

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
д.т.н., профессор
_____ А.Л. Шестаков
_____ 2018 г.

Разработка установки для изучения кулачкового механизма с
тремя толкателями

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ–12.03.01.2018.1894. ВКР

Руководитель проекта, преподаватель

_____ Д.Н.Шаршин
_____ 2018г.

Автор проекта
студент группы КЭ-475

_____ И.С.Налесник
_____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент

_____ А.С.Волосников
_____ 2018г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Налесник И.С. Разработка лабораторной установки для изучения кулачкового механизма с тремя толкателями – Челябинск : ЮУрГУ, КТУР; 2018, 60 с. 18 ил. библиограф. список – 19 наим, 1 приложение

В работе была разработана лабораторная установка для изучения функциональных свойств пространственных кулачковых механизмов. В введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, ставится проблема, цель и задачи исследования, определяются объект, предмет научных поисков, ставятся цель и задачи, указывается методологическая база исследования, его теоретическая, практическая значимости. Представлена обзорно-аналитическая часть, произведен анализ цели работы, поставлена задача исследования. Осуществляется опытно-практическая работа. Разработка функциональных и структурных схем приборов с определением физических принципов действия устройств, их структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы. Был предложен путь развития с помощью добавления аппаратное программных средств для построения простых систем автоматики.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2018.1894.ПЗ ВКР		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Налесник И.С.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Шаршин Д.Н.</i>				5	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Волосников А.С.</i>			ЮУрГУ Кафедра ИНИТ		
<i>Утверд.</i>		<i>Шестаков А.Л.</i>					

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	9
1.1 Анализ технического задания.....	9
1.2 Обзор аналогов.....	9
1.2.1 УП 6139	9
1.2.2 ТММ-ИКМ-013-5ЛР-01	11
1.3. Описание кулачковых механизмов	11
1.4 Arduino	32
1.5 Raspberry Pi.....	33
1.6 Intel Galileo	36
2 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТАНОВКИ	40
2.1 Требования к потенциометрам	40
2.2 Требования к АЦП.....	40
2.3 Критерии выбора микроконтроллера	41
2.4 Требования к блоку питания	42
2.5 Требования к дисплею.....	42
2.6 Программа для работы установки.....	42
2.7 Структурная и функциональная схемы	43
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	45
3.1 Методика проведения экспериментальных исследований.....	45
3.2 Результаты эксперимента.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	55
ПРИЛОЖЕНИЯ	57
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	57

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и практический аспект данных проблем связаны с тем, что большинству нынешних лабораторных стандов с действующими кулачковыми механизмами требуются усовершенствования. Актуальность проблемы связана с тем что для расчета кулачковых механизмов приборов предъявляются повышенные для приборостроения требования в отношении точности и определенности хода толкателей. В приборах обычно необходимо преобразование входной величины по нелинейным законам, а также преобразования должны быть реализованы с помощью механизмов, имеющих минимальные размеры. Это заставляет отказаться от распространенных в приборостроении графических приемов профилирования и ставит задачу разработки методики, основанной на достаточно точных и в то же время простых аналитических расчетных соотношениях.

Предполагается, что если осуществить разработку по усовершенствованию лабораторного станда с дальнейшим её внедрением в деятельность научно-исследовательских комплексов, то возрастёт эффективность обучения и научных изучений.

В качестве методов исследования применены: анализа литературы, анализа нормативно-правовой документации по теме выпускной квалификационной работы, изучение и обобщение отечественной и зарубежной практики, сравнение, моделирование, синтез, теоретический анализ и синтез, аналогия, классификация, обобщение.

Практическая значимость данного дипломного проекта заключается в интеграции аппаратно-программных средств, для управления механизмов и получения результатов, возможность сохранения настроек для дальнейшего быстрого использования.

Целью дипломной работы является: разработка лабораторной установки для изучения функциональных свойств пространственных кулачковых механизмов.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Задачи:

- 1) На основе анализа литературных данных определить, какие существуют подходы к усовершенствованию исследований.
- 2) Разработать способов усовершенствования современных кулачковых механизмов путем добавления аппаратно-программных средств
- 3) Выявление перспективных технологических решений.
- 4) Исследование структуры и особенностей функционирования трехкулачкового механизма.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ технического задания

Кулачковые механизмы используются для преобразования поступательного вращательного движения кулачка в возвратно-поступательное движение поршня. В этом случае в механизме с двумя движущимися звеньями можно реализовывать преобразования движений по сложному закону. Главным преимуществом кулачковых механизмов является возможность обеспечения точных выходов выходного канала. Это преимущество определило их обширное применение в простейших устройствах циклической автоматизации и в механических вычислительных устройствах. Все кулачковые механизмы можно разделить на две группы. Механизмы первой группы обеспечивают движение толкателя в соответствии с заданным законом движения. Механизмы второй группы обеспечивают только указанное максимальное смещение выходного звена - ход толкателя. В этом случае закон, которым осуществляется это движение, выбирается из набора модельных законов движения в зависимости от условий технологии и эксплуатации производства.

1.2 Обзор аналогов

1.2.1 УП 6139

В качестве аналога мы рассмотрим комплект учебно-лабораторного оборудования для “Исследования кулачкового механизма” УП 6139 представленным на (Рисунке 1). Данный комплект учебно-лабораторного оборудования предназначен для проведения лабораторных работ по изучению силовых и энергетических параметров кулачкового механизма. Позволяет проводить исследования кулачкового механизма с коромыслом при различных частотных вращениях приводного вала и разной степени нагруженности коромысла.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

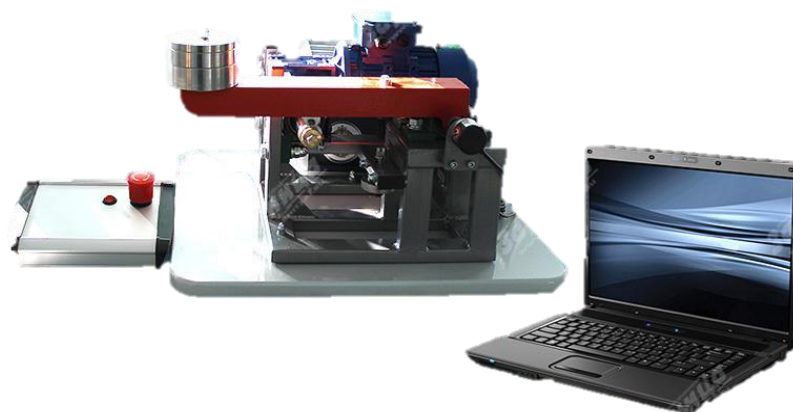


Рисунок 1– УП6139

Комплект выполнен в модульном исполнении, в его состав входят:

- модуль исследования кулачкового механизма;
- модуль измерения и управления;
- модуль исследования кулачкового механизма;
- мотор-редуктор привода кулачка;
- датчик момента на приводном валу кулачка;
- коромысло, оснащенное тензодатчиком;
- датчики положения коромысла и приводного вала;
- комплект кулачков различного профиля (3 шт.);
- комплект грузов (3 шт.);
- преобразователь частоты;
- модуль измерения и управления ;
- источник питания датчиков;
- микропроцессорная система измерения усилий, положения приводного вала и коромысла.

Основными недостатками данного оборудования можно выделить как габариты установки (800x600x500мм) её массу которая может составлять до 30 кг.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

1.2.2 ТММ-ИКМ-013-5ЛР-01

Так же в качестве аналога можно рассмотреть ТММ-ИКМ-013-5ЛР-01 от производственной компании УчтехПрофи. Данный лабораторный комплекс предназначен для проведения лабораторных работ по изучению силовых и энергетических параметров кулачкового механизма. Комплекс позволяет задавать частоту вращения приводного вала кулачка и производить исследование динамики кулачкового механизма с коромыслом, определять углы поворота звеньев и силы их взаимодействия. Комплекс позволяет измерять крутящий момент на приводном валу кулачка и нормальную силу, действующую со стороны кулачка на коромысло. Управление частотой вращения и регистрация параметров осуществляется на ПЭВМ (ноутбуке).

Преимущество данной комплекса заключается в том, что на нем одновременно можно проводить опыты группой по 2-3 человека. Возможность сохранять предыдущие данные по работе.

Недостатки же комплекса заключается в габаритах установки (680x360x400) масса установки 30кг .

1.3.Описание кулачковых механизмов

Кулачковые механизмы обладают обширное использование в технике вследствие собственному немаловажному плюсу – присутствие сравнительно обычной системы они гарантируют обширный спектр закономерностей перемещения выходного звена. В особенности зачастую они применяются в различных машинах-автоматах.

Подобное обозначение система приобрела с наименования собственного основного звена – кулачка, обладающего компонент высочайшей пары в варианте плоскости неустойчивой кривизны. Выходящее элемент, исполняющее перемещение согласно установленному закону, как правило именуют толкателем. Толкатель обладает прямое (либо посредством промежуточный элемент – ролик)

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

связь с кулачком, модель рабочей плоскости которого гарантирует осуществление перемещения толкателя согласно установленному закону.

Кулачковые механизмы могут являться плоскими и пространственными, с крутящимся и поступательно передвигающимся кулачком, с поворотным, поступательным и трудным перемещением толкателя. Отличаются кулачковые механизмы кроме того согласно фигуре компонентов высочайшей пары в сочетании кулачок - толкатель.

Более распространены плоские кулачковые механизмы с крутящимся кулачком. Контур рабочей плоскости кулачка в плоскости, поперечной оси его вращения, именуется его профилем. Сконструировать кулачковый механизм обозначает обнаружить вид кулачка, гарантирующий установленный закон перемещения толкателя.

Исходными данными к проектированию считаются вид приспособления, закон перемещения толкателя и определенные вспомогательные масштабы схемы приспособления.

Более известные в технике и представляемые к проектированию кулачковые механизмы представлены на рисунке 2.

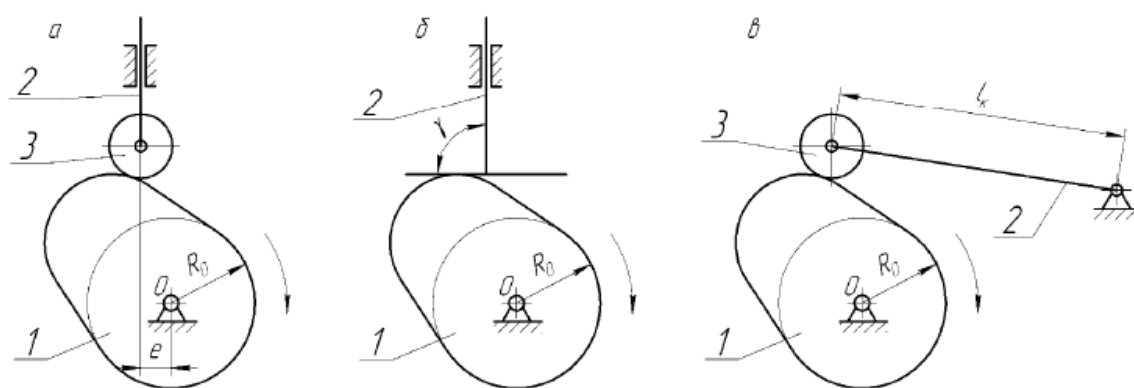


Рисунок 2 – Основные типы кулачковых механизмов

Кулачковые механизмы состоят из двух основных подвижных звеньев: кулачка (1) и толкателя (2). Схемы а и в обладают промежуточное (пассивное) элемент – ролик (3). Кулачок в абсолютно всех схемах обладает вращательное

перемещение. Толкатель схем а и б перемещается возвратно - поступательно, а толкатель схемы в вращательно - колебательное (коромысло). Основное отличие среди устройств а и б состоит в оформлении нижней части толкателя, соприкасающейся с кулачком: модель а – окружность (ролик), модель б – прямая (ее именуют тарелкой). Тарелочка с стержень толкателя сформирует угол γ (в сдерживающем большинстве случаев $\gamma=90$). С целью комфорт дальнейшего изложения система схем а станем (условно) именовать устройством первого вида, схемы б – второго вида, схемы в – третьего вида

Размер R_0 в рисунке 1 выражает, таким образом именуемый, наименьший радиус-вектор профиля кулачка (короткое расстояние от оси вращения вплоть до рабочей плоскости кулачка). Он считается желанной величиной в конструировании и обуславливается особым расчетом. Определенную отличительная черта в конструировании механизма первого вида записывает размер e – дистанция с середины вращения кулачка до оси толкателя, именуемое эксцентриситетом. Если $e = 0$ кулачок называется центральным, в ином случае кулак внецентренный. Размер e может задаваться, однако способен быть зависимым от проектируемых назначений . С целью приспособления второго вида объем e также имеет место (согласно установлению e), однако он никак не отображается в проектных действиях (как правило в схемах орган вращения кулачка совмещают с осью толкателя). С целью приспособления третьего вида протяженностью коромысла (l_k) как правило задаются.

