

УДК 621.432-232 + 621.827

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ МЕХАНИЗМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ БЕСКРИВОШИПНОЙ ПОРШНЕВОЙ ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ

Б.А. Шароглазов, А.В. Гофман

Приводятся результаты расчётных исследований уровня контактных напряжений в элементах механизма преобразования движения бескривошипного двигателя. Делается вывод о возможности снижения их максимальных значений использованием упругих элементов (в частности, пружин).

Ключевые слова: бескривошипная машина; механизм преобразования движения; поршень; контактное напряжение; рабочее тело.

На современном этапе развития автомобиле- и тракторостроения основным (традиционным) источником механической энергии является двигатель с кривошипно-шатунным механизмом. Такого типа двигатели получили массовое распространение благодаря ряду неоспоримых достоинств: высокий КПД и надёжность, отработанность конструктивных схем и решений, высокий уровень технологии производства. И всё же им присущ ряд недостатков. В частности, сложность и достаточно высокая стоимость (примерно 30...40 % от стоимости двигателя в целом) изготовления механизма преобразования возвратно-поступательного движения поршня машины во вращательное коленчатого вала.

Названные недостатки (а также ряд других) побуждают исследователей к отысканию новых схем тепловых машин и механизмов. Результаты таких работ хорошо отражены в современной литературе, см. например [1, 2, 3]. К такого типа решениям может быть отнесено предложение сотрудников кафедры ДВС Южно-Уральского государственного университета по схеме бескривошипной поршневой машины (БПМ) [3], важным качеством которой является непосредственное преобразование возвратно-поступательного движения поршня во вращательное. Но и такое решение оказалось не свободным от недостатков.

К важным из них относятся чрезмерно высокие контактные напряжения в механизме преобразования движения поршня, возникающие при положении его (поршня) вблизи верхней мёртвой точки (ВМТ) в процессе сгорания. Это обстоятельство поясним, используя рис. 1.

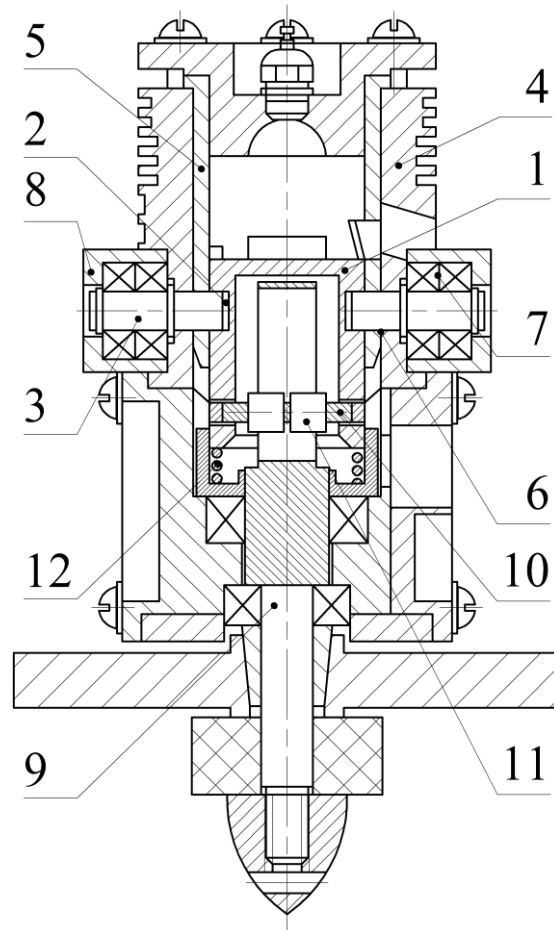


Рис. 1. Конструктивная схема бескривошипного двигателя с непосредственным преобразованием возвратно-поступательного движения поршня во вращательное выходного вала: 1 – поршень; 2 – замкнутый криволинейный двухпериодный паз (беговая дорожка) на боковой поверхности поршня; 3 – ролики механизма преобразования движения; 4 – цилиндр; 5 – гильза цилиндра; 6 – отверстия в стенках для роликов; 7 – подшипники; 8 – гнёзда подшипников; 9 – выходной (грузовой) вал; 10 – поршневой палец; 11 – ролики поршневого пальца; 12 – пружина

