

ГРАФИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОДИНАКОВОГО ХОДА ПОРШНЕЙ V- И W-ОБРАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИЦЕПНЫМИ ШАТУНАМИ

А.П. Маслов¹, maslov_a@chtz.ru

Е.А. Задорожная², zadorozhnaiaea@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-4738>

¹ ГСКБД «Трансдизель» ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК», Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. В данной статье представлены эмпирические методы графических исследований по реализации одинакового хода поршней V-образных двигателей с прицепными шатунами. По мнению авторов, на определенном этапе выполнения исследований целесообразно использовать графическое построение, которое может оказаться более достоверным и менее затратным в плане использования каких-либо программных средств, связанных с определением допустимых технических и конструктивных параметров. Очевидно, что в качестве технического инструмента выполнения поставленной задачи целесообразно использовать двух- или трехмерное моделирование на основе систем автоматического проектирования типа «Компас». На первом этапе достаточно выполнить проектирование с использованием двухмерной системы моделирования, которая позволяет оценить степень соотношения основных геометрических размеров и возможность дальнейшего проектирования. Система трехмерного моделирования позволяет учитывать соотношения размеров деталей с учетом их геометрической формы и изменения расположения в допустимых пределах внутреннего пространства КШМ и ЦПГ двигателя. Особенность графических методов исследований предполагает анализ геометрических размеров деталей и их взаимное расположение в конкретном двигателе. В этом случае целесообразно рассмотреть конструкцию КШМ V-образных двигателей, например типа В-2. Особенность таких двигателей заключается в применении КШМ с прицепным шатуном и получении разного хода поршней в главном и боковом цилиндрах двигателя. В этом случае проблема организации идентичного протекания рабочего процесса двигателя связана с проблемой получения одинакового коэффициента избытка воздуха, но тогда подача топлива в цилиндры двигателя будет различной. Проанализированный в работе способ смещения точки пересечения осей цилиндров позволяет использовать метод не только для получения достаточного места для поршней в нижней мертвой точке, но и для обеспечения условий одинакового хода поршней V- и W-образных двигателей.

Ключевые слова: V- и W-образные двигатели, кинематическая схема двигателя, главный и прицепной шатун, кривошипно-шатунный механизм, блок цилиндров, угол развала цилиндров в блоке, угол развала цилиндров двигателя, шатунная шейка, одинаковый и различный ход поршней в главном и боковом цилиндрах

Для цитирования: Маслов А.П., Задорожная Е.А. Графические способы реализации одинакового хода поршней V- и W-образных двигателей с прицепными шатунами // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2024. Т. 24, № 2. С. 29–39. DOI: 10.14529/engin240203

GRAPHICAL WAYS TO IMPLEMENT THE SAME STROKE OF PISTONS OF V- AND W-SHAPED ENGINES WITH TRAILED CONNECTING RODS

A.P. Maslov¹, maslov_a@chtz.ru

E.A. Zadorozhnaya², zadorozhnaiaea@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-4738>

¹ GSKBD "Transdiesel" LLC "ChTZ-URALTRAK", Chelyabinsk, Russia

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This article presents empirical methods of graphical research on the implementation of the same stroke of pistons of V-shaped engines with trailed connecting rods. According to the authors, at a certain stage of research, it is advisable to perform a graphical construction, which could be more reliable and less costly to use any programs related to determining valid technical and design parameters. Obviously, it is advisable to use two- or three-dimensional modeling based on automatic design systems "Kompas" as a technical tool for achieving the goal. At the first stage, it is enough to design using a two-dimensional modeling system, which allows to assess the ratio of the basic geometric dimensions and possibility of further design. The three-dimensional modeling system allows you to take into account the ratio of the parts given their geometric shape and changes in position within the permissible limits of the internal space of CCM and CPG of engine. The peculiarity of graphical research methods involves analysis of the geometric dimensions of the parts and their relative position in a particular engine. In this case, it is advisable to consider the design of CCM of V-shape engines, for example of type V-2, whose peculiarity is to the design of CCM with a trailed connecting rod and to get different stroke of pistons in the main and side cylinders of the engine. In this case, the problem of organizing the identical running of the engine work is connected with the problem of obtaining the same coefficient of excess air, but then the fuel supply to the engine cylinders will be different. The method of shifting the intersection point of the cylinder axes, analyzed in the work, allows the method to be used not only to obtain sufficient space for the pistons at bottom dead center, but also to ensure conditions for the same stroke of the pistons of V- and W-shaped engines.

Keywords: V- and W-shaped engines, kinematic scheme of the engine, main and trailed connecting rod, crank-connecting mechanism, cylinder block, cylinder camber angle in the block, engine cylinder camber angle, crankpin, same and different stroke of the pistons in the main and side cylinders

For citation: Maslov A.P., Zadorozhnaya E.A. Graphical ways to implement the same stroke of pistons of V- and W-shaped engines with trailed connecting rods. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2024:24(2):29–39. (In Russ.) DOI: 10.14529/engin240203

Введение

В работах И.Ш. Неймана [1, 2] основные размеры кривошипно-шатунного механизма (КШМ) двигателя определяются выбранным ходом поршня и рекомендациями к его геометрическим размерам, определенными в соответствии с задачами и возможностями производства. В этих работах значительный объем исследований посвящен анализу кинематики КШМ V-образных и звездообразных кинематических схем, где особое место занимают двигатели с прицепными шатунами. Актуальность этих исследований связана с задачами по повышению габаритной мощности двигателей и с целью снижения длины и, соответственно, веса двигателя.