Беспрерывность контакта кулак - толкач (он может нарушаться под влиянием инерциальных и научно-технических усилий) гарантируется либо силовым замыканием, если толкатель регулярно прижимается к кулачку пружиной, либо геометральным замыканием, если используют систему с двухсторонним контактом кулачок - толкатель (отверстие около ролика в теле кулачка согласно очертанию профиля, рамочка в тарельчатом толкателе, включающая кулак с 2-ух краев). Используют и прочие системы.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

С целью стандартной деятельности кулачного приспособления следует непрерывное контактное взаимодействие компонентов высочайшей пары кулак-толкатель, то что достигается использованием 2-ух видов замыкания данной пары: а) насильственное переключение, исполняемое при наличии пружин; б) кинематическое переключение, исполняемое из-за геометрии фигур компонентов соприкасающихся звеньев (пазовальный кулак, рамковый толкатель и др.).

При постоянном вращении кулачка (как правило считающегося однородным) толкатель в совокупном случае проходит циклы (соответствующие 1 витку кулачка), заключающиеся из 4 собственных фаз: фазы удаления, если толкатель с наиболее близкого положения согласно соотношению к середине вращения кулачка движется (удаляется) в наиболее отдаленную позицию; стадия дальнего стояния, если толкатель в определенный период остается недвижимым в собственном далеком состоянии; стадия возврата (либо приближения), если толкатель движется в противоположную сторону к собственной начальной позиции; стадия близкого стояния, если толкатель в оставшейся доле оборота кулачка делается недвижимым в собственном близком к середине вращения кулачка состоянии (фазы стояния имеют все шансы быть в отсутствии).

Углы поворота кулачка, надлежащие данным фазам как правило классифицируются $\varphi_y, \varphi_d, \varphi_b, \varphi_6$, сумма которых предоставляет единственный оборот вокруг оси $\varphi_y + \varphi_d + \varphi_b + \varphi_6 = 2\pi$

Рабочий угол состоит из суммы первых трех углов и имеет обозначают φ_p . Отсюда следует что $\varphi_p = \varphi_y + \varphi_d + \varphi_b$.

Значимости фазовых углов формируются согласно согласовыванию перемещением обслуживаемой машины, исполняющей главной производственно-научно-технический процесс. Рассмотренным фазисным углам отвечают круговые секторы конкретных участков кулачков. Поскольку профиль кулачка может быть разным то они не всегда могут совпадают.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Кулачковые механизмы дают возможность реализовывать обширное разнообразие законов перемещения выходящего звена - толкателя. Перемещение кулачкового механизма обязано являться согласовано с работой основной машины, отличительными чертами исполняемого машиной научно-технического процесса. В некоторых случаях закон перемещения кулачкового механизма целиком обуславливается закономерностями выполнения научно-технического движения машиной. В иных вариантах необходимо выдержать слаженность только лишь в части рабочего цикла кулачкового механизма, а в остальном подбор перемещения произволен. В некоторых случаях необходимо выстоять только лишь значимости фазисных углов с случайным перемещением внутри рабочих фаз.

Вероятность свободного подбора законов перемещения ограничивается условиями к качеству данных законов: они обязаны являться «технологичны», т.е. никак не формировать крупных проблем в производстве кулачка; никак не порождать крупных инерциальных мощи в перемещении, оказывающих большое влияние на прочность и надежность механизма. Вероятны прочие ограничения.

Закон перемещения выражает конкретно определенную взаимозависимость кинематических характеристик перемещения (путь, скорость, ускорение) места тела от периода в своей линии движения. Присутствие одной разновидности закона (из 3-х) дает возможность приобрести другие аналитическими преобразованиями. В качестве исходного закона в конструировании кулачковых механизмов как правило задаются связью ускорение - период, в виде лимитирующей в динамическом воздействии (силы инерции). Значимы никак не только лишь безусловные значимости ускорения, однако и вид его изменения. Неблагоприятны с целью деятельность приспособления «скачкообразные» перемены ускорения, чему в графике такого рода функции отвечает разность (согласно ординате) направления графика.

Различают перепад вплоть до \pm («жесткий удар») и разность в окончательную значение («мягкий удар»). Безударные графики – отсутствие перепадов в них.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Законы с строгими ударами практически никак не используются (только лишь для тихоходных механизмов). Законы с мягкими ударами обладают наиболее обширное использование, однако они никак не-желательны с целью быстроходных механизмов. предназначенных расчетах в целях комфорт и специфичности отдельных операций взамен параметра «ускорение» используют параметр «аналог ускорения». Отличие среди ними заключается в том, то что аналог ускорения – 2-ая производная пути согласно углу поворота кулачка, а ускорение – это вторая производная пути согласно времени, т.е.

$$a = \frac{d^2S}{dt^2} \quad ; \quad a_{\varphi} = \frac{d^2S}{d\varphi^2} \quad (1)$$

где a – ускорение;

a_{φ} – аналог ускорения.

Аналогично по скоростям:

$$v = \frac{dS}{dt} \quad ; \quad v_{\varphi} = \frac{dS}{d\varphi} \quad (2)$$

где v – скорость;

v_{φ} – аналог скорости.

Приведенные функции (1) и (2) принадлежат к поступательному перемещению звена - толкателя (система 1-ый и 2-го вида). В механизме 3 вида толкатель-коромысло делает вращательное перемещение, что позволяет использовать двоякий подход к аналогам ускорения и скорости коромысла . Формулы (1,2) возможно целиком относить к коромыслу, понимая под a , v и S , тангенциальное ускорение центра ролика коромысла скорость, прямолинейные перемещение, по этой причине согласно аналогии с (1) и (2), вводятся определения о аналогах угловых скорости и ускорения коромысла

$$w_{\varphi} = \frac{d\beta}{d\varphi}, \quad ; \quad \varepsilon_{\varphi} = \frac{d^2\beta}{d\varphi^2} \quad (3)$$

где β – угол поворота коромысла;

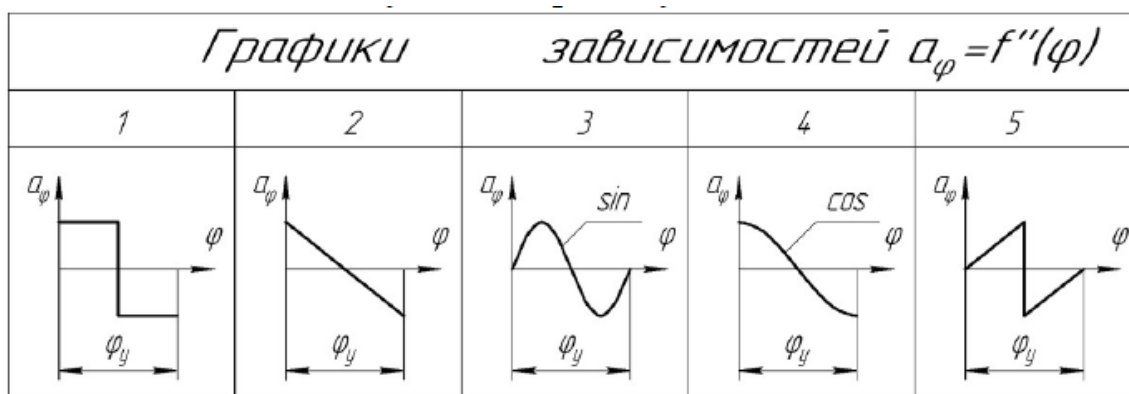
w_{φ} – угловая скорости коромысла;

ε_{φ} – угловое ускорения коромысла.

Так же можно выделить, то что графики ключевых и аналоговых параметров станут обладать идентичный видом.

С целью предоставления плавной деятельности кулачковых механизмов необходимо подбирать подобные законы, у каковых ускорение в начале и в завершении промежутка перемещения обладает нулевые значения, а внутри интервала однообразно увеличивается и убывает (к примеру, синусоидальный). Внезапное (скачкообразное) перемена ускорений порождает крупные инерциальные перегрузки и по этой причине законы перемещения, у каковых существуют скачки в графиках ускорений никак не рекомендуется использовать при конструировании быстроходных кулачковых механизмов. Закон однородного перемещения, у коего ускорения меняются в границах \pm , возможно применять только лишь при малонагруженных механизмах. В таблице 1 представлены графики законов – подобие ускорения перемещения толкателя в функции угла поворота кулачка, наиболее простые, зачастую используемые и применяемые в конструировании. Для механизмов третьего типа необходимо использовать угловое ускорение коромысла

Таблица 1 Графики законов движения толкателя поворота кулачка



В таблице 1 предоставлены только участки фазового угла удаления (φ_y); φ_v является участком угла возвращения и применяет аналогичный закон. На участках φ_d и $\varphi_b - a_\varphi = 0$. (где толкатель находится в неподвижном состоянии). В центре

фу находится точка на оси φ , которая разделяет φ на положительную и отрицательную части $a\varphi$.

Законы 1, 2, 4, 5 формируют так называемые «мягкие удары» (графики обладают конечными «перепадами»), закон 3 является безударный.

Как фиксировалось прежде, сконструировать кулачковый механизм, обозначает обнаружить профиль кулачка, при содействии с которым толкатель станет перемещаться согласно установленному закону перемещения с учетом стандартных отличительных черт кулачковых механизмов.

При проектировании кулачкового механизма задается его тип и закон перемещения толкателя в виде графика для механизмов 1-го и 2-го типов $\frac{d^2s}{d\varphi} = f''(\varphi)$ и для механизма 3-го вида $\frac{d^2\beta}{d\varphi} = f''(\varphi)$ (с целью решения проектных проблем применяются все без исключения типы кинематических диаграмм: аналогов ускорения и скорости, передвижения толкателя). Задаются значимости фазисных углов $\varphi_d, \varphi_v, \varphi_u$, для механизмов 1-го и 2-го типов максимальный линейный ход толкателя S_{max} и для механизма 3-го типа максимальный угловой ход коромысла β_{max} .

В зависимости от типа механизма также дополнительно вводятся: значение эксцентриситета e для механизма 1-го типа; угол наклона γ тарелки толкателя к его оси для механизма 2-го типа; длина коромысла lk для механизма 3-го типа.

Для механизмов 1-го и 3-го типов также задается минимальный угол передачи движения γ_{min} .

Кинематические диаграммы (графики) возможно получить разными методами: согласно аналитическим выражениям и графическими способами, приводимыми в учебной литературе.

Графический метод технически осуществим при каждом законе перемещения толкателя, однако таким образом как, в основном, производится графическими способами, в таком случае в этой либо другой мере итог, безусловно, выходит приближенный. Более точный метод – исследовательский.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

С целью отдельных никак не весьма трудных законов получены аналитические состава, описывающие законы перемещения толкателя. К количеству указанных законов принадлежит и законы таблицы 1.

Как фиксировалось ранее, к числу проектных величин принадлежит размер R_0 профиля кулачка (см. рисунок 1), подходящий наименьшему расстоянию от оси вращения кулачка вплоть до его рабочей плоскости (называемой как правило «практический профиль»). С целью кулачковых механизмов, толкатель который оснащен роликом (1-й и 3-й виды – см. рисунок 1), внедрено представление «теоретический профиль», какой и обнаруживается в первую очередность присутствие конструировании, а практический профиль считается производным с него. Теоретический (в некоторых случаях называют «центральной») профиль – данное подобная воображаемая поверхность кулачка, что имеет контакт никак не с поверхностью ролика, а с его центром, снабжая присутствие вращении кулачка установленный закон перемещения толкателя.

