

Міністерство освіти і науки України
АН Вищої освіти України
Вінницький національний технічний університет
Витебский государственный технологический университет
Вінницький національний аграрний університет
Державне підприємство НДІННП «МАСМА»
Державний університет інфраструктури та технологій
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАНУ
Донбаська державна машинобудівна академія
Запорізький національний університет
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Київський національний університет культури і мистецтв
Київський національний університет технологій та дизайну
Луцький національний технічний університет
Львівський торговельно-економічний університет
Навчально-науковий інститут механічної інженерії і транспорту
Центральноукраїнський національний технічний університет
Національна металургійна академія України
Національний університет «Запорізька політехніка»
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Одеський інститут ПрАТ «ВНЗ
«Міжрегіональна академія управління персоналом»
Падерборнський університет (Німеччина)
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова
Херсонська державна морська академія
Центральноукраїнський національний технічний університет
Чорноморський національний університет імені Петра Могили



МАТЕРІАЛИ

VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції

"Сучасні технології промислового комплексу – 2021",

Вересень 7, 2021 – Вересень 10, 2021

Херсон – 2021

Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу – 2021", випуск 7. – Херсон: ХНТУ, 2021. – 269 с.

В матеріалах конференції викладені нові теоретичні і прикладні результати щодо застосування сучасних інноваційних технологій у промисловому комплексі регіонів та машинобудуванні України. Розглянуті проблеми в галузях: технології машинобудування, обробки матеріалів тиском, технології нанесення та обробки покриттів, виробництві нових матеріалів, зміцнення та відновлення деталей машин, системного аналізу та математичного моделювання складних об'єктів, проблем надійності та енергозбереження, захисту довкілля, екологічної безпеки, ресурсозберігаючих технологій.

Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в машинобудуванні. Даний збірник є виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень провідних вчених України, викладачів, аспірантів та студентів ВНЗ.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників ВНЗ, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Організаційний комітет конференції:

Голова: **Бардачов Юрій Миколайович** – д.т.н., професор, ректор ХНТУ.

Заступники голови:

Розов Юрій Георгійович – д.т.н., професор, перший проректор ХНТУ;

Дмитрієв Дмитро Олексійович – д.т.н., професор, зав. кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки ХНТУ;

Сєліверстов Ігор Анатолійович – к.т.н., доцент, декан факультету інженерії та транспорту ХНТУ;

Закора Оксана Василівна – к.т.н., доцент кафедри експертизи, технології і дизайну текстилю ХНТУ.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації.

З М І С Т

Кузнецов Ю. Н. НЕДАЛЁКОЕ БУДУЩЕЕ – КАЧЕСТВЕННЫЙ ПЕРЕХОД ОТ «ИНДУСТРИЯ 4.0» К «ИНДУСТРИЯ 5.0»	13
Огинский И.К., Гридин А.Ю., Ремез О.А., Власов А.А., Гречаный А.Н., Васильченко Т.А. НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ	17
Федорчук Д.Д., Селіверстов І.А., Селіверстова Ю.І. РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ З ПРОФІЛЬНИМИ ПОВЕРХНЯМИ	19

СЕКЦІЯ 1

«ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ»

Безкоровайна Л.В. ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ТУРИСТИЧНИХ І ГОТЕЛЬНИХ ПОСЛУГ В УМОВАХ СУЧАСНОГО РИНКУ: МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ, ПРОЄКТУВАННЯ, ІННОВАЦІЇ	20
Демидчук Л. Б. ІНФОРМАЦІЙНА СЕРВІЗАЦІЯ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЯ В ІНФРАСТРУКТУРІ НАДАННЯ ПОСЛУГ В ПІДПРИЄМНИЦТВІ	23
Євчук Л.А. ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	28
Луцькова В.А. ВНУТРІШНІЙ ТУРИЗМ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ	31
Ніколайчук Т.О. РОЗВИТОК ЗАПОВІДНИХ ТЕРИТОРІЙ, ЯК ЕКОНОМІКО- ЕКОЛОГІЧНОГО ПРОСТОРУ РЕГІОНУ: ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ	33