Стоит отметить, что в первой своей работе «Динамика и расчет на прочность авиационных моторов» [1], вышедшей в свет в 1933 год, рекомендации по достижению равенства хода поршней в явном виде представлены не были. Были представлены только результаты расчетных исследований с целью определения длины прицепного шатуна и достижения одинаковой степени сжатия, что косвенно говорит о невозможности достижения одинакового хода поршней в цилиндрах двигателя, особенно для звездообразных схем КШМ. При этом вопросам по созданию V-образного 12-цилиндрового двигателя, полностью уравновешенного от сил инерции первого и второго порядка, для создания дизеля типа В-2 в Советском Союзе уделялось большое внимание.

Успех внедрения этого типа двигателей в качестве транспортного дизеля для специальной техники обусловил его широкое использование на протяжении длительного времени.

К сожалению, некоторые «детские» болезни этого двигателя до сих пор не решены. Например, реализация одинакового хода поршней в главном и боковом цилиндрах двигателя.

Как следует из книги И.Ш. Неймана [1], опубликованной в 1933 году, автором были рассмотрены ситуации равенства и неравенства значений углов между осью главного шатуна и осью его серьги с углом развала цилиндров, где было отмечено, что для расчета хода поршней необходимо использовать различные формулы.

Следует учесть, что формирование идеологических основ конструкции двигателя типа В-2 приходится как раз на этот период и происходило в условиях дефицита знаний, опыта и отсутствия соответствующих специалистов, нехватка которых была обусловлена событиями начала XX века. Конкретные рекомендации И.Ш. Неймана по вопросу возможности организации одинакового хода поршней были опубликованы только в 1950 году в работе [2], где обеспечение одинакового хода поршней связано с одинаковой степенью сжатия, а вопросы по организации одинакового коэффициента избытка воздуха были решены за счет разной подачи топлива в блоки цилиндров двигателя.

Уже в наше время в работе [3] частично была решена проблема нивелирования негативных последствий различного хода поршней исследователями И.О. Лысовым и В.Г. Камалдиновым за счет изменения начала подачи топлива и фаз газообмена для двигателя 12ЧН15/16.

В ранее опубликованных работах [4, 5] авторами были представлены результаты математического и графоаналитического анализа v-образных двигателей с прицепными шатунами для КШМ дизелей производства ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК». Практическая реализация рекомендаций, изложенных в данных работах, позволит обеспечить равенство процессов и действующих сил в главном и боковом цилиндрах двигателя.

С этой целью был выполнен анализ методов реализации задачи достижения одинакового хода поршней в главном и боковом цилиндрах с использованием метода графического анализа применительно к деталям КШМ двигателя типа В-2.

Очевидно, что работы по созданию двигателей с высокими параметрами габаритной мощности представляют повышенный практический интерес. Специалисты концерна Volkswagen предпочитают кинематическую схему с плоскопараллельным размещением двух шатунов на одной шатунной шейке, а для обеспечения одинакового чередования вспышек в цилиндрах оси шатунных шеек имеют смещение как по координатному углу, так и по радиусу.

В первую очередь это касается двигателей W. Например, Bentley Continental GT [6], Bugatti Veyron [7], Audi A8 [8], в конструктивных особенностях которых реализованы проблемы повышения габаритной мощности двигателя. Теоретические аспекты кинематики КШМ представлены в работах [9–12]. Одно из технических решений, направленных на изменение кинематики поршней, представлено в работе [13]. В настоящее время работы в области моделирования V-образных ДВС не выделяются в отдельное направление [14], а проводятся в целом для поршневых ДВС в следующих областях: исследование процессов сгорания топлива [15, 16]; моделирование газодинамических процессов как внутри цилиндра, так и в системах впуска и выпуска [17–19]; изучение процессов теплопередачи внутри цилиндра [20, 21]; моделирование процессов трения в деталях цилиндропоршневой группы [22]; оптимизация конструкции узлов [23–25]; моделирование ударного взаимодействия поршня [26]; моделирование циклов двигателя [27].

По мнению авторов статьи, предлагаемый графический способ разработки кинематической схемы с последующим анализом конструктивных параметров деталей двигателей, взятый за основу проектирования кинематической схемы КШМ, обладает большей степенью наглядности и достаточно прост при анализе и выборе конструктивных размеров деталей двигателя. Авторы попытались продемонстрировать возможность применения графического способа, что и является **целью исследования**. Алгоритм определения параметров КШМ и его характеристик представлен ниже.

Материалы и методы

Определение хода поршня в главном цилиндре основано на графическом построении работы КШМ в рамках оценки существующей конструкции и может быть реализовано путем построения окружности, диаметр которой равен двум радиусам кривошипа (90 мм) с выполнением двух век-

торов под углом 60° и 120° в декартовой системе координат. В этом случае принимаем, что ось цилиндра, расположенная под углом 120° и находящаяся во второй координатной четверти, является осью главного цилиндра, а ось цилиндра, расположенная под углом 60° и находящаяся в первой координатной четверти, является осью бокового цилиндра. Из точки пересечения окружности с осью главного цилиндра проводится вектор (начальная точка) в сторону второй координатной четверти, который равен межосевому расстоянию (длине – модуль вектора) между отверстиями в главном шатуне. Конечная точка модуля этого вектора характеризует собой ВМТ поршня в главном цилиндре.

Из точки пересечения окружности, описываемой осью шатунной шейки, с продолжением оси главного цилиндра, находящейся в четвертой координатной четверти, в сторону второй координатной четверти способом параллельного переноса откладывается вектор, равный межосевому расстоянию между отверстиями в главном шатуне. Конечная точка модуля этого вектора характеризует собой нижнюю мертвую точку (НМТ) поршня в главном цилиндре, а расстояние между конечными точками модулей характеризует ход поршня в главном цилиндре. Ниже представлены схемы определения хода поршня в главном цилиндре (рис. 1а) и длины прицепного шатуна (рис. 1б).

