і був викинутий натиском води зі свого місця. В результаті аварії загинуло 75 людей. Всі гідроагрегати станції отримали пошкодження різного ступеню тяжкості; найбільш сильні, аж до повного руйнування – гідроагрегати № 2, № 7 и № 9. Було частково зруйновано будівлю машинного залу, пошкоджено електротехнічне та допоміжне обладнання.

Для забезпечення стабільності попередньої затяжки різьбових з'єднань застосовують різні конструктивні і технологічні прийоми. Тим не менш, під час експлуатації СРМ має місце ослаблення затяжки різьбових кріплень, що призводить до істотного підвищення рівня навантажень, у більшості випадків вище розрахункових, зміні режимів навантаження в бік підвищення їх динамічності.

Метою даної роботи є визначення величини та впливу неконтрольованих динамічних навантажень на працездатність стаціонарної роторної машини.

З метою встановлення величини додаткових динамічних навантажень від ослаблення кріплення болтових з'єднань та їх вплив на елементи конструкції проведено моделювання та аналіз методом кінцевих елементів компресорної установки К500-61-5 з ВАТ «Арселор-Міттал Кривий Ріг» шахта «Артем-1».

Сучасні технології дозволяють проводити комп'ютерний аналіз механізмів, вести інженерні розрахунки різної складності, враховуючи статичні та динамічні навантаження та взаємодії, що виникають під час роботи машини. Для моделювання та аналізу обрано сучасну CAD/CAE – систему SolidWorks з додатком SW Simulation. Величина напруження (зусилля затяжки) від болтового з'єднання задається у вигляді моменту зусилля затяжки по кромкам з'єднання. До твердотільної тривимірної моделі СРМ прикладені сили тяжіння, розподілена маса та крутний момент ротору, тиск стисненого повітря на внутрішні стінки повітропроводу. За допомогою математичного апарату SW Simulation отримано кінцево-елементну сітку СРМ, побудовані епюри напружень, деформацій та переміщень, отримано граничні значення переміщень стаціонарних частин конструкції в залежності від величини затяжки болтового з'єднання.

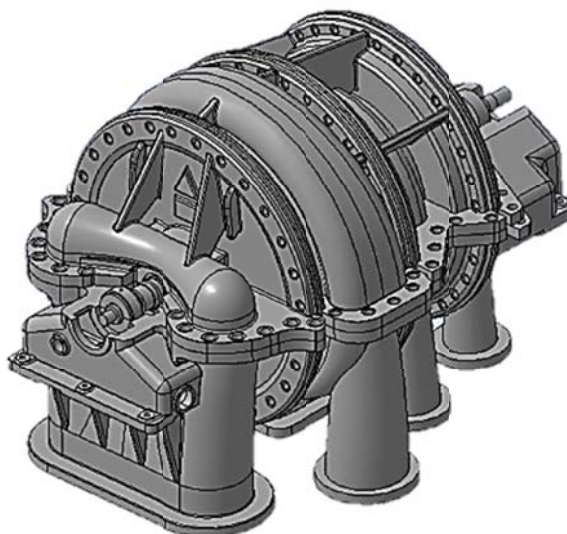


Рис. 1. Тривимірна модель компресорної установки K500-61-5

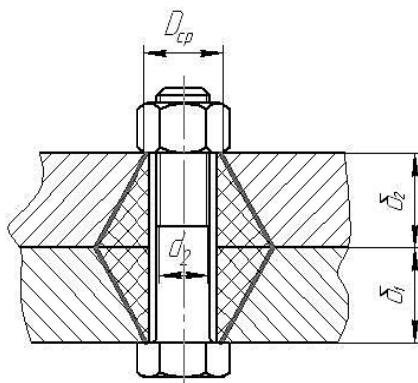


Рис. 2. Схема розподілення сили затягування болтового з'єднання:

d_2 – середній діаметр різьби; $D_{сер}$ – середній діаметр опорного торцю гайки; δ_1, δ_2 – товщина фланців кришки і корпусу