Асаулюк Т.С., Семешко О.Я., Скалозубова Н.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРИСТАЛІВ ОКСИДУ ЦИНКУ	150
Ніколайчук Л. Г., Сапожник Д. І. ІННОВАЦІЙНІ ТЕНДЕНЦІЇ В РОЗВИТКУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	151
Панкратенко Г.М, Закора О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАМУФЛЯЖНИХ ТКАНИН	155
Чепелюк О.В., Рогульська С.С. ПРОЕКТУВАННЯ ТКАНИХ ПОЛОТЕН ДЛЯ ВИРОБІВ СКЛАДНОЇ КРИВОЛІНІЙНОЇ ФОРМИ	157

СЕКЦІЯ 4

«ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕХАНІЗМІВ, ВУЗЛІВ, ОСНАЩЕННЯ ВЕРСТАТІВ»

Бергер Е.Э., Симинченко И.П. АНАЛИЗ СХЕМ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ	158
Букетов А.В., Житник Д.В., Танська М.В., Бабій К.А. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ВМІСТУ ІНГРЕДІЄНТІВ ПРИ СТВОРЕННІ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	162
Букетов А.В., Житник Д.В., Селіфонова Л.В., Субботіна Н.Є., Пуськова Т.Г., Вибач Н.П. ВПЛИВ МАЛЕЙНОВОГО АНГІДРИДУ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	163
Добров И.В., Семичев А.В., Суворов В.В. РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ КРИВОШИПНО- ПОЛЗУННОГО МЕХАНИЗМА	164
Міщук О.О., Ярмолюк Б.М., <u>Кобилянський Є.В.</u> ЕФЕКТИ САМООРГАНІЗАЦІЇ НАНОКЛАСТЕРІВ ФАТЕРИТУ ТА ОКСИДУ ГРАФЕНУ ПІД ВПЛИВОМ ДВООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ТА ПАР: СИНТЕЗ У ЗВОРОТНИХ МІКРОЕМУЛЬСІЯХ	169

карбоксильні (С-Н) групи. При зшиванні компаунду останні взаємодіють з макромолекулами епоксидного зв'язувача, що забезпечує підвищення гел-фракції у матриці, а, отже, й поліпшення її властивостей. Отриманий композит доцільно використовувати у вигляді матриці при формуванні одно- чи багатошарових захисних покриттів різного функціонального призначення.

УДК 531.1

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННОГО МЕХАНИЗМА

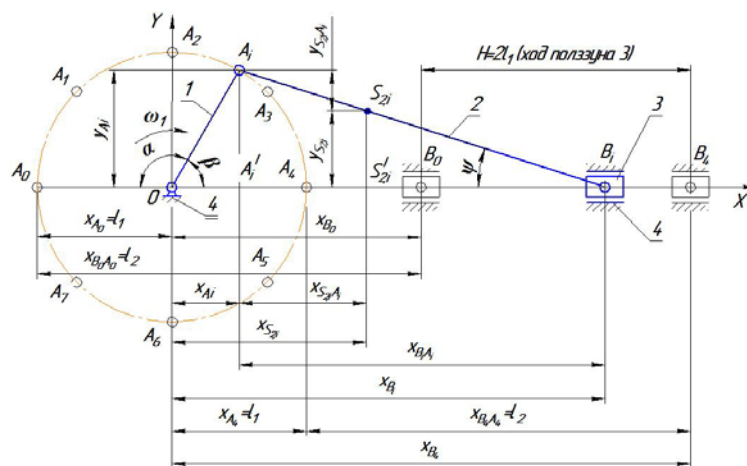
Добров И.В., Семичев А.В., Суворов В.В.