БПМ работает как двигатель с кривошипно-камерной системой газообмена. В процессе сгорания и расширения высокое давление рабочего тела (РТ) принуждает поршень 1 к поступательному движению, которое воспринимается передаточным механизмом, включающим паз (беговую дорожку) 2, выполненный на боковой поверхности поршня. Паз 2 находится в сочленении с роликами (телами вращения) 3, расположенными в выполненных в стенках цилиндра 4 и гильзы 5 отверстиях 6, на которых установлены подшипники 7, закрепленные в гнёздах 8. Взаимодействие роликов с беговой дорожкой побуждает поршень совершать, одновременно с возвратно-поступательным, вращательное движение. Вращательное движение поршня передается на вы-

ходной вал 9 при помощи поршневого пальца 10 с установленными на него цилиндрическими роликами 11. Выходной вал 9 остается неподвижным в продольном направлении, а поршень имеет возможность движения вдоль его (выходного вала) оси.

Нисходящее (по схеме) движение поршня завершается в нижней мёртвой точке (НМТ). С этого момента, за счёт инерции вращающихся масс (маховик, поршень, грузовой вал и др.) поршень меняет направление движения (движется к ВМТ). Исключим пока из рассмотрения роль и функции обозначенной на рисунке пружины 12 (её пока нет). Завершаются процессы смены РТ, начинается сжатие, затем – сгорание. Давление РТ в этот период достигает максимума, возрастает действующая на поршень сила давления газов. Растёт и нагрузка на детали механизма преобразования движения (беговая дорожка, ролики) растут контактные напряжения.

Их (контактные напряжения) можно снизить. Например, за счёт использования пружины, подпирающей торец направляющей части поршня (позиция 12 на рис. 1). Пружина вращается вместе с поршнем.

Причём при движении поршня к НМТ пружина подвергается сжатию и, воздействуя на нижний торец направляющей части поршня, способствует частичной разгрузке стенок беговой дорожки от чрезмерных контактных напряжений в период сгорания. При движении поршня к ВМТ действие пружины способствует разгрузке стенок беговой дорожки от напряжений, обусловленных силами инерции поршня, вектор которых направлен к НМТ. Таким образом, перемещение поршня от НМТ до ВМТ обеспечивается силами упругости пружины и установленным на выходном валу маховиком (и силами инерции других вращающихся масс).

Рисунком 2 иллюстрируется характер изменения сил, действующих на подпружиненный поршень двухтактной БПМ в течении цикла: $P_c = P_r + P_j$; $P_\Sigma = P_c + P_{пр}$ (здесь P_r – сила, обусловленная давлением газов; P_j – сила инерции возвратно-поступательно движущихся масс; $P_{пр}$ – сила, обусловленная упругостью пружины). Изменение сил представлено в функции текущего угла поворота поршня α (град. ПП; за начальное значение α принято $\alpha = 90$ град. ПП, соответствующее НМТ).

Анализ характера изменения сил позволяет отметить, что использование упругого элемента (пружины) в механизме преобразования движения позволяет заметно изменить характер протекания и численное значение суммарной силы P_Σ , действующей на поршень. А это обстоятельство, в свою очередь, обеспечивает изменение (в частности, снижение) модуля силы, действующей перпендикулярно боковой поверхности беговой дорожки механизма преобразования движения, см. рис. 3.