Размер наименьшего радиуса теоретического профиля кулачка оказывает большое влияние на работоспособность в целом кулачкового механизма – она ухудшается с сокращением данного радиуса, и присутствие определенном ограничивающем его смысле механизм делается неработоспособным.

Обстоятельства неработоспособности кулачковых механизмов в взаимосвязи с этим различны – с целью механизмов 1-го и 3-го типов одна, для механизмов 2-го типа иная (у данного механизма общетеоретический и практический профили кулачка схожи). Установление максимального значения наименьшего радиуса (в последующем обозначаемого равно как R_{min}) с целью этих типов механизмов выполняются различными методами. Для механизмов 1-го и 3-го типов данное связано с углом передачи перемещения (либо взаимозависимого с ним углом давления).

На рисунке 2 показан теоретический профиль кулачка 1, сопряженный с толкателем 2 в точке А (механизм 1-го вида). Прямая t-t считается касательной к профилю кулачка в точке контакта его с острием толкателя, n-n – нормаль к

профилю в этой же точке. Толкатель движется вверх под влиянием формируемой вращающимся кулачком в контакте А силы N, направленной согласно нормали n-n (в отсутствии учета силы трения в точке контакта). Ny и Nx – элементы силы N, направленные согласно ходу толкателя и перпендикулярно к нему. Напрямую способствует движению толкателя составляющая Ny, составляющая Nx мешает движению посредством посредничества вызываемой ею силой трения в опоре толкателя В.

$$V_{A2} = V_{A1} + V_{A2A1} \quad (4)$$

V_{A2} и V_{A2A1} – являются составляющими векторного уравнения которое характеризует кинематику кулачкового механизма на уровне скоростей V_{A1} . Углом передачи движения в данном случае является угол между векторами относительной (V_{A2A1}) и абсолютной (V_{A2}) скоростями точки контакта ведомого звена высшей кинематической пары (γ). Аналогичный угол имеет место и между векторами сил N_x и N (угол давления γ).

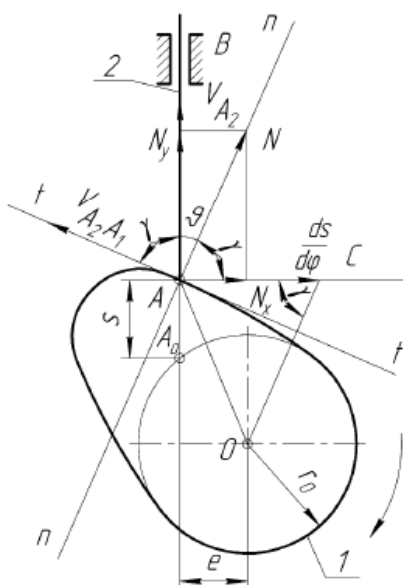


Рисунок 3 – Схема относительных скоростей и сил звеньев кулачкового механизма

Из рисунка 3 можно получить следующие формулы

$$N_x = N \cos \gamma, \quad N_y = N \sin \gamma \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, то что при сокращении γ N_x увеличивается, а N_y уменьшается, т. е. станет увеличиваться сила трения и сокращаться двигающая сила, то что присутствие некотором предельно малом γ приведет к состоянию, если сила трения превзойдет движущую силу, из-за чего же механизм остановится. Подобное проявление называют заклиниванием механизма. Угол γ при работе механизма меняется в отдельных пределах (с 90° вплоть до некоторого наименьшего значения). При проектировании кулачкового механизма необходимо выдержать требование, для того чтобы минимальный действующий угол γ был никак не менее предельного значения, вызывающего заклинивание. Данный максимальный угол (обозначается γ_{\min}) имеет значимости $\gamma_{\min}=50^\circ\dots60^\circ$ для механизмов 1-го типа и $\gamma_{\min}=40^\circ\dots45^\circ$ для механизмов 3-го типа (они менее подвержены заклиниванию).

Определено, то что значимости рабочих углов γ находятся в зависимости от величины наименьшего радиуса r_0 теоретического профиля: большим значениям r_0 соответствуют большие значения γ . В взаимосвязи с этим решается цель: отыскать такое значение r_0 , при котором минимальный рабочий угол γ равен γ_{\min} . Это будет искомый r_{\min} .

На рисунке 2 сделано вспомогательное построение: из центра O проведена параллельно $n-n$ линия OC и из точки A перпендикуляр к AB - линия AC . При точке их пересечения C кроме того образовывается угол γ . Получающийся (с добавлением линии OA) присутствии данном треугольник OAC возможно считать повернутым на 90° планом скоростей, соответствующим уравнению (4) с полюсом в точке A , отрезком AO равно как вектором V_{A1} , отрезком OC равно как вектором V_{A2A1} , отрезком AC равно как вектором V_{A2} . Характерной чертой данного проекта скоростей считается сходжение длины вектора V_{A1} с протяженностью радиуса-вектора точки контакта A . Размер подобного проекта скоростей приобретет выражение

$$\mu_v = \frac{V_{A1}}{AO} = \frac{w_k l_{AO}}{AO} = \frac{w_k AO \mu_l}{AO} = w_k \mu_l \quad (6)$$

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

где w_k – угловая скорость вращения кулачка;

μ_l – масштаб длин построения схемы механизма.

Отрезок плана скоростей AC , следовательно, можно представить как

$$AC = \frac{V_{A_2}}{\mu_v} = \frac{V_{A_2}}{w_k \mu_l} \quad (7)$$

При использовании формулы (3) может привести к выражению вида

$$AC = \frac{dS}{d\varphi} \frac{1}{\mu_l} \quad (8)$$

где $\frac{dS}{d\varphi}$ – аналог скорости толкателя.

S – перемещение толкателя;

Таким способом, отрезок AC является аналогом скорости толкателя при $S=A_0A$, выявленный в масштабе длинны его перемещения. Данное обстоятельство дает возможность решить проблему согласно установлению r_{min} с использованием диаграмм $S=f(\varphi)$ и $\frac{dS}{d\varphi} = f'(\varphi)$

Установление наименьшего радиуса кулачка возможно графическим и аналитическими способами.

Графический способ установления r_{min} считается принципиально точным и «универсальным» - технически осуществим при каждом законе перемещения толкателя, однако итог выходит приближенным.

Для отдельных не очень сложных законов получены аналитические формулы с целью расчета точных значений r_{min} . К количеству указанных законов принадлежат и законы табл. 1.

Для кулачковых механизмов 1-го вида заключение расчетных формул выполняется аналитическим оформлением графических построений, показанных в рисунке 3 с целью получения r_{min} графическим методом.

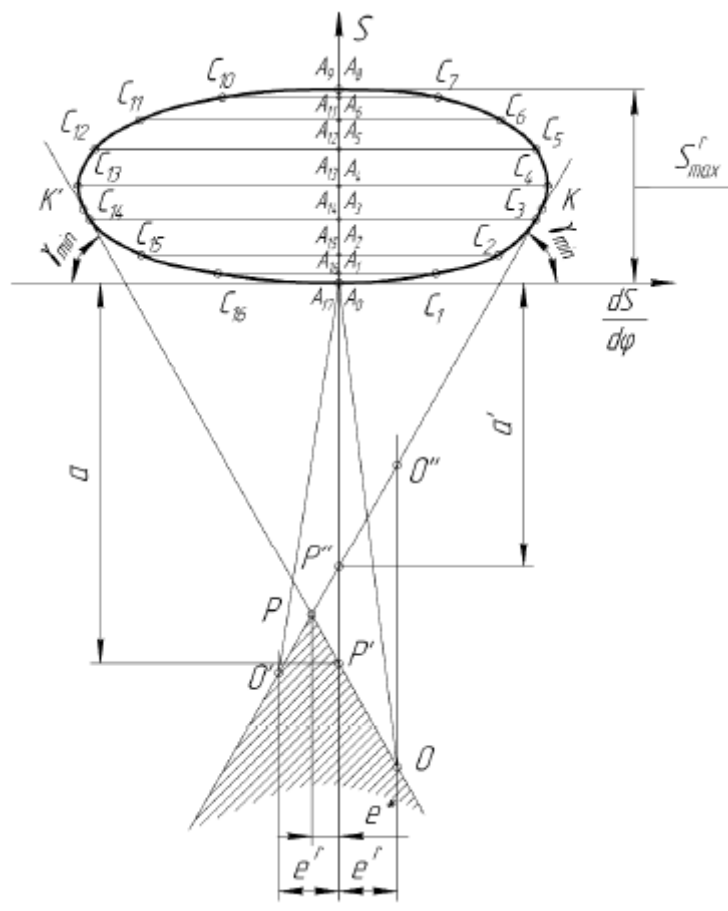


Рисунок 4 – Диаграмма определения минимального радиуса кулачка для механизма с поступательно движущимся роликовым толкателем

Для нахождения r_{min} необходимо найти $a = P'A_0$ и $a' = P''A_0$ – которые являются отрезками, отсекаемые касательными к диаграмме $S = S(\frac{dS}{d\varphi})$ на оси S от начала координат.

Если $\varphi_v = \varphi_u$ тогда точка P попадает на ось S . Из-за чего P' и P'' совмещаются с точкой P из чего следует что $a = a' = PA_0$. При заданном $e = 0$ и аналитическом расчете a получим

$$r_{min} = a. \quad (6)$$

При $e \neq 0$ (точки O и O' симметричны относительно оси S)

$$r_{min} = \sqrt{(a + e \tan \gamma_{min})^2 + e^2} \quad (7)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Из рисунка 3 можно получить следующую формулу

$$a = v_{\varphi K} \cdot tg\gamma_{min} - S_K, \quad (8)$$

где $v_{\varphi K}$ – является скоростью толкателя ($dS/d\varphi$), который соответствует точке касания K касательной PK к диаграмме $S = S(\frac{dS}{d\varphi})$;

S_K – перемещение толкателя, соответствующее точке K .

Для того чтобы найти координаты точки K ($v_{\varphi K}$ и S_K) необходимо будет воспользоваться уравнением

$$\frac{dS}{dV_{\varphi}} = \frac{v_{\varphi}}{a_{\varphi}} = tg\gamma_{min} \quad (9)$$

где a_{φ} – аналог ускорения толкателя ($\frac{d^2S}{d\varphi^2}$).

С целью решения уравнений (8) и (9) применены аналитические выражения аналогов ускорения и скорости, передвижения толкателя таблицы 2 для определенных законов. Итоги постановления согласно абсолютно всем законам таблиц 1 и 2 вытекают далее. В приведенных формулах обозначает фазовый угол (либо φ_{ϕ}), выбранный непременно в радианах; S_{max} – итог постановления (9), отображающий часть угла φ_{ϕ} , соответствующую точке K диаграммы $S = S(\frac{dS}{d\varphi})$ рисунка 4 (приводится отдельно в тех случаях, когда для удобства нецелесообразно включать его непосредственно в (8)). Постоянное ускорение разных знаков (закон 1 таблица 1)

$$a = S_{max} \left(\frac{2tg\gamma_{min}}{\varphi_{\phi}} - \frac{1}{2} \right) \quad \text{при } \varphi_{\phi} \leq 2tg\gamma_{min}$$

$$a = 2S_{max} \left(\frac{2tg\gamma_{min}}{\varphi_{\phi}} \right)^2 \quad \text{при } \varphi_{\phi} \geq 2tg\gamma_{min}$$

Присутствие 2-ух формул для расчета a объясняется тем, то что график $S = S(\frac{dS}{d\varphi})$ для закона 1 имеет место излома при $S = \frac{S_{max}}{2}$ (точки C_4 и C_{13} согласно рисунку 3), и точки K и K' касательных PK и PK' при любых $\varphi_{\phi} \leq 2tg\gamma_{min}$ совпадают с пунктами C_4 и C_{13} . В данном случае в (8), $v_{\varphi K} = v_{\varphi}^{max}$, $S = \frac{S_{max}}{2}$ то что предоставляет первую расчетную формулу для a . Присутствие точка K (K')

образовывается в криво-линейной части графика, и необходимо использование двух формул (8) и (9) с целью извлечения второй расчетной формулы для a .