Национальная металлургическая академия Украины

Вступление. Кривошипно-ползунные механизмы (КПМ), являются представителями одной из пяти основных видов структурных групп 2-класса 2-го порядка, которые используются при структурном анализе различных сложных механизмов [1-3]. В работе [4] разработан метод расчета и алгоритм определения кинематических параметров кривошипно-ползунных механизмов (КПМ) для персональных компьютеров и с использованием стандартных прикладных программ MathCAD, MathLAB. Соответственно дальнейшее развитие расчетно-аналитического метода исследования различных конструкций КПМ предопределяет разработку метода и алгоритма расчета энергосиловых параметров КПМ.

Целью работы является разработка алгоритма и программы расчета энергосиловых параметров КПМ с использованием прикладных программ MathCAD и MathLAB с учетом апробированных на практике и хорошо зарекомендовавших себя: аналитического метода расчета кинематики ползуна КПМ [2,3] и графо-аналитического метода расчета силовых параметров КПМ [1,2].

Рассмотрим (рис. 1) схему механизма КПМ [4] содержащего подвижное звено 1 (кривошип длиной $l_1 = l_{0A}$), которое в текущем положении обозначено отрезком $0A_i$ ($i = 0, 1, 2, \dots, 7$) на рис. 1. С помощью плоских шарниров 0 и A кривошип соединен с неподвижным основанием 4 и подвижным шатуном (звено 2 длиной $l_2 = l_{AB}$), который в текущем положении обозначен отрезком A_iB_i . В свою очередь, шатун 2 с помощью



плоского шарнира B соединен с ползуном 3, который поступательно перемещается в неподвижных направляющих (поступательная кинематическая пара) основания 4 вдоль горизонтальной оси OX системы координат XOY , центр O которой совмещен с осью шарнира O на неподвижном основании 4. Массой кривошипа 1 пренебрегаем. Положение центра массы шатуна 2 определяет точка S_2 , расположенная на расстоянии $l_{AS} = 0,35l_2$ от точки A_i (в текущем положении шатуна $A_iS_{2,i}$ на рис. 1). Текущее положение центра массы ползуна 3 определяет координата шарнира B_i , т.к. в первом приближении линейными размерами ползуна 3 по сравнению с другими звеньями КПМ можно пренебречь $A_i = A_0$.

Принимаем за начало отсчета ($t_0 = 0$) положений звеньев механизма КПМ положение кривошипа 1, когда шарнир A , вращаясь с угловой скоростью ω_1 по окружности радиусом l_1 (штрихпунктирная окружность с принятыми промежуточными точками $A_0 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - \dots - A_7 - A_0$), занимает положение с координатами: $y_{A_0} = 0$, $x_{A_0} = -l_1 \cos \alpha = -l_1 \cos(\omega_1 t_0) = -l_1$. Соответственно, координата ползуна 3 на оси OX в начальном положении КПМ составит $x_{B_0} = x_{A_0} + x_{B_0A_0} = -l_1 + l_2 = l_2 - l_1$. При повороте кривошипа 1 на угол $\alpha = 0,5\omega_1 T = \pi$ (T - период вращения кривошипа) относительно начального положения A_0 точка шарнира A займет положение A_4 с координатами: $x_{A_4} = -l_1 \cos(\pi) = l_1$; $y_{A_4} = 0$. Крайнее положение ползуна 3 определяет координата $x_{B_4} = x_{A_4} + l_2 = l_1 + l_2$ и ход (H) ползуна 3 составляет

$$H = x_{B_4} - x_{B_0} = l_1 + l_2 - (l_2 - l_1) = 2l_1 \quad (1)$$

В текущем положении кривошипа (точка A_i на траектории движения шарнира A кривошипа 1 относительно начального положения - точка A_0), которое определяет угол $\alpha = \omega_1 t$, где t - время перемещения кривошипа из начального положения в текущее положение кривошипа (отрезок OA_i на рис. 1). Координаты точки A_i кривошипа 1 составляют:

$$x_{A_i} = -l_1 \cos \alpha \quad (2)$$

$$y_{A_i} = l_1 \sin \alpha \quad (3)$$

Соответственно координаты текущего положения ползуна 3 (точки B_i):

$$x_{B_i} = OA_i + A_iB_i = x_{A_i} + x_{B_iA_i} = x_{A_i} + A_iB_i \cos \psi = -l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \psi \quad (4)$$

$$y_{B_i} = 0. \quad (5)$$

Исходя из условия, что $l_1 \sin \alpha = y_{B_i} = A_i'B_i = l_2 \sin \psi$, следует $\sin \psi = \frac{l_1}{l_2} \sin \alpha = \lambda \sin \alpha$.

Откуда получим [1,2]

$$\cos \psi = \sqrt{1 - (\sin \psi)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{l_1}{l_2} \sin \alpha\right)^2} = \sqrt{1 - \lambda^2 (\sin \alpha)^2} \approx 1 - 0,5\lambda^2 (\sin \alpha)^2 \quad (6)$$

где $\lambda = \frac{l_1}{l_2}$.

Подставим (6) в (4) получим [3]

$$x_{A_iB_i} = A_i'B_i = l_2 \cos \psi = l_2 (1 - 0,5\lambda^2 (\sin \alpha)^2) \quad (7)$$

$$x_{B_i} = 0A_i' + A_i' B_i = x_{A_i} + l_2 \cos \psi = l_2 \sqrt{1 - \lambda^2 (\sin \alpha)^2} - l_1 \cos \alpha \approx l_2 (1 - 0,5 \lambda^2 (\sin \alpha)^2) - l_1 \cos \alpha \quad (8)$$

Из подобия треугольников $\Delta A_i A_i' B_i$ и $\Delta S_{2,i} S_{2,i}' B_i$ получим

$$y_{S_{2,i}} = y_{A_i} \frac{BS_2}{AB} = y_{A,i} \frac{AB - AS_2}{AB} = l_1 \sin \alpha \frac{l_2 - l_{S_2 A}}{l_2} = \frac{1}{\lambda} (l_2 - l_{S_2 A}) \sin \alpha \quad (9)$$

В свою очередь [1,2]

$$\begin{aligned} x_{S_{2,i}} &= 0A_i' + A_i' A_{S_{2,i}}' = x_{A_i} + x_{S_{2,i} A_i} = x_{A_i} + l_{S_2 A} \cos \psi = -l_1 \cos \alpha + l_{S_2 A} \sqrt{1 - \lambda^2 (\sin \alpha)^2} \approx \\ &\approx l_{S_2 A} (1 - 0,5 \lambda^2 (\sin \alpha)^2) - l_1 \cos \alpha \end{aligned} \quad (10)$$

Анализ выполненного расчета кинематических параметров для восьми текущих положений КПМ (рис. 1) [4] показывает, что силы инерции центра массы шатуна 2 и моменты его сил инерций, а так же силы инерции ползуна 3 за один оборот кривошипа 1 при установившемся движении не оказывают влияния на расход мощности привода кривошипа 1. Это обусловлено тем, что за один оборот кривошипа кинематические параметры КПМ (скорость, угловая скорость, ускорение, угловое ускорение звеньев КПМ) не изменяются.

Соответственно, если в первом приближении не учитывать силы трения и моменты сил трения в кинематических парах, то мощность затраченная приводом кривошипа будет расходоваться только на преодоления мощности силы технологического сопротивления P_3 , приложенного к ползуну 3 в процессе рабочего хода КПМ (при перемещении ползуна из положения B_0 в положение B_4 на рис. 2).