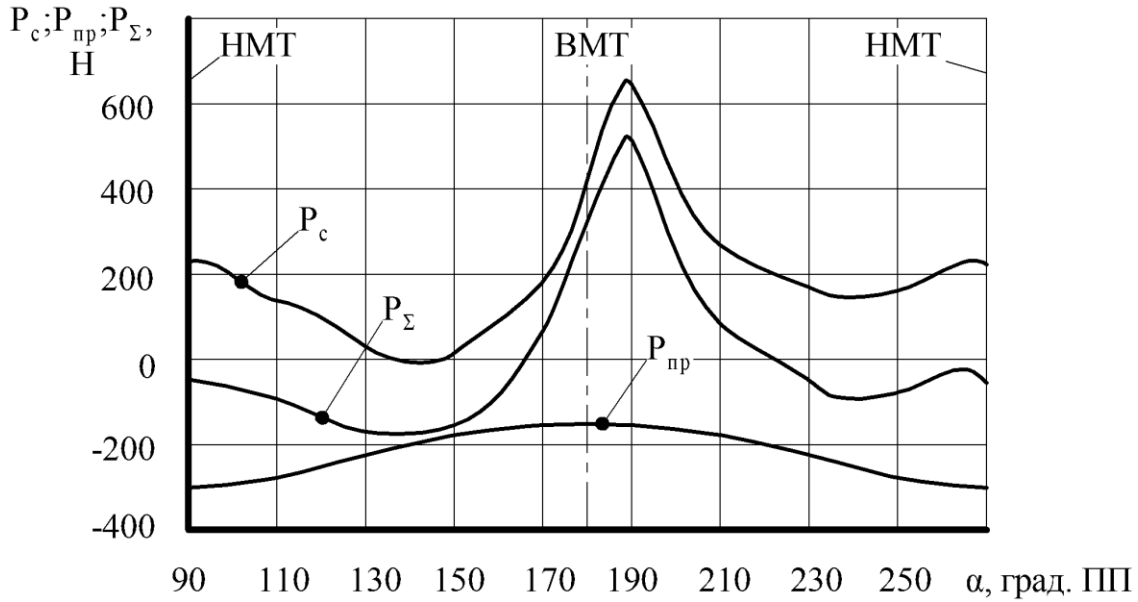


Рис. 2. Характер изменения сил, действующих на подпружиненный поршень БПМ в течение цикла. Основные исходные данные: степень сжатия $\varepsilon=7$; $n=3000 \text{ мин}^{-1}$; коэффициент избытка воздуха $\alpha=0,95$; угол опережения воспламенения $\theta=20$ град. ПП до ВМТ; топливо – метанол + касторовое масло