Зусилля затягування різьбового з'єднання знаходимо за [3]:

$$M_{зат} = 0,5Fd_2 \left[\left(\frac{D_{сер}}{d_2} \right) \cdot f + tg(\psi + \varphi) \right], \quad (1)$$

звідки:

$$F = \frac{M_{зат}}{0,5Fd_2 \left[\frac{D_{сер}}{d_2} \cdot f + tg(\psi + \varphi) \right]}, \quad (2)$$

де f – коефіцієнт тертя на торці гайки;

ψ – кут підйому різьби;

φ – кут тертя різьби.

Підставивши значення до (2), отримаємо $F_1 = 397,5$ кН та $F_2 = 85$ кН, $F_3 = 112$ кН. У зв'язку з трапецеїдальним розподіленням навантаження від зусиль різьбового з'єднання, максимальна концентрація напруги відбувається по площині з'єднання двох фланців, тому зусилля розподіляємо відповідним чином (рис. 3).

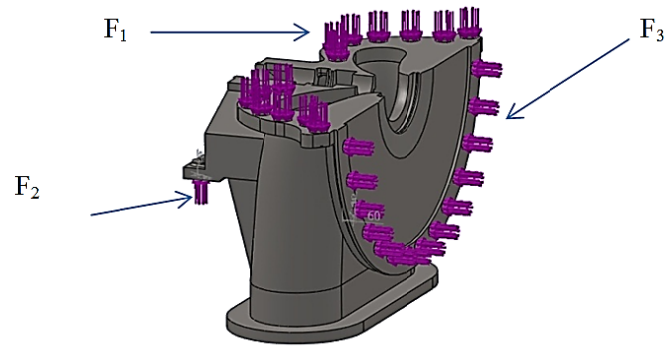


Рис. 3. Схема прикладення сил затягування різьбових з'єднань

Проведено моделювання та аналіз методом кінцевих елементів в системі SW Simulation (рис. 4).



Рис. 4. КЕ сітка частини компресорної установки

Після проведення аналізу МКЕ СРМ отримуємо епюру переміщень при мінімально допустимому зусиллі затяжних різьбових з'єднань (рис. 5).

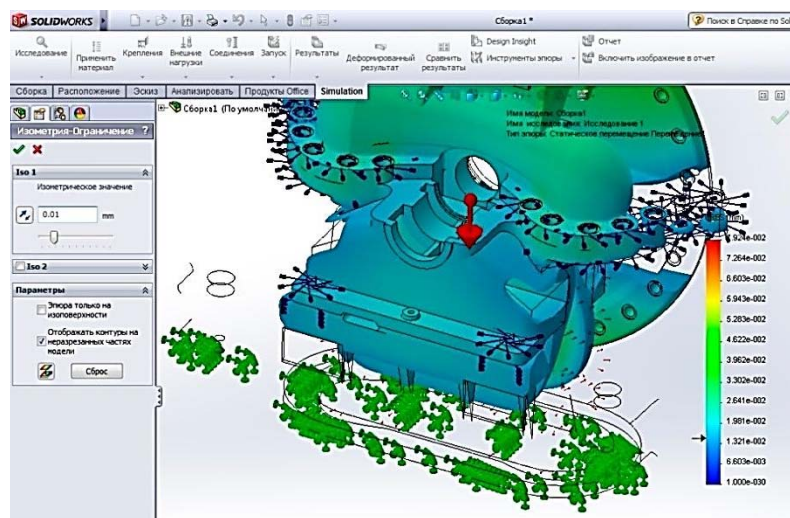


Рис. 5. Епюра переміщень при мінімально допустимому зусиллі затяжних різьбових з'єднань

При зміні параметрів зусиль різьбового з'єднання отримуємо епюру переміщень під дією величини додаткових навантажень від неконтрольованих експлуатаційних факторів (рис. 6).