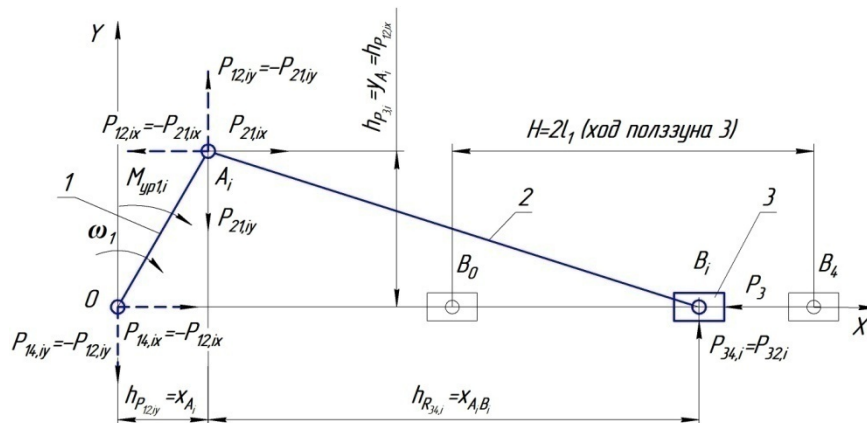


Рисунок – 2 Расчетная схема КПМ для определения энергосиловых параметров в текущем положении его звеньев

Проекции сил, действующие на звено 2 со стороны звена 1 и на ползун 3 со стороны основания 4 на рис. 2 представлены тонкими стрелками и в обозначении сил содержат нижние индексы. Первая цифра индекса указывает на звено, на которое действует сила, вторая цифра – на звено, со стороны которого действует сила. Буква i , отделенная от цифр индекса запятой указывает на текущее положение звена обозначенного первой цифрой. Соответственно обозначение x или y в конце нижнего индекса обозначает проекцию этой силы на оси координат OX или OY .

Аналогичное обозначение имеют силы, действующие на звено 1 со стороны звена 2 и на звено 1 со стороны основания 4, при этом направления этих сил представлены в виде штрихпунктирных стрелок, которые, согласно третьему закону Ньютона, направлены в противоположные стороны относительно направления сил, указанных тонкими

стрелками. Текущее положение звеньев механизма, которое на рис. 1 обусловлено соединением звеньев в кинематических парах: в плоском шарнире 0 и в направляющей основания 4, на рис. 2 обеспечивается за счет действия сил $P_{12,ix}$ и $P_{12,iy}$ в месте расположения шарнира 0 и силой $P_{34,i} = P_{23,i}$ в месте расположения шарнира B_i .

Условие равновесия звеньев 3 и 4 (рис. 2) определяет система уравнений:

$$\begin{cases} \Sigma X = P_{21,ix} - P_3 = 0; \\ \Sigma Y = -P_{21,iy} + P_{34,i} = 0; \\ \Sigma M_{A_i} = P_3 h_{P_{3i}} - P_{34,i} h_{P_{34,i}} = P_3 y_{A_i} - P_{34,i} x_{A_i B_i} = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Откуда следует:

$$P_{34,i} = \frac{P_3 \cdot y_{A_i}}{x_{A_i B_i}}; \quad P_{21,iy} = P_{34,i}; \quad P_{21,ix} = P_3; \quad P_{21,i} = \sqrt{P_{21,ix}^2 + P_{21,iy}^2}. \quad (12)$$

Условие равновесия звена 1 (рис. 2) определяет система уравнений:

$$\begin{cases} \Sigma X = -P_{12,ix} + P_{14,ix} = 0; \\ \Sigma Y = P_{12,iy} - P_{14,iy} = 0; \\ \Sigma M_0 = -P_{12,ix} h_{P_{12,ix}} - P_{12,iy} h_{P_{12,iy}} + M_{yp1,i} = -P_{12,ix} y_{A_i} - P_{12,iy} x_{A_i} + M_{yp1,i} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Из (11) и (12) следует:

$$\begin{aligned} P_{14,ix} &= P_{12,ix} = -P_{21,ix} = -P_3; \\ P_{14,iy} &= P_{12,iy} = -P_{21,iy} = -P_{34,i}; \\ P_{14,i} &= \sqrt{P_{12,ix}^2 + P_{12,iy}^2}; \\ M_{yp1,i} &= P_{12,ix} y_{A_i} + P_{12,iy} x_{A_i}. \end{aligned} \quad (14)$$