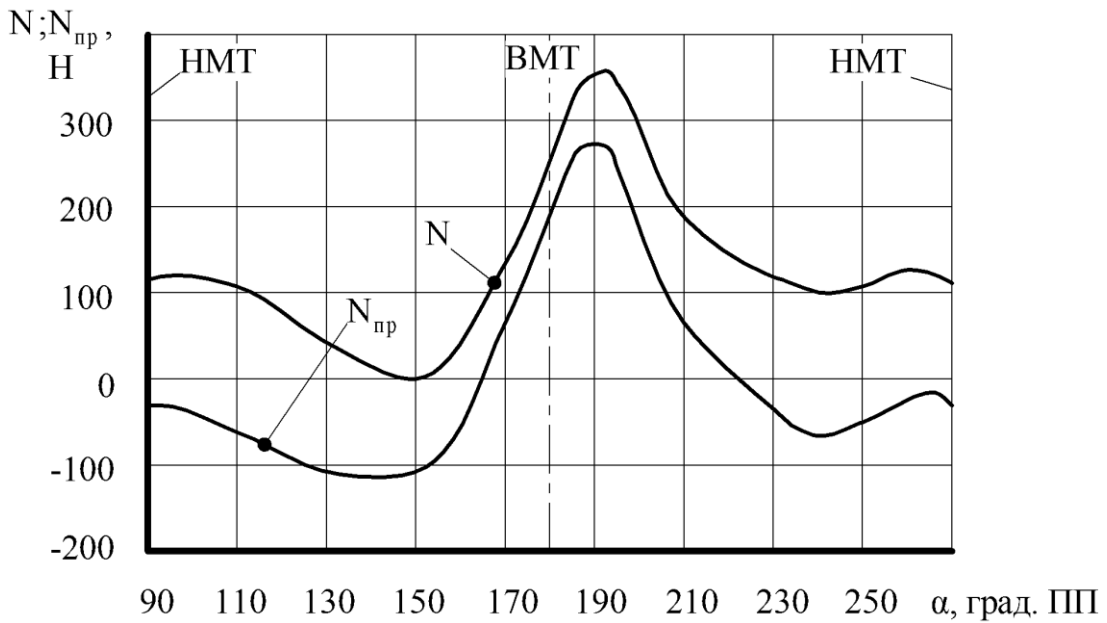


Рис. 3. Изменение сил, действующих перпендикулярно боковой поверхности беговой дорожки механизма преобразования движения (N – для случая, когда пружина отсутствует; $N_{пр}$ – при подпружиненном поршне). Основные исходные данные см. рис. 2

Анализ характера протекания сил N и $N_{пр}$, даёт основания заключить что на беговую дорожку поршня и ролики механизма преобразования движения действуют максимальные и кратковременные контактные напряжения в моменты, соответствующие положениям поршня, характеризуемых значениями фаз по α равными 180 (ВМТ) и 195 (максимальное давление газов в процессе сгорания) град. ПП.

В литературе известны различные подходы для оценки численных значений названных напряжений. Нами использовалось выражение, предложенное Г. Герцем, см. [4]:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot F}{\pi \cdot (E_1 + E_2) \cdot [(1 - \mu_1^2) + (1 - \mu_2^2)] \cdot L \cdot R'}}$$

где $1/R=1/R_1+1/R_2$ (R_1, R_2 – радиусы контактирующих поверхностей, соответственно ролика и беговой дорожки) – приведенная кривизна поверхности в плоскости наиболее плотного касания, $1/м$; F – сила прижатия одного рассчитываемого тела к другому, $Н$; L – длина линии контакта, $м$; E_1, E_2 – модули упругости, материала контактирующих деталей, $МПа$; μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона соответствующих материалов.

В табл. 1 приведены значения параметров, использованных авторами для расчета максимальных кратковременных контактных напряжений для поршней из различных материалов.

Таблица 1

Значения параметров для расчета максимальных кратковременных контактных напряжений для поршней из различных материалов

Марка применяемого материала	Приведенная кривизна поверхности, $1/м$		Модуль упругости, $МПа$	Максимальная кратковременная сила прижатия, $Н$		Коэффициент Пуассона
	$\alpha=180$ град. ПП	$\alpha=195$ град. ПП		$\alpha=180$ град. ПП	$\alpha=195$ град. ПП	
Д16Т	0,0021	0,0025	$0,75 \times 10^5$	428,5	633,3	0,31
Д16Т*	0,0021	0,0025	$0,75 \times 10^5$	89,7	112,4	0,31
ВТ9	0,0021	0,0025	$1,15 \times 10^5$	399,1	603,1	0,35
Сталь 40 Х	0,0021	0,0025	$2,1 \times 10^5$	354,7	557,5	0,30

*Примечание: БПМ с использованием упругого элемента (пружины) в механизме преобразования движения.

В табл. 2 приведены результаты расчетных оценок значений максимальных кратковременных контактных напряжений для поршней из различных материалов.

Таблица 2
Значения максимальных кратковременных контактных напряжений
для поршней из различных материалов

Марка применяемого материала	Расчетные максимальные кратковременные контактные напряжения, МПа		Допустимые максимальные кратковременные контактные напряжения, МПа
	$\alpha=180$ град. ПП	$\alpha=195$ град. ПП	
Д16Т	1210,7	1352,0	600,0
Д16Т*	554,2	568,4	600,0
ВТ9	1352,6	1528,9	1800,0
Сталь 40 X	1515,8	1741,7	2300,0

*Примечание: БПМ с использованием упругого элемента (пружины) в механизме преобразования движения.