На рис. 1 обозначено: 1 – ось главного цилиндра; 2 – радиус кривошипа; 3, 5 – точки пересечения окружности с осью главного цилиндра; 4 – точка, характеризующая ВМТ положения поршня в главном цилиндре; 6 – точка, характеризующая НМТ положения поршня в главном цилиндре; 7, 10 – точки пересечения окружности с осью бокового цилиндра; 8 – точка, характеризующая положение оси поршневого пальца на оси главного цилиндра при совпадении расположения оси кривошипа, находящейся в первой координатной четверти, с осью бокового цилиндра; 9 – точка, характеризующая ВМТ положения поршня на оси бокового цилиндра; 11 – точка, характеризующая НМТ положения поршня на оси бокового цилиндра; 12 – угол между осью главного шатуна и осью его серьги; 13 – дуга, характеризующая развал цилиндров.

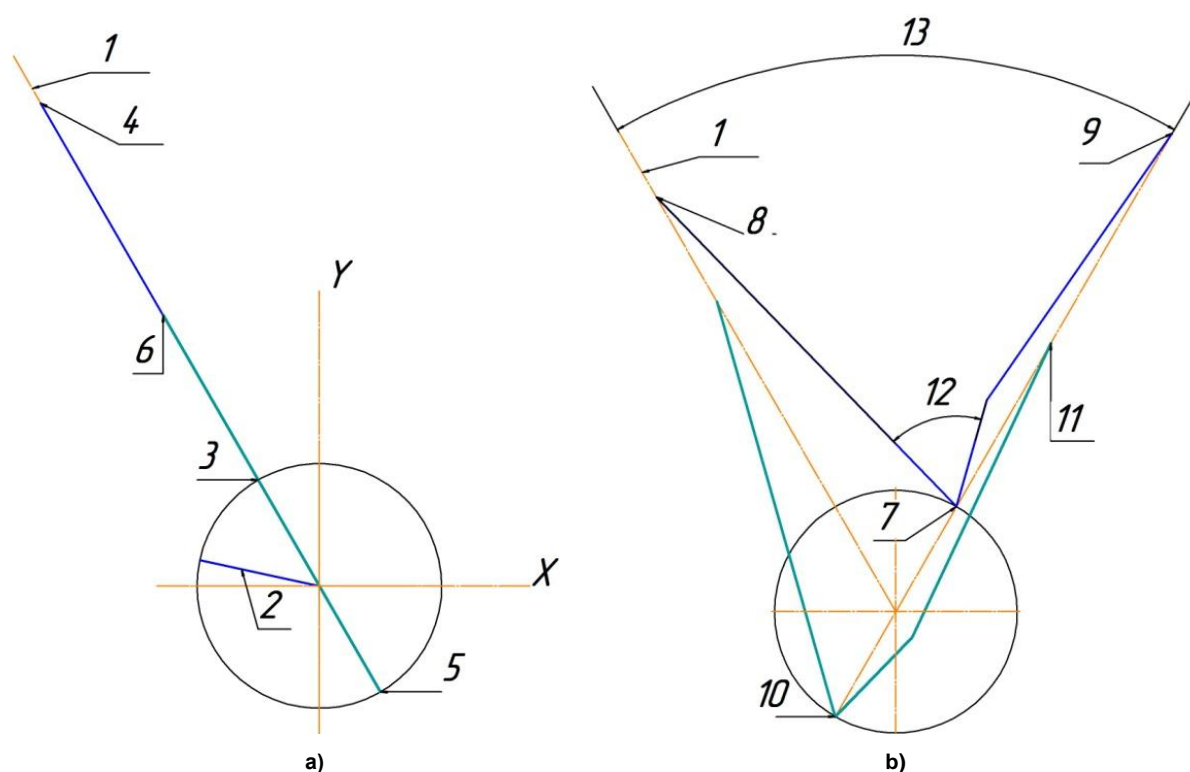


Рис. 1. Кинематические схемы определения хода поршня в главном цилиндре (а) и длины прицепного шатуна (б)

Fig. 1. Kinematic diagrams for determining the piston stroke in the main cylinder (a) and the length of the trailing connecting rod (b)

Определение длины прицепного шатуна основано на фиксации места расположения осей прицепного шатуна и измерении расстояния между этими осями в пространстве КШМ, как это представлено на рис. 1б. Как видно из рис. 1, точкой 9 на оси бокового цилиндра обозначена ось прицепного шатуна в момент её совпадения с осью поршневого пальца при его положении в ВМТ. В этом положении ось поршневого пальца находится на дуге 13, фиксирующей положение поршней в ВМТ.

Определение координаты расположения второй оси прицепного шатуна основано на определении координаты оси серьги главного цилиндра в пространстве КШМ, при условии, что:

– ось главного шатуна под поршневой палец, ось шатунной шейки и ось серьги для прицепного шатуна имеют жесткую геометрическую привязку между собой, как по расстоянию, так и по углу 12 между осями этих отверстий;

– ось кривошипа в момент ее нахождения в первой координатной четверти совпадает с осью бокового цилиндра и с осью шатунной шейки, а поршневая ось главного шатуна лежит на оси главного цилиндра, расположенной во второй координатной четверти.