Линейно-непрерывно меняющееся ускорение (закон 2 таблицы 1– наклонная прямая)

$$a = S_{max} \left[\frac{6\varphi_k(\varphi_\varphi - \varphi_k)tg\gamma_{min}}{\varphi_\varphi^3} - 3\left(\frac{\varphi_k}{\varphi_\varphi}\right)^2 + 2\left(\frac{\varphi_k}{\varphi_\varphi}\right)^3 \right]$$

где $\varphi_k = \frac{2tg\gamma_{min} + \varphi_\varphi - \sqrt{(2tg\gamma_{min})^2 + \varphi_\varphi^2}}{2}$

Синусоидальное изменение ускорения (закон 3 таблицы 1)

$$a = S_{max} \left[\frac{2tg\gamma_{min}}{\varphi_\varphi} - \frac{1}{\pi} \arctg \left(\frac{2\pi tg\gamma_{min}}{\varphi_\varphi} \right) \right]$$

Косинусоидальное изменение ускорения (закон 4 таблицы 1)

$$a = \frac{S_{max}}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{\varphi_\varphi} tg\gamma_{min} \right)^2} - 1 \right]$$

Линейно-прерывистое изменение ускорения (закон 5 таблицы 1)

$$a = S_{max} \left(\frac{3tg\gamma_{min}}{\varphi_\varphi} - \frac{1}{2} \right) \text{ при } \varphi_\varphi \leq 4tg\gamma_{min} \text{ и}$$

$$a = 16S_{max} \left(\frac{tg\gamma_{min}}{\varphi_\varphi} \right)^3 \text{ при } \varphi_\varphi \geq 4tg\gamma_{min}$$

Присутствие 2-ух формул разъясняется этими же факторами, что и согласно закону 1.

Приведенные вычисления величин a предоставляют требуемый итог (6) только лишь в случае $\varphi_\varphi = \varphi_y$ и $e=0$. В случае $\varphi_B = \varphi_y$, однако $e \neq 0$ прибавляется вычисление (7).

Соотношение (6) станет осуществляться и для $\varphi_B \neq \varphi_y$, однако только лишь при $e = 0$ и когда в формулы для расчета a станет подставлено значение наименьшего из двух углов (φ_y либо φ_B).

Несколько сложнее вычисление в случае $\varphi_B \neq \varphi_Y$ и $e \neq 0$. Тут понадобится принимать во внимание величину и ориентацию e и ориентацию диаграммы $S = S\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)$ (полуполя диаграммы с целью фаз вытаскивания и возврата толкателя изменяются зонами присутствия изменения направления вращения кулачка).

Вычисление r_{min} в абсолютно всех вариантах производится согласно формуле (7) с определенными локальными изменениями согласно особенностям расчета. Представляемые затем указания выводятся с геометрической формы построения согласно рисунку 3 с учетом разновидности соответствия величин φ_Y и φ_B и тенденции вращения кулачка. С двух отрезков a и a' (см. рисунок 3) в последующем a означает больший, a' – меньший.

Согласно исследованной методике необходимо установить сдвиг e^* (см. рисунок 3 – расстояние с точки P вплоть до оси S) и его ориентацию согласно отношению к оси S (в правую сторону-в левую сторону).

$$e^* = \frac{a-a'}{2tg\gamma_{min}} \quad (10)$$

где a и a' – вычисленные по соответствующим формулам расчета для законов таблицы 1 (a для меньшего из двух углов – φ_Y или φ_B , a' – для большего).

Методика расчета r_{min} с учетом вариантов соотношения фазовых углов ($\varphi_Y > \varphi_B$ либо $\varphi_Y < \varphi_B$), направления вращения кулачка (по часовой стрелке либо против), ориентации установленного e (в левую сторону от оси S , т.е. толкателя, либо в правую сторону) связывается с получающейся ориентацией e^* (10) (в левую сторону от оси S либо в правую сторону), характеризуемой комплектом следующих условий.

- $\varphi_Y < \varphi_B$, вращение кулачка против часовой стрелки $\varphi_Y > \varphi_B$ вращение кулачка по часовой стрелке; При этих условиях e^* ориентировано влево от оси S .
- $\varphi_Y < \varphi_B$, вращение кулачка по часовой стрелке, $\varphi_Y > \varphi_B$ вращение кулачка против часовой стрелки; При этих условиях e^* ориентировано вправо от оси S .

С учетом двух ситуаций вычисление r_{min} производится последующим способом. В случае если заданное e ориентировано в противоположную от e^* сторону к оси S , в таком случае вычисление r_{min} производится по формуле (7).

Так же необходимо учитывать соотношение размеров e и e^* при совпадении ориентации заданного e с e^* .

Если $e \geq e^*$ то в формулу (7) вместо a необходимо использовать a' .

Если $e \leq e^*$ то в формуле (7) значение a остается, только перед $etg\gamma_{min}$ в скобках под корнем должен быть «-».

При $e = e^*$ вычисления по условиям $e \leq e^*$ и $e \geq e^*$ дают идентичный итог. Данный вычисление совместно с расчетом (10) полностью решает проблему согласно установлению первоначальных характеристик профиля кулачка (при задании найти e^*).

Теоретические основные принципы и практические воздействия согласно установлению r_{min} для механизма 3-го типа в основном аналогичны механизму 1-го типа. Строится диаграмма $S = S\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)$ и с помощью геометрических построений на основе γ_{min} определяется допустимое местоположение центра вращения кулачка с исполнением условия $\gamma \geq \gamma_{min}$ присутствие каждом состоянии механизма. Различие складывается в том, что точки линии движения перемещения центра ролика толкателя (передвижение S) в сопоставлении с механизмом 1-го типа размещаются никак не в прямой, а в дуге окружности радиус коромысла l_k , и отрезки $\frac{dS}{d\varphi}$ никак не параллельны между собою, а размещаются в лучах-очертаниях коромысла. Возведения к определению r_{min} кулачка механизма 3-го вида представлены в рисунке 5.

									Лист
									27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

12.03.01.2018.1894.ПЗ

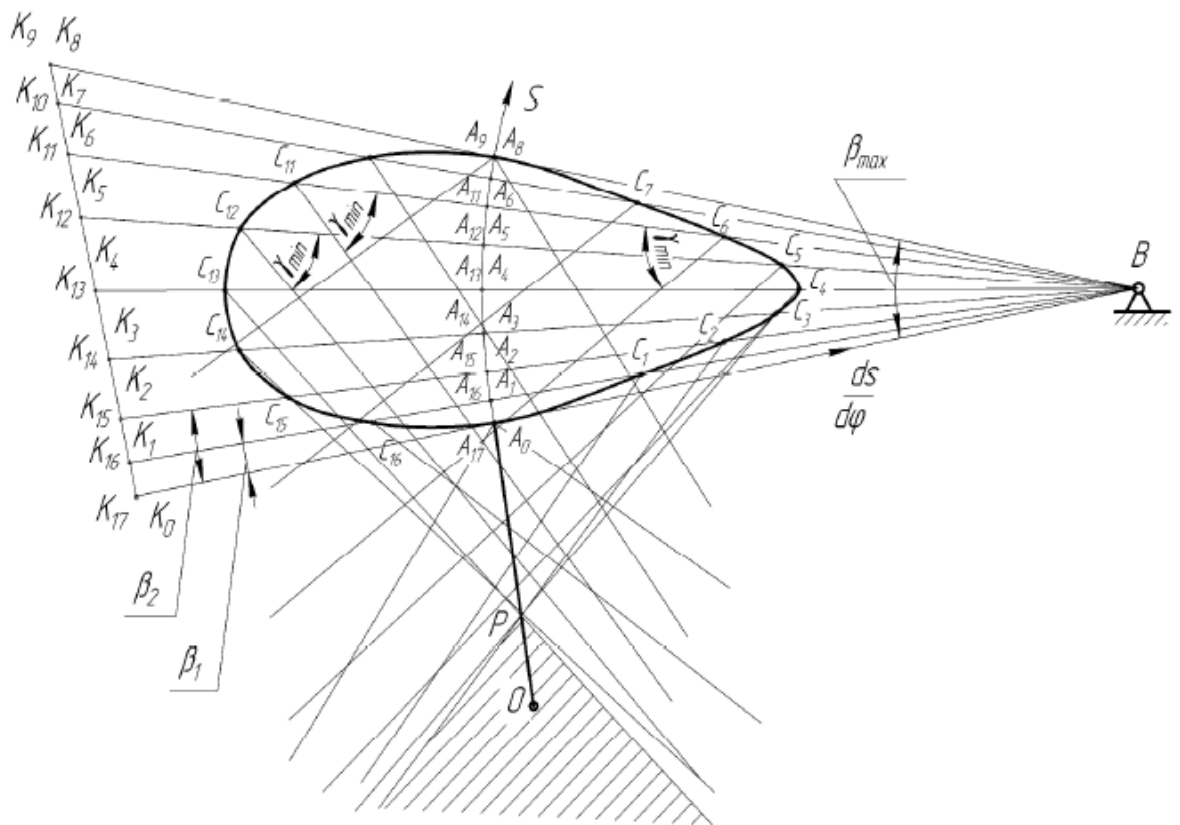


Рисунок 5 – Диаграмма $S = S\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)$ минимального радиуса кулачка для механизма с коромысловым толкателем

Аналитическое выражение с целью установления r_{min} для приспособления 3-го вида обуславливается из формулы при условии не превышения максимального угла давления

$$\tan \vartheta = \frac{\left(\frac{d\beta}{d\varphi}\right)l - l + l_1 \cos(\beta + \beta_0)}{l_1 \sin(\beta + \beta_0)}$$

где β_0 – угол, между коромыслом с линией, проходящей через центр вращения кулачка и начальным положением;

l_1 – расстояние между центрами вращения коромысла и кулочка.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Найдя из этой формулы угол β_0 , минимальный радиус кулачка определяем по формуле

$$r_{min} = \sqrt{l^2 + l_1^2 - 2ll_1 \cos \beta_0}$$

У кулачковых механизмов с тарельчатым толкателем угол γ передачи перемещения считается постоянной величиной – данное угол между плоскостью тарелки и осью толкателя. В большинстве ситуации он берется одинаковым 90° , то что считается лучшим значением с точки зрения избегания заклинивания. В некоторых случаях тарелку делают «скошенной» ($\gamma \neq 90^\circ$), В данном случае довольно выполнить требование $\gamma \geq \gamma_{min}$.

У кулачковых механизмов с плоским толкателем имеется другая причина оказаться неработоспособным – вероятность контакта плоскости рабочей части толкателя с криволинейным профилем кулачка в 2-ух точках, что для непересекающегося сочетания прямая-кривая вероятно только лишь при присутствии в кривой вогнутости.

Это недопустимо и из-за нарушения необходимого закона перемещения толкателя и из-за результативного осуществления контакта. Таким образом, обстоятельством работоспособности кулачкового механизма с плоским толкателем считается выпуклость профиля кулачка согласно всему его периметру. Математически это проявляется равно как $p > 0$, где p – радиус кривизны профиля кулачка. В курсе теории механизмов и машин аргументируется, то что данное представление сводится к виду

$$R_0 + S + \frac{d^2S}{d\varphi^2} > 0 \quad (11)$$

где S – перемещение толкателя;

R_0 – наименьшее значение радиуса-вектора профиля кулачка;

$\frac{d^2S}{d\varphi^2}$ – аналог ускорения толкателя, соответствующий перемещению S .

Из (11) можно получить выражение

$$R_0 + S > -\frac{d^2S}{d\varphi^2}$$

левую и правую части которого можно представить на осях координат диаграммы $S = S\left(\frac{dS}{d\varphi}\right)$ (рисунок 6).