В табл. 3 приведены значения параметров, используемых для расчета средних контактных напряжений для поршней из различных материалов.

Таблица 3
Значения параметров для расчета средних контактных напряжений
для поршней из различных материалов

Марка применяемого материала	Приведенная кривизна поверхности, 1/м		Модуль упругости, МПа	Средняя сила прижатия, Н		Коэффициент Пуассона
	$\alpha=180$ град. ПП	$\alpha=195$ град. ПП		$\alpha=180$ град. ПП	$\alpha=195$ град. ПП	
Д16Т	0,0021	0,0025	$0,75 \times 10^5$	190,3	282,6	0,31
Д16Т*	0,0021	0,0025	$0,75 \times 10^5$	39,9	49,9	0,31
ВТ9	0,0021	0,0025	$1,15 \times 10^5$	174,1	264,9	0,35
Сталь 40X	0,0021	0,0025	$2,1 \times 10^5$	157,6	247,6	0,30

*Примечание: БПМ с использованием упругого элемента (пружины) в механизме преобразования движения.

В табл. 4 приведены результаты расчетных исследований средних контактных напряжений для поршней из различных материалов.

Таблица 4

Значения средних контактных напряжений для поршней из различных материалов

Марка применяемого материала	Расчетные средние контактные напряжения, МПа		Допустимые средние контактные напряжения, МПа
	$\alpha=180$ град. ПП	$\alpha=195$ град. ПП	
Д16Т	807,1	901,3	400,0
Д16Т*	369,5	378,9	400,0
ВТ9	901,7	1019,3	1200,0
Сталь 40Х	1010,5	1161,1	1400,0

*Примечание: БПМ с использованием упругого элемента (пружины) в механизме преобразования движения.

Анализ результатов расчетных исследований даёт основания заключить, что при использовании в БПМ поршней, выполненных из сталей 40Х; ВТ9, нет необходимости применения специальных мер (в частности, использования подпружинивания поршней) для снижения уровня максимальных кратковременных и средних контактных напряжений в элементах механизма преобразования движения (например, в сопряжениях «ролик-беговая дорожка»). В этом случае численные значения максимальных и средних контактных напряжений не превышают допустимого уровня.

При использовании менее прочных сплавов (в частности, Д16Т) возникает необходимость разработки мероприятий, способствующих снижению численных значений таких напряжений. В рассматриваемом случае показана эффективность использования подпружинивания поршней. Полезность такого технического решения, отображенного рис. 1, подтверждена патентом РФ [5] на изобретение.

Библиографический список

1. Баландин, С.С. Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания / С.С. Баландин. – М.: Машиностроение, 1972. – 212 с.
2. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для ВТУЗов. – М.: Машиностроение, 1990. – 452 с.
3. Пат. RU 2054978 С 1, 6 F 01 В 9/6, F02 В 75/32. Бесшатунный двигатель внутреннего сгорания / Б.А. Шароглазов, А.В. Пономарёв, Г.И. Иванов (РФ). – № 5063986; Заявлено 06.10.1992; Приоритет 06.10.92; Опубл. 10.04.96. // Бюл. № 10.

4. Решетов, Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д.Н. Решетов. – 4-е изд. – М: Машиностроение, 1989. – 496 с.

5. Пат. RU 2156871 С 1, 7 F 02 В 75/26, F01 В 9/06, Бескривошипный двигатель внутреннего сгорания / Б.А. Шароглазов, В.Г. Ваганов (РФ). – № 99110007; Заявлено 18.05.1999; Приоритет 18.05.99; Опубл. 27.09.2000. // Бюл. № 27.