Мгновенная мощность привода кривошипа 1 в текущем положении звеньев КПМ при установившемся движении составит

$$W_{1,i} = M_{yp1,i} \cdot \omega_1. \quad (15)$$

Средняя мощность привода кривошипа 1 в процессе рабочего хода при движении точки A_i кривошипа по траектории $A_0 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4$ составит

$$W_{cp,px} = \frac{\sum_{i=0}^{n=3} W_{1,i}}{n+1} \quad (16)$$

Средняя мощность привода кривошипа 1 за один оборот ($A_0 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6 - A_7 - A_0$) при установившемся движении с учетом того, что при холостом ходе КПМ (движение точки A_i кривошипа по траектории $A_4 - A_5 - A_6 - A_7 - A_0$ сила технологического сопротивления $P_3 = 0$ и соответственно $M_{yp1,i} = 0$ при $i = 5, 6, 7, 8$) составит

$$W_{np} = 0,5 W_{cp,px} \quad (17)$$

Ниже приводятся результаты расчеты энергосиловых параметров по уравнениям (2), (3), (6), (7), (11)-(17) в виде табл. 1 для заданных исходных параметров КПМ, выполненных с использованием прикладных программ MathCAD и MathLAB

Исходные данные КПМ:

$$l_1 = 0,1 \text{ м}; \lambda = 0,35; \omega_1 = 26,2 \text{ с}^{-1}; P_3 = 3956 \text{ Н}.$$

Результаты расчета постоянных кинематических параметров КПМ:

$$l_2 = \frac{l_1}{\lambda} = \frac{0,1}{0,35} = 0,285 \text{ м}; H = 2l_1 = 0,2 \text{ м}.$$

Таблица 1 – Результаты расчета энергосиловых параметров КПМ при рабочем ходе ползуна $B_0 - B_1$

Положение кривошипа I	Угол поворота кривошипа I , α , град	Сила давления на кривошип I со стороны шатуна 2 P_{12} , Н	Сила давления на кривошип I со стороны основания 4 P_{14} , Н	Сила давления на ползун 3 со стороны основания 4 P_{34} , Н	Уравновешивающий момент на кривошипе I $M_{уп1}$, Нм	Мгновенная мощность привода кривошипа I W_1 , кВт	Мощность привода кривошипа I $W_{пр}$, кВт
0	0	3956	-3956	0	0	0	3,14
1	45	4083,8	-4083	1013,5	208,6	5,47	
2	90	4224	-4224	1481,8	395,6	10,36	
3	135	4083,8	-4083	1013,5	351,5	9,21	
4	180	3956	-3956	0	0	0	

Выводы. Разработан новый метод расчета и алгоритм определения энергосиловых параметров КПМ для персональных компьютеров и с использованием стандартных прикладных программ MathCAD и MathLAB.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин / С.Н. Кожевников. – М.: Машиностроение, 1973. – 592 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1975. – 640 с.
3. Коловский М.З. Теория механизмов и машин: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / [М.З.Коловский, А.Н.Евграфов, Ю.А.Семёнов, А.В.Слоущ]. — 4-е изд., перераб. — М.: Издательский центр “Академия”, 2013. — 560 с.
4. Добров И.В. Расчетно-аналитический метод определения кинематических параметров кривошипно-ползунного механизма / И.В. Добров, А.В. Семичев // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Сучасні технології промислового комплексу – 2020» 8-12 сентября 2020 г. – Херсон: ХНТУ. - с.100-105.