В этом случае координата расположения оси серьги главного шатуна определяется длиной серьги и углом между осью главного шатуна и осью его серьги для прицепного шатуна. В этом случае очевидно, что ось серьги прицепного шатуна при формировании облика всего КШМ совпадает со второй осью прицепного шатуна. Тогда численное значение расстояния между этой осью и точкой 9 (см. рис. 1б) прицепного шатуна является длиной прицепного шатуна.

Определение хода поршня в боковом цилиндре

Как было отмечено выше, точка (9) характеризует расположение поршня в ВМТ на оси бокового цилиндра. Для определения расположения поршня в НМТ на оси бокового цилиндра необходимо выполнить следующие действия:

– из точки 10 (см. рис. 1б) пересечения оси бокового цилиндра с окружностью, находящейся в третьей координатной четверти, на ось главного цилиндра, находящейся во второй координатной четверти, провести вектор, равный межосевому расстоянию отверстий поршневой и шатунной головок главного шатуна;

– учитывая, что оси отверстий главного шатуна под поршневой палец, шатунной шейки и серьги для прицепного шатуна имеют жесткую геометрическую привязку между собой как по расстоянию, так и по углу между осями этих отверстий, точка 11, расположенная на оси прицепного шатуна при положении кривошипа на оси бокового цилиндра, и точка 8, расположенная на оси поршневого пальца главного шатуна и на оси главного цилиндра, характеризуют НМТ поршня 11 в боковом цилиндре;

– численное значение расстояния между точками 9 и 11 является ходом поршня в боковом цилиндре.

Графический анализ

На рис. 2 представлены кинематические схемы получения разного и одинакового хода поршней, полученные с использованием чертежно-технической документации для двигателя типа В-2.

Кинематическая схема, представленная на рис. 2а, была реализована при создании целого семейства двигателей как гражданского, так и специального назначения на ЧТЗ. Ниже представлены необходимые для построения схемы параметры деталей и узлов двигателя: угол развала цилиндров – 60° , длина главного шатуна – 320 мм, длина серьги (проушины) – 82 мм, длина прицепного шатуна – 238,4 мм, угол между осью главного шатуна и осью серьги – 67° , радиус кривошипа – 90 мм. Следует отметить, что использование данной кинематической схемы на двигателях гражданского назначения не получила широкого распространения, что связано с так называемыми «детскими болезнями», которые не были исправлены в последующие годы. Попытка снизить негативное влияние разного хода поршней на показатели рабочего цикла двигателя за счет регулирования фаз газораспределения и момента подачи топлива была предпринята в работе [3]. Однако данное направление не получило дальнейшего развития.

Схема, представленная на рис. 2б, лишена этого недостатка и доказывает, что только за счет обеспечения одинакового угла между развалом цилиндров и угла между осью главного шатуна и осью его серьги ход поршней в главном и боковом цилиндрах становится одинаковым, что полностью обеспечивает выполнение поставленной задачи. Как видно на схеме, необходимость кор-

ректировки длины прицепного шатуна связана только с целью обеспечения симметричности расположения поршней в ВМТ для правого и левого блоков двигателя.

На основании вышеизложенного ниже представлены другие методы получения одинакового хода поршней для случая, когда вносить корректировку в детали КШМ не желательно.

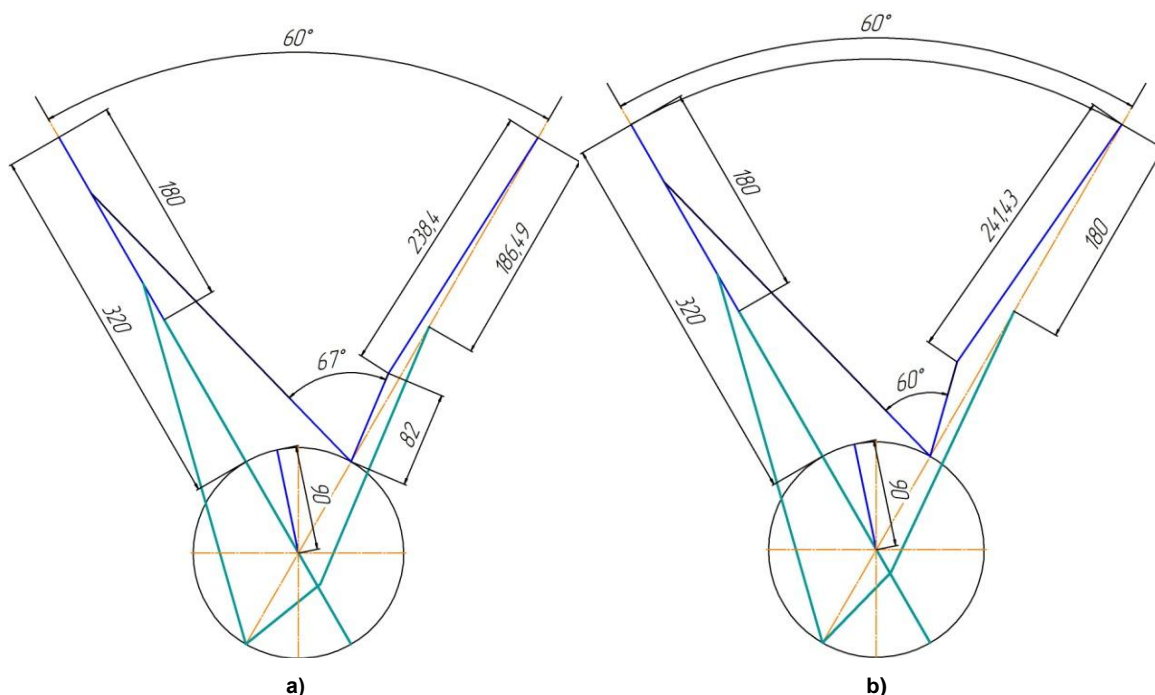


Рис. 2. Кинематические схемы формирования разного (а) и одинакового (б) хода поршней V-образного двигателя типа В-2
Fig. 2. Kinematic schemes for the formation of different (a) and identical (b) strokes of the pistons of a V-shaped engine of type V-2

Разработка других графических способов реализации одинакового хода поршней

Дальнейший анализ кинематической схемы V-образной конструкции двигателя позволил выявить несколько способов, направленных на обеспечение одинакового хода поршней.