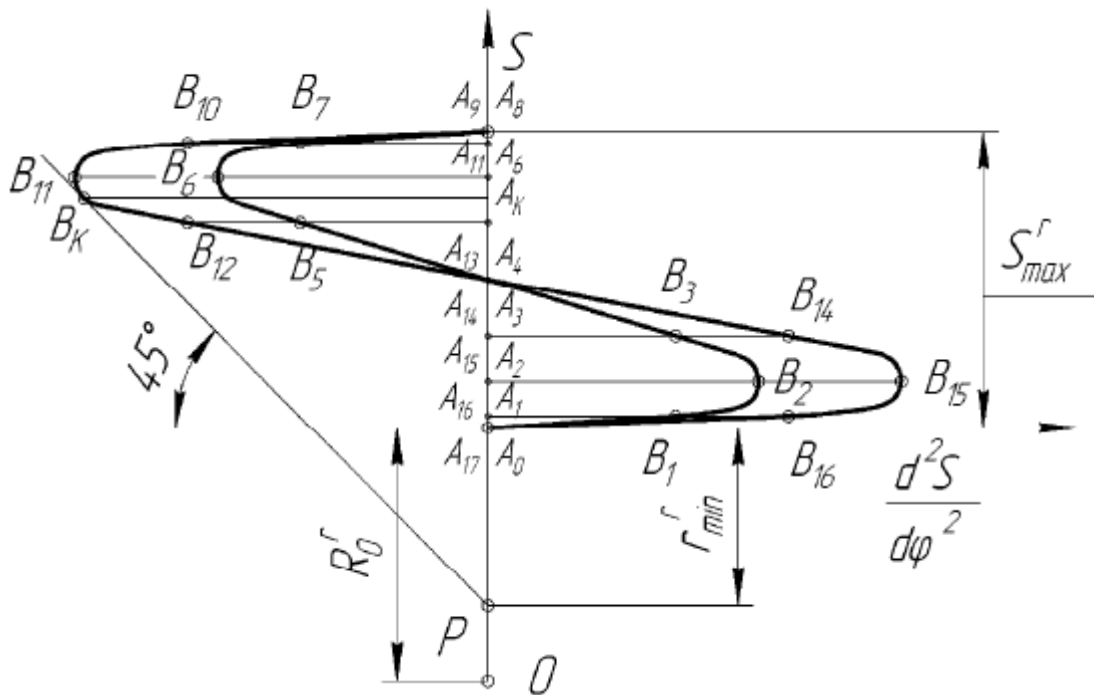


Рисунок 6 – Диаграмма определения минимального радиуса кулачка для механизма с плоским толкателем

Графические действия, произведенные в рисунке 5 с целью установления r_{min} , возможно показать аналитическими зависимостями заключением окончательных формул с целью ряда исходных законов согласно таблице 1. Приводятся вычисленные формулы с целью установления r_{min} . Последовательный номер формулы соответствует номеру закона в таблице 1. φ_ϕ означает фазовый угол (φ_ϕ или φ_y), выраженный обязательно в радианах. При $\varphi_\phi \neq \varphi_y$ в качестве φ_ϕ подставлять меньшее значение.

$$1) r_{min} = S_{max} \left(\frac{4}{\varphi_{\phi}^2} - \frac{1}{2} \right); 2) r_{min} = S_{max} \left(\frac{6}{\varphi_{\phi}^2} - 1 \right) 3) r_{min} \approx S_{max} \left(\frac{2\pi}{\varphi_{\phi}^2} - \frac{3}{4} - \frac{1}{2\pi} \right);$$

$$4) r_{min} = S_{max} \left(\frac{\pi^2}{2\varphi_{\phi}^2} - 1 \right); r_{min} = S_{max} \left(\frac{12}{\varphi_{\phi}^2} - \frac{1}{2} \right);$$

Согласно закону 3 (синусоида) предоставлена приближенная формула, точность которой понижается с повышением угла φ_{ϕ} , однако погрешность пренебрежимо незначительна: в предельном случае при $\varphi_{\phi} = 150,8^{\circ}$ надлежащем $r_{min} = 0$ по формуле 3 (что почти убирает ограничения с r_{min}), абсолютная погрешность составляет $0,025S_{max}$. Для углов φ_{ϕ} , предоставляющих важные величины r_{min} , погрешность формулы 3 менее 1% (точная формула очень громоздка и неудобна для вычислений). Приведенные ранее формулы с целью расчета r_{min} подразумевают $\gamma = 90^{\circ}$. В случае $\gamma \neq 90^{\circ}$ полученные значения r_{min} умножаются на $\sin\gamma$.

С целью выявления формы профиля кулачка при известном законе перемещения толкателя применяется способ обращения движения, суть которого объясняется рисунком 7

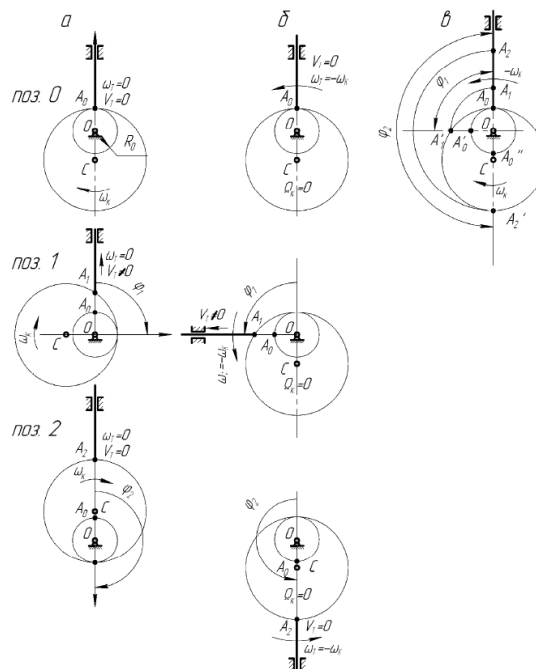


Рисунок 7 – Последовательность реализации метода обращения движения

1.4 Arduino

Появление первых микроконтроллеров ознаменовало начало новой эры в развитии микропроцессорной технологии. Наличие большинства системных устройств в одном случае сделало микроконтроллер похожим на обычный компьютер. Их даже называли одно чиповыми микрокомпьютерами. Соответственно, желание использовать микроконтроллеры в качестве обычных компьютеров появилось почти с их появлением. Но это желание сталкивались с некоторыми преградами. Например, чтобы собрать устройство на микроконтроллере, необходимо знать основы схемы, устройства и работы конкретного процессора, чтобы иметь возможность программировать на ассемблере и производить электронное оборудование. Вам также понадобятся программисты, отладчики и другие вспомогательные устройства. В результате без огромного количества знаний и дорогостоящего оборудования это было затруднительно. Эта ситуация долгое время не позволяла многим фанатам использовать микроконтроллеры в своих проектах. Теперь, с появлением устройств, которые дают возможность работать с микроконтроллерами без серьезной материальной базы и знаний многих предметов, все изменилось. Примером такого устройства является проект является Arduino. Arduino представляет собой набор, состоящий из готового электронного блока и программного обеспечения. Arduino представляет собой набор, состоящий из готового электронного блока и программного обеспечения. Электронный блок здесь—это печатная плата с установленным микроконтроллером и минимумом элементов, необходимых для его работы. Фактически, электронный блок Arduino аналогичен материнской плате современного компьютера. Он имеет разъем для связи с компьютером, через который запрограммирован микроконтроллер, а также разъемы для подключения внешних устройств. Особенности микроконтроллеров ATmega от Atmel позволяют программировать без использования специальных программистов. Все, что вам нужно для создания

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

нового электронного устройства, это плата Arduino, коммуникационный кабель и компьютер. Вторая часть проекта Arduino - это программное обеспечение для создания управляющих программ. Он объединяет простейшую среду разработки и язык программирования, который является вариантом языка C / C ++ для микроконтроллеров. Он добавил элементы, которые позволяют создавать программы без изучения аппаратного обеспечения. Итак, чтобы работать с Arduino, достаточно знать только основы программирования на C / C ++. Создано для Arduino и многих библиотек, содержащих код, который работает с различными устройствами.

1.5 Raspberry Pi

Raspberry Pi — это небольшой компьютер Raspberry Pi основан на процессоре с архитектурой ARM11 и частотой в 700 МГц.

Его размеры, 85,6×56×21 мм — и не имеет скругленных краев, к тому же некоторые порты попросту торчат снаружи, не говоря уж про карту SD, которая более чем на половину выпирает за пределы платы. Устройство весит всего 54 грамма. Raspberry Pi выпускается в двух комплектациях.

Обе версии Raspberry Pi оснащены процессором Broadcom BCM2835 архитектуры ARM11 с тактовой частотой 700 МГц и модулем оперативной памяти на 256 (или 512) Мбайт, размещенным по технологии package-on-package1 непосредственно на процессоре. Модель "А" обладает одним портом USB 2.0, тогда как модель "В" — двумя. У модели "В" наличествует и порт Ethernet. Помимо основного ядра, процессор BCM2835 включает в себя графическое ядро с поддержкой OpenGL ES 2.0, аппаратного ускорения и видео Full HD, а также ядро DSP (цифрового сигнального процессора).

Питание компьютера осуществляется через разъем micro-USB, при этом сила тока должна составлять минимум 0,5–0,7 А. При меньших значениях компьютер все еще может включиться, но будет уходить в перезагрузку при запуске ресурсоемких задач. Следовательно, подключать плату лучше не через хаб, а напрямую к USB порту компьютера или в розетку через специальный переходник.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Никаких кнопок включения/выключения на корпусе платы не предусмотрено. Если необходимо запустить Raspberry Pi — подключаете USB-питание, для выключения — выдергиваете шнур. В будущих, возможно, добавят питание по Ethernet, поскольку это один из самых частых запросов от пользователей.

Рядом с портом питания находится слот для карты памяти. Без которой Raspberry Pi не включается, поскольку именно на ней записана операционная система. Поскольку собственной ОС во внутренней памяти у RaspberryPi не имеется, то из этого следует один положительный момент — устройство практически невозможно превратить в "кирпич". После любого неудачного эксперимента достаточно перезаписать дистрибутив на карту памяти, и RaspberryPi снова заработает .

Выбор для карт памяти формата SD, а не Micro SD, имеет как свои плюсы, так и минусы. С одной стороны, плату можно было сделать еще компактней, отдав предпочтение Micro SD, тем более что эти карты более распространены, чем обычные SD. С другой стороны, решающим фактором стало удобство использования компьютера. Дело в том, что вставленная SD-карта немного выглядывает наружу, так что ее можно схватить за край и легко вытянуть. Если же использовать Micro SD, то доступ к слоту памяти будет заблокирован в случаях, когда на Raspberry Pi надет корпус.

Для подключения дисплея имеются сразу два интерфейса: RCAVideo (композитный) и HDMI. Применяя переходники, можно выйти и на более традиционные VGA и DVI. HDMI поддерживает передачу как видео, так и звука, а если потребуется отдельный аудиоканал, то и он присутствует на плате в виде стандартного мини-джека 3,5 мм. Подключение микрофона также возможно, но для этого понадобится найти совместимое с Raspberry Pi USB-устройство.

Текущая модель Raspberry Pi не имеет модуля Wi-Fi, и для работы в Интернете понадобится задействовать порт Ethernet. Поскольку физически он скоммутирован через USB 2.0, то обеспечивает не гигабитную, а 100-мегабитную скорость.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

На плате присутствуют всего два USB-порта — соответственно, после подключения клавиатуры и мыши свободных разъемов для флэш-накопитель, USB-дисков, Wi-Fi/3G-донглов и других устройств не остается. Тут можно посоветовать либо подобрать клавиатуру с USB-хабом, либо докупить дополнительный хаб самостоятельно.

Чипы процессора и GPU не оснащены даже простейшими радиаторами, и после нескольких часов работы компьютера становится очевидным, почему остановились именно на этом решении, — плата нагревается при работе совсем незначительно, она скорее теплая, чем горячая.

Частота процессора составляет 700 МГц (ARM 11), и в зависимости от дистрибьютора процессор можно разогнать до 1000 МГц без потери гарантии (возможен выбор и более щадящих режимов). Чип памяти производства Samsung или Hynix напаян прямо поверх основного чипсета, так что увеличить RAM самостоятельно не получится. При покупке стоит обратить внимание на маркировку SoC (процессора System-on-a-Chip, системы на кристалле). Номер партии для "старых" версий модели "B" с 256 Мбайт RAM начинается с K4P2G, а у выпуска с 512 Мбайт памяти — с K4P4G.

