

УДК 621.43 : 004.94

В. А. ЛОДНЯ, В. А. СТАЛЬМАКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ CAD/CAM МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СТАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ОДНОЦИЛИНДРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассмотрена статическая балансировка коленчатого вала одноцилиндрового дизельного двигателя на стадии проектирования с использованием современных технологий CAD/CAM моделирования. Произведено построение компьютерных моделей деталей проектируемого кривошипно-шатунного механизма. Определены основные условия статической балансировки коленчатого вала и вычислены параметры балансировочного груза. По результатам статической балансировки обоснованы изменения параметров коленчатого вала с целью уменьшения вибраций и преждевременного износа коленчатого вала, минуя натурный эксперимент.

Ключевые слова: статическая балансировка, коленчатый вал, CAD/CAM моделирование, SolidWorks.

Как показывает международный опыт, для статической балансировки коленчатых валов используется аппаратный способ, т. е. балансировка производится на станочном оборудовании экспериментальным путем или с помощью специализированных стендов [1]. В ходе испытаний достигаются необходимые параметры и вносятся изменения в конструкцию коленчатого вала путем изменения массы его противовесов. Однако этот способ весьма неэффективен: он трудоемок и при его использовании затрачивается большой человеческий и материальный ресурс [2].

Аналитический способ расчета потребной массы противовесов коленчатого вала одноцилиндрового двигателя внутреннего сгорания (ДВС) не всегда эффективен, поскольку существующие методы позволяют лишь приближенно оценить массу противовесов, устанавливаемых на коленчатом валу [3]. В процессе проектирования любого механизма в конструкцию его элементов неизбежно вносятся уточнения: изменяются линейные размеры деталей, материалы и т. д. Это приводит как к изменению массы всего механизма, так и параметров коленчатого вала. На основании расчетов изготавливается натурный образец, который впоследствии балансируется аппаратным способом. Это приводит к увеличенному времени проектирования, неоправданному материальным и трудовым затратам и, как следствие, удорожанию выпускаемой продукции. Решением указанной проблемы может стать использование технологий CAD/CAM моделирования.

Как известно, силы и моменты, действующие в кривошипно-шатунном механизме, непрерывно изменяются. Если эти силы не уравновешены, то

они вызывают повышенную вибрацию двигателя, что напрямую влияет на ресурс отдельных деталей и механизмов, а также надежность двигателя в целом. В двигателях внутреннего сгорания к неуравновешенным силам относят силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс, моменты, центробежные силы инерции вращающихся масс, а также крутящий момент и равный по значению, но противоположный по направлению крутильный момент, воспринимаемый опорами двигателя [4].

Поршневой одноцилиндровый ДВС не может быть полностью уравновешен, так как главным условием балансировки является то, что в установившемся режиме все силы и моменты, действующие на его опоры должны быть постоянны по величине и направлению. Однако на практике добиться этого невозможно. Например, крутящий момент является функцией от угла поворота коленчатого вала, а значит, величина крутильного момента не постоянна. Таким образом, при проектировании двигателя внутреннего сгорания стараются уравновесить лишь наиболее значимые силы и их моменты.

На практике различают статическую и динамическую балансировку кривошипно-шатунного механизма одноцилиндрового двигателя. Статическая балансировка проводится отдельно для коленчатого вала и отдельно для маховика. Динамическая балансировка производится уже в собранном виде. В данной статье будет рассмотрен метод статической балансировки коленчатого вала одноцилиндрового двигателя внутреннего сгорания с использованием современных технологий *CAD/CAM* моделирования на стадии проектирования такого двигателя.

Коленчатый вал рассматриваемого одноцилиндрового двигателя показан на рисунке 1. Неуравновешенных моментов в одноцилиндровых двигателях нет [5]. Для уравновешивания центробежных сил инерции вращающихся масс на коленчатом валу устанавливают два одинаковых противовеса.