При конструктивной проработке КШМ W-образной схемы двигателя была выявлена проблема по исключению взаимного контакта поршней при их нахождении вблизи НМТ. Решение данной проблемы может быть связано с увеличением длины шатунной шейки с дообработкой поршней в плоскости оси поршневого пальца или смещением точки пересечения осей цилиндров ниже оси коленчатого вала.

Специалистами концерна Volkswagen данная проблема была решена применением дезаксиального расположения осей цилиндров и, как следствие, с соответствующим смещением точки пересечения этих осей ниже оси коленчатого вала.

Влияние смещения осей на изменение хода поршней для КШМ двигателя с прицепными шатунами специалистами концерна Volkswagen рассмотрено не было.

Графический анализ вариантов смещения точки пересечения осей цилиндров вдоль вертикальной плоскости оси коленчатого вала методом перебора вариантов позволил определить числовое значение, обеспечивающее выполнение поставленной цели. По мнению авторов, использование графического метода перебора вариантов более предпочтительно, чем аналитического, так как он более нагляден, прост в использовании, индивидуален для каждой кинематической схемы и многовариантен.

В качестве экспериментальной кинематической схемы, а также оценки результатов сравнительного анализа, была использована конструкторско-техническая документация двигателя типа В-2 с той особенностью, что оси цилиндров главного и бокового цилиндров пересекаются ниже оси коленчатого вала на расстоянии 43 мм. Как было отмечено выше, числовое значение смещения точки пересечения осей было определено эмпирическим путем.

На рис. 3а представлена кинематическая схема КШМ V-образного двигателя, сформированная в соответствии с технической документацией на двигатель типа В-2, особенность которой заключается в смещении точки пересечения осей цилиндров на 43 мм вниз относительно вертикальной оси коленчатого вала. Как представлено на рис. 3б, при параллельном смещении осей цилиндров расстояние между точками пересечения этих осей с окружностью увеличивается, а расположение оси главного шатуна выше оси коленчатого вала приводит к уменьшению хода поршня в главном цилиндре.

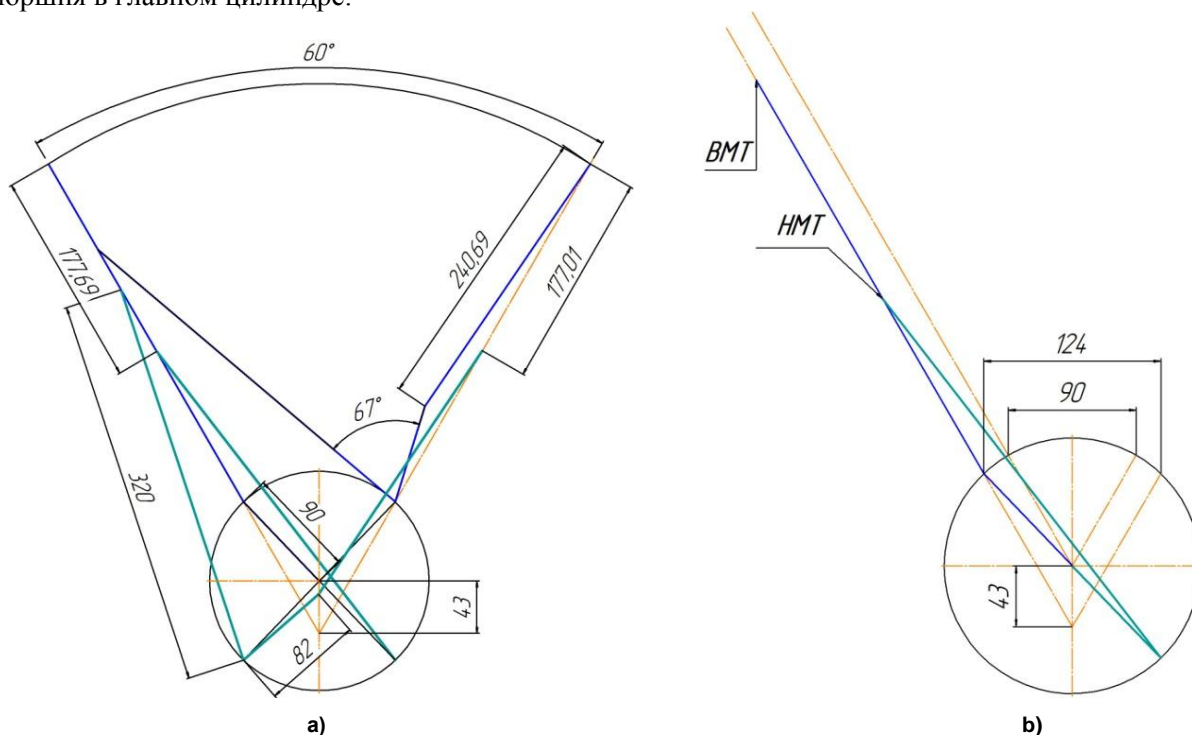


Рис. 3. Кинематическая схема формирования одинакового хода поршней при смещении осей цилиндров двигателя
 Fig. 3. Kinematic diagram of the formation of the same stroke of the pistons when the axes of the engine cylinders are displaced

Еще один графический способ, направленный на формирование условий по обеспечению одинакового хода поршней, представлен на рис. 4. Как видно из рис. 4, в отличие от вышеуказанных способов, ось главного цилиндра проходит через ось коленчатого вала, а ось бокового цилиндра, для деталей, соответствующих кинематической схеме двигателя типа В-2, имеет смещение относительно оси коленчатого вала на 43 мм. В этом случае, как это видно из рис. 4, разница хода поршней составляет всего 0,14 мм, что соответствует 0,077 % от хода поршня в главном цилиндре.