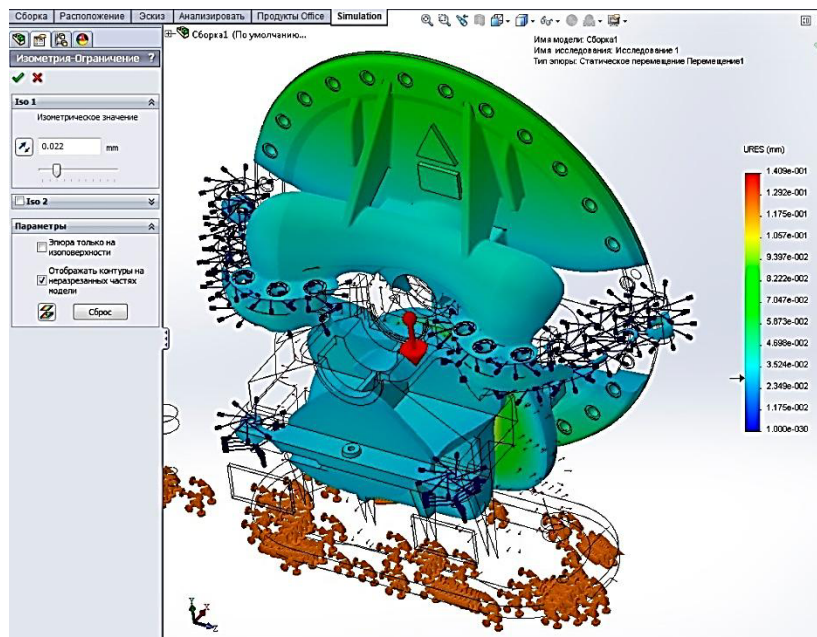


Рис. 6. Епюра переміщень при ослабленні різьбових з'єднань

Під дією прикладених зусиль по епюрам переміщень отримано, що корпус підшипника відносно рами фундаменту переміщується на відстань 9–10 мкм (рис. 5), за нормативними документами це переміщення повинно дорівнювати 7–10 мкм. Під дією додаткового навантаження, спричиненого ослабленням різьбового з'єднання, відбувається зміна величини переміщень на 20–24 мкм (рис. 6), за нормативними документами це значення відповідає аварійному стану машини. Тобто, результати, отримані при аналізі моделі, цілком відповідають реальним.

ВИСНОВКИ

Таким чином, при дослідженні впливу ослаблення різьбового з'єднання на працездатність СРМ встановлено, що для забезпечення належного стану болтових з'єднань та усунення аварійних ситуацій, пов'язаних з ними, необхідний комплексний підхід: від закладення необхідних параметрів елементів з'єднання на конструкторському рівні до встановлення діагностичних систем для адекватного оцінювання технічного стану машини та своєчасного проведення планово-попереджувального ремонту за фактичним станом обладнання. Використання сучасних методів моделювання та аналізу стану СРМ дозволить спростити та прискорити процес розрахунку величини додаткових навантажень, що виникли, наочно відобразити зміну стану механізму в залежності від дії неконтрольованих експлуатаційних факторів та встановити граничні значення можливих навантажень. При застосуванні комплексного підходу вирішення даної задачі дозволить знизити інтенсивність відмов, підвищити ресурсні характеристик машини, знизити експлуатаційні та капітальні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кіяновський М. В. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на працездатність гірничого обладнання / М. В. Кіяновський, О. В. Бондар // Вісник КТУ. – Кривий Ріг, 2010 р.
2. Акт технического расследования причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ru.wikisource.org/wiki/Акт_технического_расследования_причин_аварии_на_Саяно-Шушенской_ГЭС_17_августа_2009_года.
3. Иванов М. Н. Детали машин : підручник для машиноб. спец. вузів / М. Н. Иванов. – М. : Вища школа 2004. – 336 с. : іл.