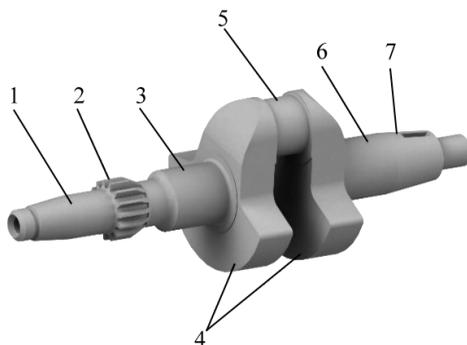


Рисунок 1 – Общий вид коленчатого вала проектируемого двигателя:

1 – хвостовик; 2 – шестерня привода распределительного вала и вала привода топливного и масляного насосов; 3, 6 – коренные шейки; 4 – противовесы; 5 – шатунная шейка; 7 – место установки маховика

Работа по статической балансировке коленчатого вала производилась в три этапа:

- 1) построение 3D-модели кривошипно-шатунного механизма;
- 2) сбор и анализ необходимых параметров для расчета;
- 3) проведение статической балансировки коленчатого вала.

Работа по созданию твердотельной модели производилась с использованием программного пакета Autodesk Inventor [6]. Вначале было выполнено построение коленчатого вала, шатуна, вкладышей верхней и нижней головок шатуна, поршня с поршневым пальцем и стопорными кольцами, маслоъемного и компрессионного колец. После создания твердотельных моделей деталей, указанием связей между ними производилась сборка в единый механизм. Полученная компьютерная модель кривошипно-шатунного механизма представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Цифровая 3D-модель кривошипно-шатунного механизма

На втором этапе задается материал каждого элемента, на основе чего программой автоматически вычисляются массовые характеристики каждой детали. Далее определяется масса балансировочного груза. Ее нахождение произведено по методу, описанному И. М. Григорьевым в книге [5]. Аналитический расчет показал, что масса

балансировочного груза для проектируемого ДВС составляет 273,81 г. Этот груз для дальнейшего исследования был выполнен в виде втулки найденной массы, которая установлена концентрично верхней головке шатуна (рисунок 3).

На последнем этапе производится статическая балансировка с использованием программного пакета анализа движения SolidWorks Motion, входящего в состав SolidWorks [7].

Задаются граничные условия. Балансируемый коленчатый вал установлен в подшипники, в которых он может свободно вращаться, к телам системы прикладывается сила тяжести. Проверка статической уравновешенности производится для четырех положений. Если хоть в одном из них система уходит из равновесия, то необходимо изменить массу про-

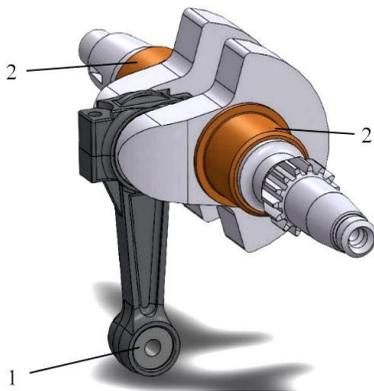


Рисунок 3 – Компьютерная модель в среде пакета SolidWorks Motion: 1 – балансировочный груз; 2 – подшипники

тивовесов коленчатого вала: созданием отверстия для уменьшения массы или использованием вставок из материалов большей плотности (например, свинца) для ее увеличения. Для контроля статического уравнивания в качестве контролируемого параметра была задана функция линейного перемещения точки щеки неуравновешенного коленчатого вала от времени. Приведем такой график, полученный при проверке горизонтального статического равновесия коленчатого вала (рисунок 4). Его анализ показывает, что система выходит из состояния равновесия.

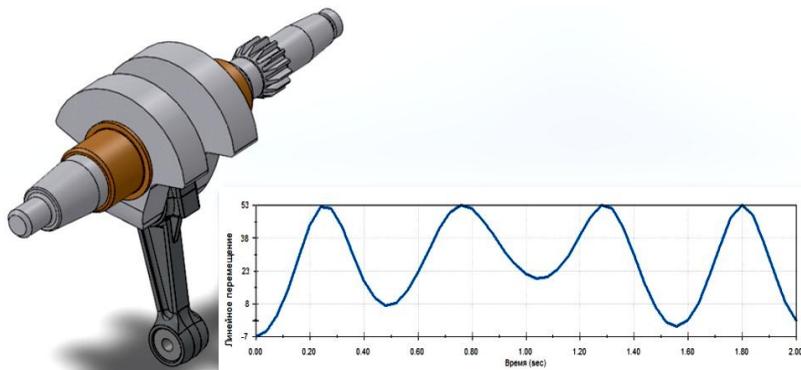


Рисунок 4 – Зависимость горизонтального перемещения точки щеки неуравновешенного коленчатого вала от времени