Результаты и обсуждения

На основе выполненных построений и описании различных способов формирования одинакового хода поршней графическим способом были сделаны следующие выводы.

1. Графические способы оценки конструкторских решений при создании V- и W-образных двигателей позволяют оперативно вносить изменения в конструкцию деталей КШМ и оценивать эффективность.
2. Использование эмперических методов в рамках графического исследования позволяет оценить возможность применения данной конструкции КШМ в пространстве реального двигателя.
3. Проанализированный способ смещения точки пересечения осей цилиндров позволяет использовать метод не только для получения достаточного места для поршней в НМТ, но и для обеспечения условий одинакового хода поршней V- и W-образных двигателей.
4. Предложенные способы формирования КШМ V- и W-образных кинематических схем могут быть использованы при разработке КШМ новых двигателей.

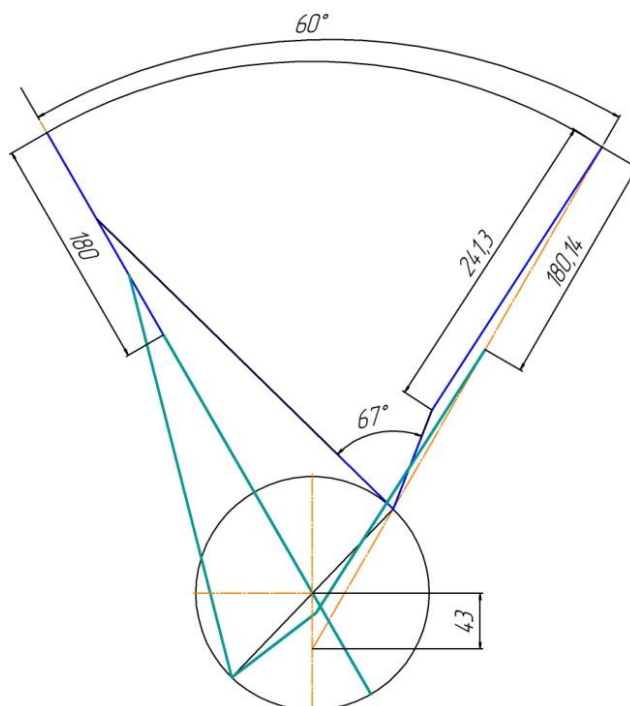


Рис. 4 Кинематическая схема формирования одинакового хода поршней при смещении одной оси цилиндра двигателя
Fig. 4. Kinematic diagram of the formation of the same stroke of the pistons when one axis of the engine cylinder is displaced

Список литературы

1. Нейман И.Ш. Динамика и расчет на прочность авиационных моторов: справочник. Часть 1: Кинематика и динамика авиационных моторов. ОНТИ НКТП СССР. Государственное авиационное автотракторное издательство. М.–Л., 1933. 223 с.
2. Нейман И.Ш. Авиационные поршневые двигатели. Часть 1: Кинематика и динамика кривошипно-шатунных механизмов уравновешивание сил инерции авиационных моторов. М.: Оборонгиз, 1950. 44 с.
3. Лысов И.О., Камалдинов В.Г. Особенности регулирования форсированного транспортного дизеля с кривошипно-шатунным механизмом с прицепным шатуном // Двигателестроение. 2017. № 4 (270). С. 8–12.
4. Маслов А.П., Левцов М.В. Кинематический и динамический анализ КШМ W-образного двигателя с прицепными шатунами // Двигателестроение. 2019. № 3(277). С. 27–30.
5. Маслов А.П., Рождественский Ю.В., Левцов М.В. Графоаналитический анализ возможности обеспечения одинакового хода V- и W-образных двигателей с прицепными шатунами // Двигателестроение. 2020. № 2 (280). С. 3–8.
6. The all-new Bentley continental GT – the definition of luxury grand touring. URL: <https://www.bentleymedia.com/en/newsiten/784-all-new-bentley-continental-gt-the-definion-jf-luxury-grand-touring>. (дата обращения 10.04.2024 г.).
7. Bugatti 8.0-litre W16 Engine – the last of its kind. – URL: <https://watchilove.com/bugatti-8-0-litre-w16-engine-the-last-of-its-kind>. (дата обращения 10.04.2024 г.)
8. Audi MediaCenter/ Engines. – URL: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/vorsprung-durch-technik-redefined-the-audi-a8-l-2745/engines-2840>. (дата обращения 10.04.2024 г.)
9. Чайнов Н.Д., Вальехо Мальдонадо П.Р. Уравновешивание моментов двигателя VR5 с учетом дезаксажа и угла развала цилиндров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2020. № 5. С. 41–49. DOI: 10.18698//0536-1044-2020-5-41-49.
10. Вальехо Мальдонадо П.Р., Чайнов Н.Д. Уравновешивание V-образных двигателей с угловым смещением шатунных шеек рядом расположенных шатунов // Двигателестроение. 2019. № 2(276). С. 17–25.