Видео ускоритель BroadcomVideoCore IV позволяет даже при таком слабом процессоре декодировать видео 1080p h.264 с битрейтом вплоть до 40 Мбит/с. Для включения аппаратного ускорения MPEG-2 и VC-1 лицензии на применение этих технологий придется докупать отдельно.

Для визуальной индикации процессов плата оснащена пятью светодиодами. Три из них демонстрируют активность и режим работы Ethernet, а еще два сигнализируют о наличии питания и работе с SD-картой.

На рынке можно найти несколько корпусов — как официальных, так и сторонних производителей — для повышения защищенности компьютера и более удобной его транспортировки.

Набор низкоуровневых интерфейсов, которые позволяют подключать к RaspberryPi платы расширения, внешние контроллеры, датчики и прочие

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

аксессуары. Во-первых, на плате имеются 15-пиновые слоты CSI-2 для подключения камеры и DSI для установки дисплея. Во-вторых, присутствует колодка на 26 линий ввода/вывода общего назначения GPIO, из которых по факту для управления доступны только 17. На них же реализованы интерфейсы UART, консольный порт, шина SPI (SerialPeripheralInterface, последовательный периферийный интерфейс) и I2C (Inter-IntegratedCircuit, последовательная шина данных для связи интегральных схем). На новых ревизиях плат разведены, но не распаяны, еще четыре GPIO, дополнительно дающие I2C и I2S (IntegratedInter-chipSound, последовательная шина данных, служащая для соединения цифровых аудиоустройств).

Использование GPIO — это как раз самое интересное и творческое применение RaspberryPi.

Впрочем, недостатков у RaspberryPi тоже хватает. В нем, к примеру, нет собственных часов реального времени (RealTimeClock, RTC), поэтому единственный способ получения времени — это синхронизация с NTP-серверами. SoCBroadcom BCM2835 содержит в себе ядро цифрового сигнального процессора (DSP), но полного доступа к его API до сих пор нет. Выводы GPIO не защищены от короткого замыкания, поэтому ошибка в монтаже может сгубить весь мини-ПК. Кроме того, Raspberry Pi способен обрабатывать только цифровые сигналы. Видео выходы не могут одновременно выводить картинку.

1.6 Intel Galileo

Intel Galileo — это Arduino-совместимая плата от Intel, основанная на x86-системе на чипе (SoC) Intel Quark X1000 с тактовой частотой 400 МГц. Это 32-битный процессор класса Intel Pentium, и по производительности ему ещё не было равных среди любых Arduino-совместимых плат. Эта плата полностью совместима с Arduino-шилдами и программируется из привычной Arduino IDE точно таким же образом, как привычная Arduino Uno.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Процессор имеет 16 кБ L1-кеша, 512 кБ встроенной в чип памяти и использует при работе 256 МБ оперативной памяти DDR3, установленной на плате.

На плате уже находятся разъём для карт Micro-SD, порт Ethernet на 100 Мбит, USB2.0-хост и USB2.0-клиент. При этом всё перечисленное богатство не занимает порты для Arduino-шилдов и может управляться напрямую из скетча стандартными библиотеками Arduino. Так же на плате находится RS-232, 10-пиновый JTAG-интерфейс и 8 МБ NOR-флеш. Кроме этого на плате присутствует полноценный mini-PCI Express слот, к которому можно подключить платы расширения Wi-Fi, 3G, Bluetooth и т.д. Плата работает под управлением операционной системы Linux. При этом вы можете вызывать системные команды или запускать различные программы Linux прямо из своего скетча.

Это оригинальная плата, произведённая Intel. Она полностью совместима с шилдами от Arduino и поддерживает как 5-вольтовые, так и 3,3-вольтовые платы расширения. Нужно значение выхода IOREF переключается джампером.

Плата питается от блока питания на 5 В, который включён в комплект. Плата не может быть запитана через USB-вход. Перед подключением Intel Galileo к компьютеру необходимо сначала подключить к плате питание, подождать 10 секунд, и только после этого подключить плату к компьютеру. Плата может быть запитана через контакт VIN. Плата не имеет встроенного регулятора напряжения, поэтому напряжение, подаваемое на вход VIN, должно быть равно 5 В. Если используемые вами Arduino-шилды питаются через контакт VIN повышенным напряжением, необходимо удалить джампер VIN, объединяющий контакт 5V и VIN.

Каждый из 20 входов/выходов Arduino-совместимых контактов может быть использован как цифровой вход или выход. В отличие от Arduino, при включении платы эти контакты сконфигурированы как вход с подтяжкой. Контакты поддерживают работу в режиме 3,3 В и в режиме 5 В. Для выбора режима работы необходимо переставить джампер IOREF в соответствующее положение. Джампер IOREF должен всегда соответствовать рабочему

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

напряжению, подаваемому на контакты. Работа с 5 В периферией в режиме 3,3 В может привести к повреждению платы.

Некоторые контакты имеют специализированные функции.

Serial: контакты 0 (RX) и 1 (TX). Используются для приёма (RX) и передачи (TX) последовательных данных.

SPI-интерфейс присутствует на контактах 10, 11, 12, 13 и продублирован на ICSP-контактах. В связи с некоторыми особенностями реализации аппаратного SPI-интерфейса, Intel Galileo не может выступать в роли ведомого SPI-устройства. Intel Galileo может быть только ведущим SPI-устройством. По умолчанию SPI работает на стандартной для Arduino частоте 4 МГц. Частота работы может быть поднята до 25 МГц.

TWI / I²C контакты находятся на контактах A4 (SDA) и A5 (SCL).

Аналоговые входы A0 — A5 подключены к микросхеме АЦП AD7298. 10-битное значение напряжения на этих входах может быть получено в скетче стандартной функцией analogRead(). Если необходимо, можно без труда повысить точность измеренного значения напряжения до 12 бит.

Внешние прерывания: контакты 3 (interrupt 0) и 2 (interrupt 1). Могут быть использованы только как прерывание по фронту.

ШИМ: контакты 3, 5, 6, 9, 10 и 11.

Встроенный светодиод: контакт 13.

AREF — не поддерживается. Аналоговые входы всегда измеряют напряжение относительно 5 В.

Поддержка Arduino-совместимых контактов в Intel Galileo выполнена при помощи микросхемы I²C-расширителя портов CY8C95. Частота переключения Arduino-совместимых контактов не поддерживающих ШИМ ограничена. Поэтому библиотеки Arduino, эмулирующие временно-зависимые протоколы, такие как Servo или SoftwareSerial, работать не будут. Подробнее о том, как управлять сервоприводом при помощи IntelGalileo вы можете узнать из сопроводительной документации по Intel Galileo.

Встроенные в процессор часы реального времени. Для их работы необходима стандартная 3 В батарейка. Разъём для карт Micro-SD. Может использоваться для установки полной версии Linux. К Micro-SD карте можно получить доступ из своего скетча, используя стандартную библиотеку «SD» из Arduino IDE. Микросхема EEPROM, 11 кБ которой можно запрограммировать, используя стандартную библиотеку «EEPROM» из Arduino IDE. 10/100 Ethernet. К нему можно получить доступ из своего скетча, используя стандартную библиотеку «Ethernet» из Arduino IDE. PCI Express слот. USB2.0-хост. USB2.0-клиент. Используется не только для программирования Intel Galileo из Arduino IDE. Это полноценный USB2.0-клиент, с помощью которого можно превратить Intel Galileo в полноценное USB-устройство, например мышь или клавиатуру. Стандартный 10-пиновый JTAG-коннектор, используемый для отладки. Кнопка REBOOT. Используется для перезагрузки центрального процессора. Кнопка RESET. Используется для сброса исполняемого скетча и подключённых Arduino-шилдов.

По умолчанию плата работает на облегчённой версии Linux, которая находится на расположенной на плате 8 МБ NOR-flash микросхеме. Чтобы получить доступ к таким замечательным вещам, как ALSA (для работы со звуком), V4L2 (для работы с видеокамерой), Python, SSH, node.js (для web-проектов), openCV (для компьютерного зрения) и драйверам Wi-Fi, необходимо установить полную версию Linux на MicroSD-карту.

Выводы по разделу один

Были рассмотрены аналоги установки. Для будущей работы установки выбран микроконтроллер Arduino.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

2 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТАНОВКИ

2.1 Требования к потенциометрам

Требования, предъявляемые к потенциометрам, аналогичны требованиям, предъявляемым к обычным сопротивлениям:

- стабильность величины напряжения;
- способность длительно рассеивать заданную мощность.

Для обеспечения стабильности работы источника тока необходимо, чтобы сопротивление потенциометра было примерно в пять раз меньше сопротивления потребителя (нагрузки). При выполнении этого требования перемещение движка потенциометра не приводит к существенному изменению режима источника тока и напряжения на его зажимах.

2.2 Требования к АЦП

Требования к АЦП основанные на техническом задании. Поэтому необходимо обеспечить частоту дискретизации сигнала, равную 15 кГц. Это означает, что аналого-цифровой преобразователь должен генерировать последовательность кодов, соответствующих входному непрерывному действию на частоте 15 кГц. В качестве АЦП мы будем использовать чип Arduino Uno. Алгоритм преобразования реализуется с использованием регистра последовательных приближений. Конвертер этого типа, также известный в литературе как АЦП с побитовой балансировкой, является наиболее распространенным вариантом последовательных АЦП. В основе этого класса преобразователей лежит принцип дихотомии, то есть последовательное сравнение измеренного значения с $1/2$, $1/4$, $1/8$ и т. Д. Из возможного максимального значения. Это позволяет N-битовому АЦП выполнять весь процесс преобразования в N последовательных шагов (итераций) вместо 2^N-1 с использованием последовательного подсчета и получить значительный прирост производительности. Таким образом, даже при $N = 10$ это усиление достигает 100 раз и позволяет получить с помощью таких АЦП до 105,106 преобразований в секунду. В то же время статическая погрешность этого типа преобразователя, определяемая в основном используемым в нем ЦАП,

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

может быть очень малой, что позволяет реализовать разрешение до 18 бит с частотой дискретизации до 200 кГц. Цифровой фильтр должен иметь возможность обрабатывать входные отсчеты для этого интервала выборки для работы в режиме реального времени.

2.3 Критерии выбора микроконтроллера

При разработке устройства возникает необходимость в выборе микроконтроллера, удовлетворяющего требованиям по производительности, надежности, условиям применения. Проведение системного анализа проекта позволяет определить требования к микроконтроллеру:

- поддерживаемые способы загрузки программ в микроконтроллер, возможность внутрисистемного программирования (ISP), использование при этом стандартизированных интерфейсов (SPI, I2C);
- количество и тип напряжений питаний;
- отказоустойчивость источника питания;
- разрядность вычислительного ядра;
- количество управляемых портов ввода/вывода, характер передачи - байтовая или битовая, программная настройка направления передачи;
- тип устройств ввода/вывода, которыми должен управлять выбираемый МК в проектируемой системе (терминалы, цифровые устройства визуальной индикации выключатели, датчики, реле, клавиши, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, модуляторы и т.д.);
- набор встроенных периферийных устройств (АЦП, таймеры и т.п.);
- наличие битовых операций;
- возможность работа по прерываниям, по командам человека или по внешним сигналам готовности;

В основном, вычислительная мощность, потребляемая мощность и стоимость системы увеличиваются с повышением тактовой частоты. Цена системы при повышении частоты увеличивается из-за стоимости не только

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

микроконтроллера, но также и всех требующихся дополнительных микросхем, таких как ROM, RAM, PLD и контроллеры шины.

2.4 Требования к блоку питания

Блок питания преобразует переменный ток из розетки с напряжением 220 Вольт в постоянный ток с напряжением +12В. Его общая мощность складывается из мощностей, которые он "выдает" по каждой из указанных трех линий.

Некоторые блоки питания не выдают необходимую силу тока по линии +12В, "компенсируя" ее на двух других линиях.

При недостаточной мощности БП по +12В не будет работать. Он может включаться, но под нагрузкой будет самопроизвольно перезагружаться или переходить в "непонятный" режим.