Получив результаты для остальных положений, было предложено изменить массу противовесов путем добавления свинцовых вставок в противовесы. Изменяя их размер и количество, удалось добиться равновесия для всех исследуемых положений коленчатого вала. Окончательно полученный график угловой скорости коленчатого вала приведен на рисунке 5.

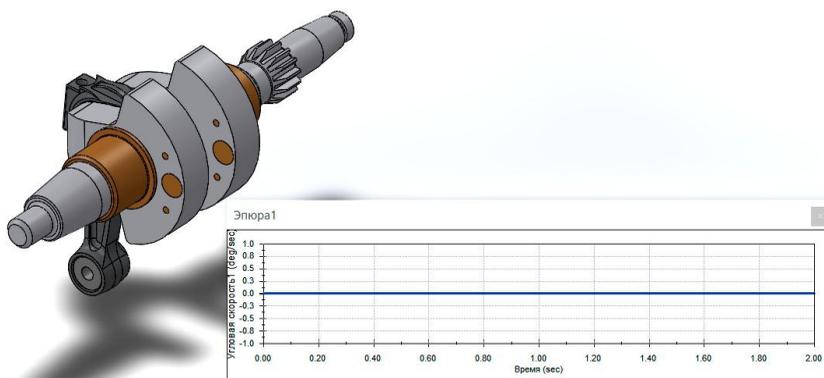


Рисунок 5 – Зависимость угловой скорости от времени для уравновешенного коленчатого вала

Таким образом, благодаря технологиям CAD/CAM моделирования удалось произвести статическую балансировку проектируемого коленчатого вала одноцилиндрового двигателя, не прибегая к использованию натурального эксперимента.

Рассмотренный подход может быть использован на предприятиях, занимающихся проектированием и модернизацией двигателей внутреннего сгорания, с целью повышения надежности и долговечности создаваемой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Something About the Balancing of Thermal Motors / R. Aversa [et al.] // American Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 10, No. 1. – P. 200–217.

2 Статический метод балансировки двигателей внутреннего сгорания / Б. А. Грищенко [и др.] // Национальные приоритеты России. Сер. 1, Наука. Военная безопасность. – 2015. – С. 111–114.

3 **Назаров А. Д.** Повышение точности измерения дисбалансов и балансировки коленчатого вала и вала в сборе при ремонте двигателей / А. Д. Назаров // Грузовик. – 2007. – С. 13–19.

4 **Колчин, А. И.** Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А. И. Колчин, Д. П. Демидов. – М. : Высш. шк., 2008. – 496 с.

5 **Григорьев, И. М.** Мотоцикл без секретов / И. М. Григорьев. – Изд-во ДОСААФ, 1973. – 176 с.

6 **Зиновьев, Д. В.** Основы проектирования в Autodesk Inventor 2016 / Д. В. Зиновьев; под ред. М. Азанова. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 254 с.

7 **Алямовский, А. А.** Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

V. A. LODNYA, V. A. STALMAKOV

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

CAD/CAM MODELING TECHNOLOGIES APPLICATION FOR STATIC BALANCING OF THE SINGLE CYLINDER ENGINE CRANKSHAFT

The static balancing of a single-cylinder diesel engine crankshaft at the design stage was considered using modern CAD/CAM modeling technologies. The creation of digital models of the designed crank mechanism parts was done. The basic conditions for static balancing of the crankshaft were determined and the balancing weight parameters were calculated. According to the static balancing results, there were justified the changes in the crankshaft parameters in order to reduce vibrations and premature wear of the crankshaft, bypassing the full-scale experiment.

Получено 01.11.2018