11. Жуков В.А., Яманин А.И. Анализ алгоритмов расчета кинематики кривошипно-шатунных механизмов с прицепными шатунами // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 107–117.
12. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя / под ред. И.Н. Жестковой. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001. Т. 1. 836 с.
13. Volkswagen Group. Семейство двигателей W. – Программа самообучения 248 – Wolfsburg. – С. 10. URL: http://www.autodela.ru/assets/files/books/VW/248_Wdvig_W8_W12_Volkswagen.pdf (дата обращения: 28.03.2024).
14. Egorov A.V., Egorova O.G., Smikulis Yu.E., Ignatiev A.V. etc. The moment of inertia of V-shaped internal combustion engines // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1047, 012169IOP. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012169.
15. Lapointe S., Zhang K., McNenly M.J. Reduced chemical model for low and high-temperature oxidation of fuel blends relevant to internal combustion engines // Proceedings of the Combustion Institute. 2019. Vol. 37(1). P. 789–796.
16. Zhen X., Wang Y., Liu D. A new improvement on a chemical kinetic model of primary reference fuel for multi-dimensional CFD simulation // Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 109. P. 113–121.
17. Buhl S., Dietzsch F., Buhl C., Hasse C. Comparative study of turbulence models for scale-resolving simulations of internal combustion engine flows // Computers and Fluids. 2017. Vol. 156. P. 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2017.06.023>
18. Berton A., D'Orrico F., Sideri M. Overset grids for fluid dynamics analysis of internal combustion engines // Energy Procedia. 2017. Vol. 126. P. 979–986.
19. Yang X., Gupta S., Kuo T-W., Gopalakrishnan V. RANS and large Eddy simulation of internal combustion engine flows-A comparative study // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2014. Vol. 136(5): 051507.
20. Dong Z., Chen G., Jiang Y., Wang, C. Modeling of Transient Heat Transfer for the 3-D Coupling Components in an Internal-Combustion Engine // SAE Technical Paper. 2012, Vol. 1. Number article 1759. <https://doi.org/10.4271/2012-01-1759>.
21. Buttsworth D.R, Agrira A., Malpress R., Yusaf T. Simulation of Instantaneous Heat Transfer in Spark Ignition Internal Combustion Engines: Unsteady Thermal Boundary Layer Modeling // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2011. Vol. 133(2). 022802. <https://doi.org/10.1115/1.4001080>
22. Offner G. Friction power loss simulation of internal combustion engines considering mixed lubricated radial slider, axial slider and piston to liner contacts // Tribology Transactions. 2013. Vol. 56(3). P. 503–515. <https://doi.org/10.1080/10402004.2012.763006>.
23. López E.J., Nigro N.M. Validation of a 0D/1D computational code for the design of several kind of internal combustion engines // Latin American Applied Research. 2010. Vol. 40(2). P. 175184.
24. Buttsworth D. Multizone Internal Combustion Engine Modelling: Initial Assessment of a Simulation Tool Developed in Matlab // ICEE Proceeding 3rd International Conference on Energy and Environment: Advancement Towards Global Sustainability. 2009. P. 343–348.
25. Ju D-M., Meng H., Han K. Study of co-simulation of engine and cool system // Journal of System Simulation. 2009. Vol. 21(7). P. 1841–1845.
26. Wang P., Deng Z-X., Pan F-S., Zhao B., Zhang J-L. Modeling and simulation of internal combustion engine piston slap // Journal of System Simulation. 2008. Vol. 20(14). P. 5476–5485.
27. Wen M., Lu L., Jiang G. One-dimensional numerical simulation of CNG engine cycle // Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering). 2007. Vol. 31(3). P. 476–485.

References

1. Neiman I.Sh. *Dinamika i raschet na prochnost' aviatsionnykh motorov. (Spravochnik). Chast' I kinematika i dinamika aviatsionnykh motorov.* [Dynamics and strength calculation of aircraft engines. (Directory). Part 1 Kinematics and dynamics of aircraft engines]. Moscow – Leningrad, 1933. 223 p.
2. Neiman I.Sh. *Aviatsionnyye porshnevyye dvigateli. Chast' I kinematika I dinamika krivoshipno-shatunnykh mekhanizmov uravnovesivanyye sil inertsyi aviatsionnykh motorov* [Aircraft piston engine.

Part 1 Kinematics and dynamics of crank-connecting mechanism balancing the inertial forces of aircraft engines. Moscow, 1950. 44 p.

3. Lysov I.O., Kamaldinov V.G. [Peculiarities of regulation of forced transport diesel with crank-connecting mechanism with trailed connecting rod]. *Engine manufacturing*. 2017. No. 4 (270), pp. 8–12. (In Russ.)

4. Maslov A.P., Levstov M.V. [Kinematic and dynamic analysis of a W-engine with trailed connecting rods]. *Engine manufacturing*. 2019. No. 3 (277), pp. 27–30. (In Russ.)

5. Maslov A.P., Rozhdestvensky Yu.V., Levstov M.V. [Graf-analytical analysis of the possibility of ensuring the same piston stroke of V and W-shaped engines with trailed connecting rods]. *Engine manufacturing*. 2020. No. 2 (280), pp. 3–8. (In Russ.)

