

УДК 621.225.4

## МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ОДНИМ ПРОТИВОВЕСОМ

Мелентьев В.С., Сычугов С.Ю., Рекадзе П.Д., Родионов Л.В.

Самарский университет, г. Самара, Россия, vladamgenja@mail.ru, rukavichkav@yandex.ru,  
rekadze1993@gmail.com, leonid@rodionoff.net

*Ключевые слова:* поршневой двигатель, двигатель внутреннего сгорания, кривошипно-шатунный механизм, уравновешивание, противовес, критерий оптимального уравновешивания, вибрации, износ, шум.

В исследовании рассматривается область поршневых двигателей, приводов и насосов с точки зрения вопроса достижения оптимальной уравновешенности кривошипно-шатунного механизма. Несмотря на тенденцию по расширению применения электродвигателей для замены двигателей внутреннего сгорания, доля поршневых двигателей, приводов и насосов остаётся существенной. Согласно прогнозам Aero-News Network, доля "поршневой" авиации составляет на сегодняшний день более 70% парка, и к 2030 году будет составлять не менее 60%. Малоразмерные поршневые двигатели широко используются в качестве силовой установки беспилотных летательных аппаратов, поэтому вопрос оптимального уравновешивания актуален и по сей день.

Неуравновешенность механизмов приводов и насосов приводит к повышенному неравномерному износу подшипников или дорожек на валу, ведущему к внезапным поломкам и снижению фактического ресурса. Возникают дополнительные потери на трение, приводящие к избыточному тепловыделению, повышающему требования к охлаждению или ограничивающему частоту вращения. Снижение механического КПД подшипника – удар по конкурентоспособности и экономичности агрегата. А повышенный уровень вибраций и шума всего механизма поршневого привода, насоса или всего транспортного средства, снижает ресурс всей системы.

В исследовании впервые приводится критерий оптимальной уравновешенности кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей, приводов и насосов, основанный на силах реакции, который позволяет определить оптимальную массу единственного противовеса  $m_4$  для уравновешивания кривошипно-шатунного механизма, показанного на рис. 1.

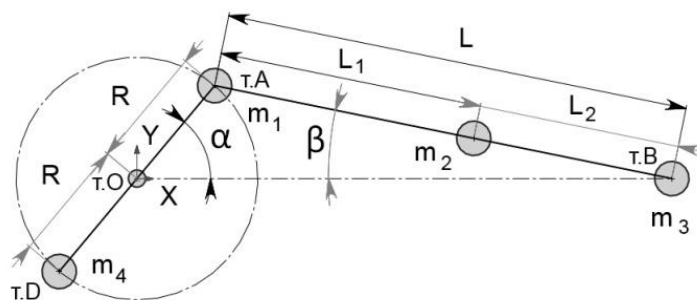


Рис. 1. Схема кривошипно-шатунного механизма

Методы, используемые в исследовании, делятся на две группы: теоретический метод и эмпирический метод. Основные выражения определения перемещений, скоростей, ускорений и сил реакций в математической модели основаны на принципе Даламбера с записью в векторной форме для каждого момента времени. Уравнения движения решаются методом обратной матрицы в явном виде с помощью ПО MathCAD.

Численный эксперимент (рис. 2) по оценке влияния массы и расположения противовеса на силы реакции в механизме проведён с использованием ПО MSC.ADAMS, основанном на верифицированных методах моделирования работы механизмов.

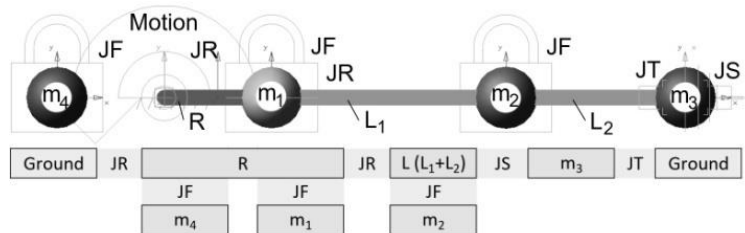


Рис. 2. Модель для численного эксперимента

Инновационная и практическая значимость работы заключается в том, что предлагаемая методика позволяет в явном виде получать оптимальную массу противовеса для уравновешивания кривошипно-шатунных механизмов поршневых приводов и насосов на этапе проектирования. Это позволяет сократить время поиска данной массы итерационным способом, что даёт проектировщику критерий для оценки качества уравновешивания, а также позволяет встраивать предложенные теоретические зависимости в оптимизационные модели конструкций, обеспечивая автоматический пересчёт массы противовеса при изменении параметров проектируемого механизма.

## OPTIMAL BALANCING METHOD OF THE CRANK MECHANISM WITH ONE COUNTERWEIGHT

Melentjev V.S., Sychugov S.Yu., Rekadze P.D., Rodionov L.V.

Samara University, Samara, Russia, vladamgenja@mail.ru,  
rukavichkav@yandex.ru, dizelpasha93@mail.ru, leonid@rodionoff.net

*Keywords: piston engine, internal combustion engine, crank mechanism, balancing, counterweight, criterion for optimal balancing, vibration, wear, noise.*

The objects of research are piston engines, drives and pumps. The subject is the question of balance, namely the achievement of the optimal balance of the object's crank mechanism. Despite the trend towards increased use of electric motors to replace internal combustion engines, the proportion of piston engines, drives and pumps remains significant. According to forecasts of the Aero-News Network, the share of "piston" aircraft is currently more than 70% of the fleet and by 2030 it will be at least 60%. Small piston engines are widely used as the propulsion system for unmanned aerial vehicles.

The imbalance of the mechanisms of drives and pumps leads to increased wear of bearings or tracks on the shaft (uneven nature), leading to sudden breakdowns and a decrease in the actual

resource. Additional frictional losses are created, resulting in excess heat generation, increasing cooling requirements or limiting rpm. A decrease in the mechanical efficiency of a bearing is a blow to the competitiveness and economy of the unit. And an increased level of vibration and noise of the entire piston drive mechanism, pump or the entire vehicle, reduces the resource of the entire system.

In the research proposed in the project, for the first time, a criterion for the optimal balance of the crank mechanism of piston engines, drives and pumps, based on reaction forces, is derived, which allows you to determine the optimal mass of a single counterweight for balancing the crank mechanism.

The methods used in the project are divided into two groups: the theoretical method (implemented including through modeling) and the empirical method (implemented through a numerical and natural experiment). Theoretical expressions are planned to be processed using MathCAD software in the modeling process [4]. The expressions are based on classical physical laws: in the field of kinematics and dynamics of internal combustion engines, theoretical mechanics and the theory of mechanisms and machines.

A numerical experiment to assess the effect of mass and the location of the counterweight on the reaction forces in the mechanism is planned to be carried out using the MSC.ADAMS software, based on verified methods of modeling the operation of mechanisms.

The innovative and practical significance of the project lies in the fact that the proposed technique will explicitly allow obtaining the optimal counterweight mass for balancing the crank mechanisms of piston drives and pumps at the design stage. This will reduce the time spent on iterative search for a given mass through multiple calculations, will give the designer a transparent criterion for assessing the quality of balancing, and will also allow embedding the proposed theoretical dependencies into optimization models of structures, providing automatic recalculation of the mass of the counterweight when changing the parameters of the designed mechanism.