Выбирая блок питания, необходимо убедиться, что сила тока на его линии +12В с превышает минимальное требования микроконтроллера.

2.5 Требования к дисплею

Для работы дисплея в данной установке можно выделить следующие требования:

- напряжение питания дисплея должно быть не более 5 вольт;
- дисплей должен будет обладать двумя строками с возможностью выводить до 16 значений в каждой строке ;
- должен обладать не большими размерами и массой.

2.6 Программа для работы установки

Arduino имеет в себе некоторое количество портов (Количество зависит от версии Arduino) с Аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Эта функция дает нам возможность преобразовывать входящий сигнал 0-5 В. в дискретные значения 0-1024. Например : 2 Вольта преобразуем в дискрету $(1025/5)*2 = 410$ дискрет.

Получается если мы подадим на аналоговый вход Arduino 2 вольта, Arduino пересчитает их и даст нам значение АЦП ≈ 410 .

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

С помощью потенциометра мы можем получать любое напряжение от 0 до 5 вольт. На дисплей будет выводиться сперва количество дискрет, а потом пересчитываться в напряжение. Листинг программы представлен в приложение А

2.7 Структурная и функциональная схемы

По предоставленным требованиям составим структурную схему (Рисунок 8), а также составим функциональную схему (Рисунок 9).

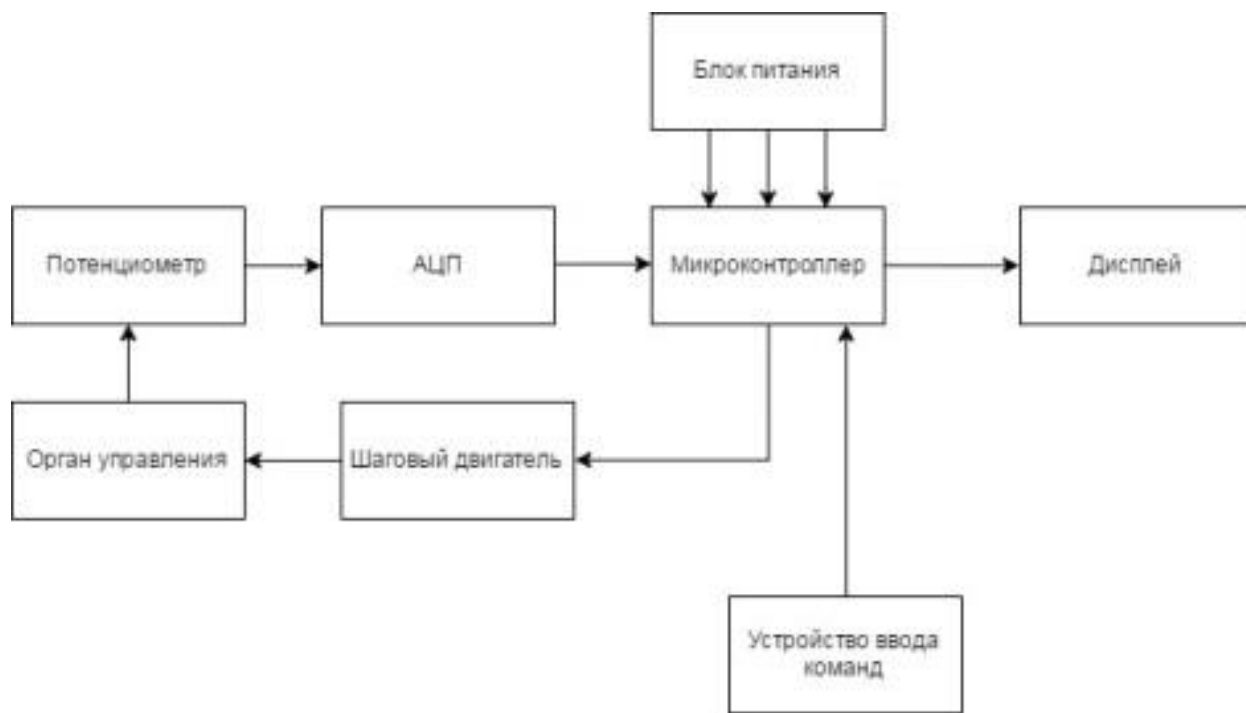


Рисунок 8 – Структурная схема

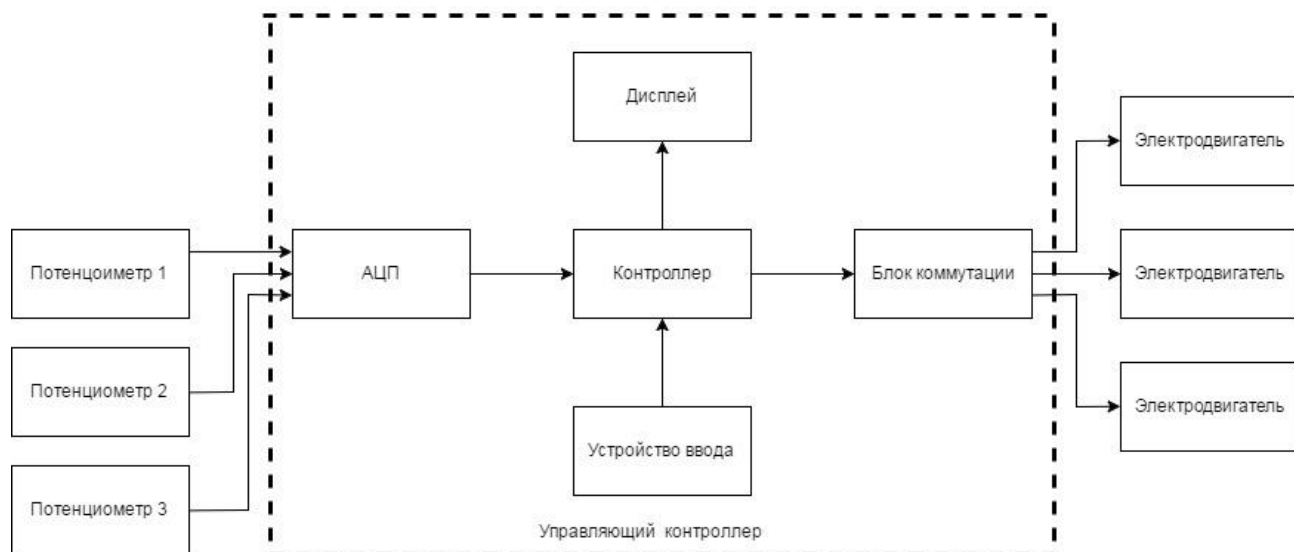


Рисунок 9 – Функциональная схема

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Вывод по второму разделу

Были предоставлены технические требования к элементам лабораторной установки. Изучен материал и определен выбор элементов.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

При выполнении измерений соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха от 15 до 35 t;
- относительная влажность воздуха от 40% до 80%;
- атмосферное давление (760±30) мм рт. ст.;
- время от момента включения электропитания до начала измерений – 0,5 ч;
- продолжительность непрерывной работы не более 4 ч.

3.1 Методика проведения экспериментальных исследований

Ознакомится с конструкцией кулачковых механизмов реальных устройств.

Ознакомится с лабораторной установкой ,её конструкцией и принципом действия.

Для того чтобы построить профиль кулачка в заданном сечении необходимо получить законы движение трех толкателей.

Для этого необходимо выставить все толкатели в заданном сечении по соответствующей шкале поворотом ручек 1₁ 1₂ 1₃.

Задавать углы поворота кулачка через каждые 10 градусов по шкале 2 с помощью ручки 2.

Определить углы поворота толкателей на дисплеи. Данные занести в таблицу 1.

По полученным данным построить график. В соответствии с графиком и известным конструкционными параметрам механизма построить профиль кулачка в заданном сечении.

Примечание конструктивные параметры кулачкового механизма представлены в таблице, приведенной на установке.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Таблица 1 – Шаблон экспериментальной таблицы

Угол поворота кулачка	Угол первого толкателя	Угол второго толкателя	Угол третьего толкателя
0			
10			

По полученным данным из таблицы составить график.

3.2 Результаты эксперимента

Расстояние на линейке равно 0 мм, углы поворота кулачка и толкателей представлены в таблице 2, профиль кулачка представлен на графике (Рисунок 10). В дальнейшем используем эти данные для получения профиля кулачка в заданных сечениях.

Таблица 2 – Углы поворота кулачка и толкателей на расстоянии 0 мм

Угол поворота кулачка	Угол первого толкателя	Угол второго толкателя	Угол третьего толкателя
0	0,05	0,15	0,25
10	0,08	0,1	0,28
20	0,68	0,65	1,13
30	2,27	1,04	2,21
40	3,6	1,28	2,27
50	4,96	1,51	2,3
60	6,12	1,57	1,91
70	7,12	1,61	1,57
80	8,2	1,6	1,6
90	9,01	1,61	0,84

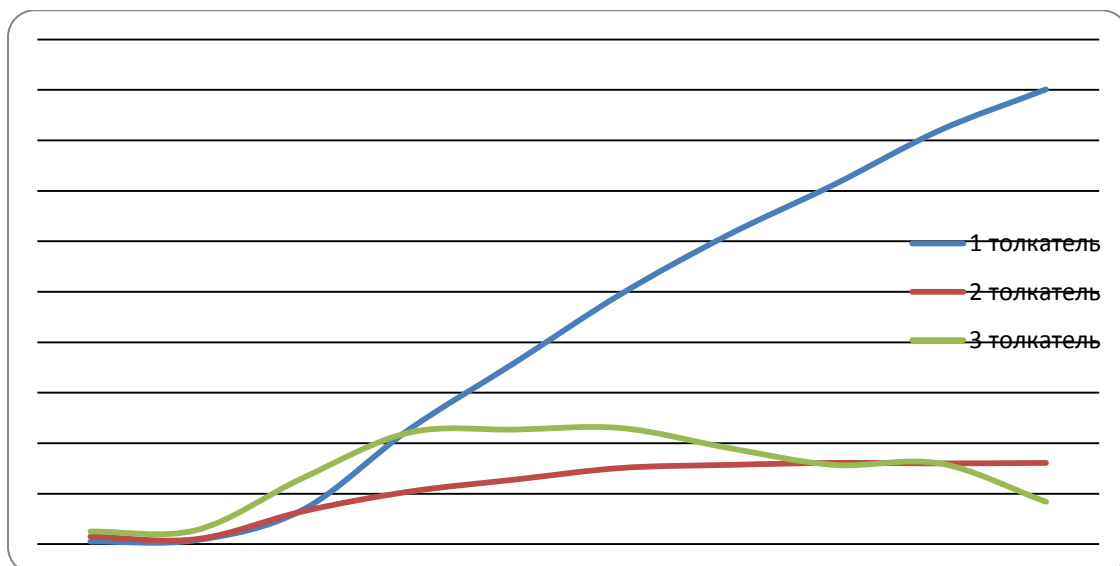


Рисунок 10 – Профиль кулачка на расстоянии 0 мм

Расстояние на линейке 2 равно 14 мм углы поворота толкателей представлены в таблице 3, профиль кулачка представлен на графике (Рисунок 11).