6. The all-new Bentley continental GT – the definition of luxury grand touring. URL: <https://www.bentleymedia.com/en/newsiten/784-all-new-bentley-continental-gt-the-definion-jf-luxury-grand-touring>. (date of the application 10.04.2024)

7. Bugatti 8.0-litre W16 Engine – the last of its kind. URL: <https://watchilove.com/bugatti-8-0-litre-w16-engine-the-last-of-its-kind>. (date of the application 10.04.2024)

8. Audi MediaCenter/ Engines. URL: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/vorsprung-durch-technik-redefined-the-audi-a8-1-2745/engines-2840>. (date of the application 10.04.2024)

9. Chainov N.D., Vallejo Maldonado P.R. [Balancing the moments of the VR5 engine, taking into account the decoking and the angle of the collapse of the cylinders]. *New of higher educational institution. Engineerin*. 2020. No. 5. P. 41–49. DOI: 10.18698//0536-1044-2020-5-41-49. (In Russ.)

10. Vallejo Maldonado P.R., Chainov N.D. [Balancing V-shaped engines with angular displacement of the crankpins adjacent connecting rods]. *Engine manufacturing*. 2019. No. 2(276), pp. 17–25. (In Russ.)

11. Zhukov V.A., Yamanin A.I. [Analysis of algorithms for calculating the kinematics of crank mechanisms with trailed connecting rods]. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarova*. 2016. No. 2 (36), pp. 107–117. (In Russ.)

12. Anuryev V.I. *Spravochnik konstruktora mashynostrutelya. Tom 1*. [Directory of mechanical engineer designer. Volume 1]. 8 ed., reviewed and updated edited by I.N. Zhestkova Moscow. Mashinostroyeniye, 2001. 836 p.

13. Volkswagen Group. W engine family – Self-study program 248 – Wolfsburg. p. 10. [Electronic resource]. URL: http://www.autodela.ru/assets/files/books/VW/248_Wdvg_W8_W12_Volkswagen.pdf (date of the application 28.03.2024).

14. Egorov A.V., Egorova O.G., Smikulis Yu.E., Ignatiev A.V. etc. The moment of inertia of V-shaped internal combustion engines. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1047, Number 012169IOP. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012169.

15. Lapointe S., Zhang K., McNenly M.J. Reduced chemical model for low and high-temperature oxidation of fuel blends relevant to internal combustion engines. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2019. Vol. 37(1), pp.789–796.

16. Zhen X., Wang Y., Liu D. A new improvement on a chemical kinetic model of primary reference fuel for multi-dimensional CFD simulation. *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 109, pp. 113–121.

17. Buhl S., Dietzsch F., Buhl C., Hasse C. Comparative study of turbulence models for scale-resolving simulations of internal combustion engine flows. *Computers and Fluids*. 2017. Vol. 156, pp. 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2017.06.023>

18. Berton A., D'Orrico F., Sideri M. Overset grids for fluid dynamics analysis of internal combustion engines. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 126, pp. 979–986.

19. Yang X., Gupta S., Kuo T-W., Gopalakrishnan V. RANS and large Eddy simulation of internal combustion engine flows-A comparative study. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. 2014. Vol. 136(5), Number: 051507.

20. Dong Z., Chen G., Jiang Y., Wang, C. Modeling of Transient Heat Transfer for the 3-D Coupling Components in an Internal-Combustion Engine. *SAE Technical Paper*, 2012, Vol. 1, Number: 1759. <https://doi.org/10.4271/2012-01-1759>.

21. Buttsworth D.R., Agrira A., Malpress R., Yusaf T. Simulation of Instantaneous Heat Transfer in Spark Ignition Internal Combustion Engines: Unsteady Thermal Boundary Layer Modeling. *Journal of*

Engineering for Gas Turbines and Power. 2011. Vol. 133(2). Number 022802. <https://doi.org/10.1115/1.4001080>.

22. Offner G. Friction power loss simulation of internal combustion engines considering mixed lubricated radial slider, axial slider and piston to liner contacts. *Tribology Transactions*. 2013. Vol. 56(3), pp. 503–515. <https://doi.org/10.1080/10402004.2012.763006>.

23. López E.J., Nigro N.M. Validation of a 0D/1D computational code for the design of several kind of internal combustion engines. *Latin American Applied Research*. 2010. Vol. 40(2), pp. 175–184.

24. Buttsworth D. Multizone Internal Combustion Engine Modelling: Initial Assessment of a Simulation Tool Developed in Matlab. *ICEE Proceeding 3rd International Conference on Energy and Environment: Advancement Towards Global Sustainability*. 2009, pp. 343–348.

25. Ju D-M., Meng H., Han K. Study of co-simulation of engine and cool system. *Journal of System Simulation*. 2009. Vol. 21(7), pp. 1841–1845.

26. Wang P., Deng Z-X., Pan F-S., Zhao B., Zhang J-L. Modeling and simulation of internal combustion engine piston slap. *Journal of System Simulation*. 2008. Vol. 20(14), pp. 5476–5485.

27. Wen M., Lu L., Jiang G. One-dimensional numerical simulation of CNG engine cycle. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering)*. 2007. Vol. 31(3), pp. 476–485.

Информация об авторах

Маслов Андрей Петрович, ведущий инженер-конструктор, кандидат технических наук, ГСКБД «Трансдизель» ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК», Челябинск, Россия; maslov_a@chtz.ru.

Задорожная Елена Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; zadorozhnaiaea@susu.ru

Information about the authors

Andrey P. Maslov, Leading Design Engineer, Candidate of Technical Sciences, GSKBD “Transdiesel” LLC “ChTZ-URALTRAK”, Chelyabinsk, Russia; maslov_a@chtz.ru

Elena A. Zadorozhnaya, Doctor of technical sciences, professor of the department of “Motor Transport”, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; zadorozhnaiaea@susu.ru

Статья поступила в редакцию 12.04.2024; принята к публикации 15.04.2024.

The article was submitted 12.04.2024; accepted for publication 15.04.2024.