Таблица 3 – Углы поворота кулачка и толкателей на расстоянии 14 мм

Угол поворота кулачка	Угол первого толкателя	Угол второго толкателя	Угол третьего толкателя
0	0,02	1,2	4,8
10	0,08	1,9	9,5
20	1,5	2,7	12,06
30	3,2	3,4	13,3
40	4,8	4,1	13,7
50	6,4	4,6	13,1
60	7,9	5,03	11,9
70	9,1	5,2	10,9
80	10,3	5,2	9,8
90	11,3	5,2	8,6

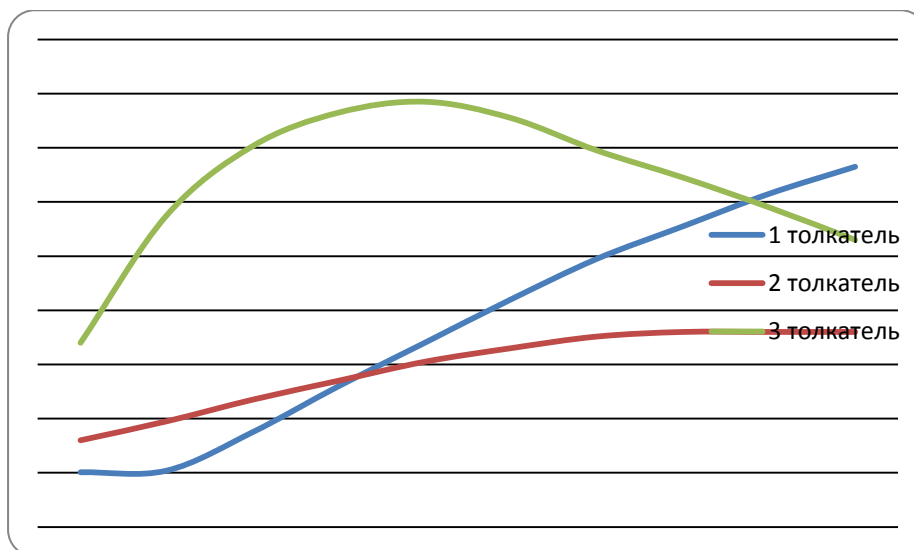


Рисунок 11 – Профиль кулачка на расстояние 14мм

Расстояние на линейке 2 равно 28 мм углы поворота толкателей представлены в таблице 4, профиль кулачка представлен на графике (Рисунок 12).

Таблица 4 – Углы поворота кулачка и толкателей на расстоянии 28 мм

Угол поворота кулачка	Угол первого толкателя	Угол второго толкателя	Угол третьего толкателя
0	0,02	2,4	6,8
10	0,05	3,4	12,03
20	2,1	4,4	15,9
30	4,2	5,8	19,03
40	6,3	6,8	21,09
50	8,05	7,9	21,3
60	9,7	8,6	20,4
70	11,4	9,2	18,9
80	12,4	9,5	17,7
90	27	24	29

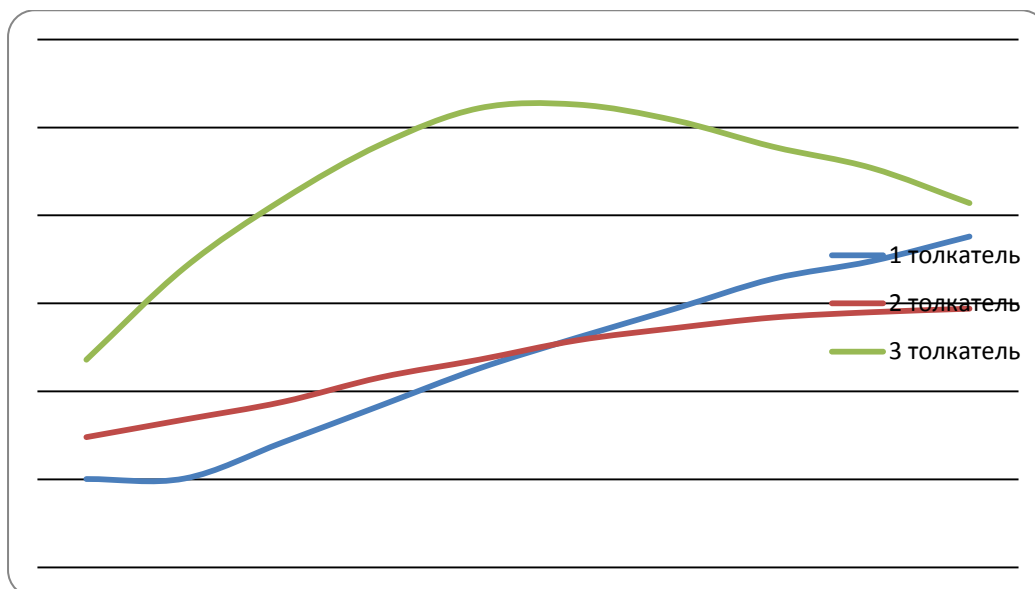


Рисунок 12 – Профиль кулачка на расстояние 28 мм

Расстояние на линейке 2 равно 42 мм углы поворота толкателей представлены в таблице 5, профиль кулачка представлен на графике (Рисунок 13).

Таблица 5 – Углы поворота кулачка и толкателей на расстоянии 42 мм

Угол поворота кулачка	Угол первого толкателя	Угол второго толкателя	Угол третьего толкателя
0	0,3	4,4	7,1
10	0,8	5,7	10,5
20	3,1	7,3	14,09
30	5,6	9,07	17,8
40	7,9	10,5	21,12
50	9,8	11,7	23,7
60	11,6	12,8	25,4
70	13,39	13,85	25,63
80	15,3	14,95	24,7
90	16,71	15,61	23,38

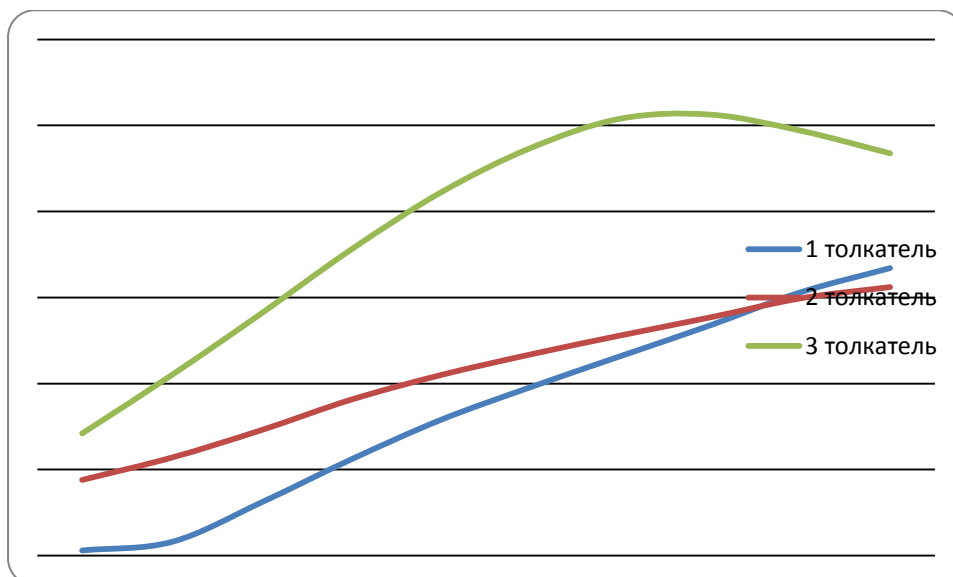


Рисунок 13 – Профиль кулачка на расстояние 42 мм

Расстояние на линейке 2 равно 56 мм углы поворота толкателей представлены в таблице 6, профиль кулачка представлен на графике (Рисунок 14).

Таблица 6 – Углы поворота кулачка и толкателей на расстоянии 56 мм

Угол поворота кулачка	Угол первого толкателя	Угол второго толкателя	Угол третьего толкателя
0	0,05	7,6	5,1
10	2,3	10,6	7,6
20	6,2	14,88	11,43
30	9,01	17,64	14,35
40	11,7	20,32	17,57
50	14,12	22,45	20,6
60	16,34	24,17	23,48
70	18,93	25,5	25,7
80	20,9	26,83	27,52
90	22,81	27,9	28,1

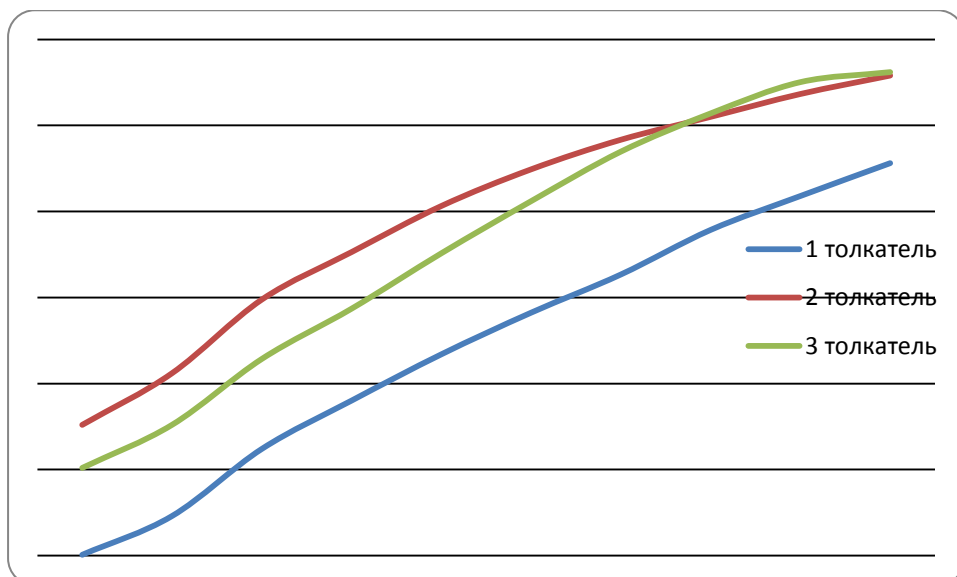


Рисунок 14 – Профиль кулачка на расстояние 56 мм

Расстояние на линейке 2 равно 70 мм углы поворота толкателей представлены в таблице 7, профиль кулачка представлен на графике (Рисунок 15).

Таблица 7– Углы поворота кулачка и толкателей на расстоянии 70 мм

Угол поворота кулачка	Угол первого толкателя	Угол второго толкателя	Угол третьего толкателя
0	1,9	9,2	2,1
10	5,8	12,8	5,1
20	9,8	16,51	8,1
30	13,65	20,06	11,43
40	16,97	23,04	14,38
50	19,46	24,17	17,1
60	22,38	27,3	20,56
70	24,5	28,69	23,01
80	26,63	30,05	25,8
90	28,7	31,1	28,4

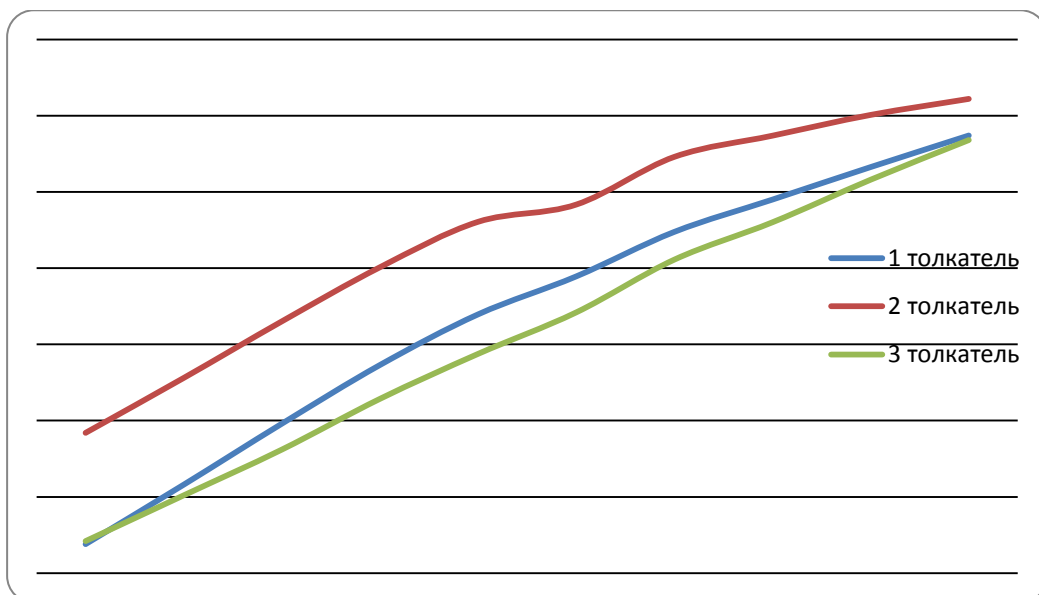


Рисунок 15 – Профиль кулачка на расстояние 70 мм

Проанализировав полученные данные, получаем профиль первого участка кулачка (Рисунок 16), профиль второго участка кулачка (Рисунок 17) и профиль третьего участка кулачка (Рисунок 18).

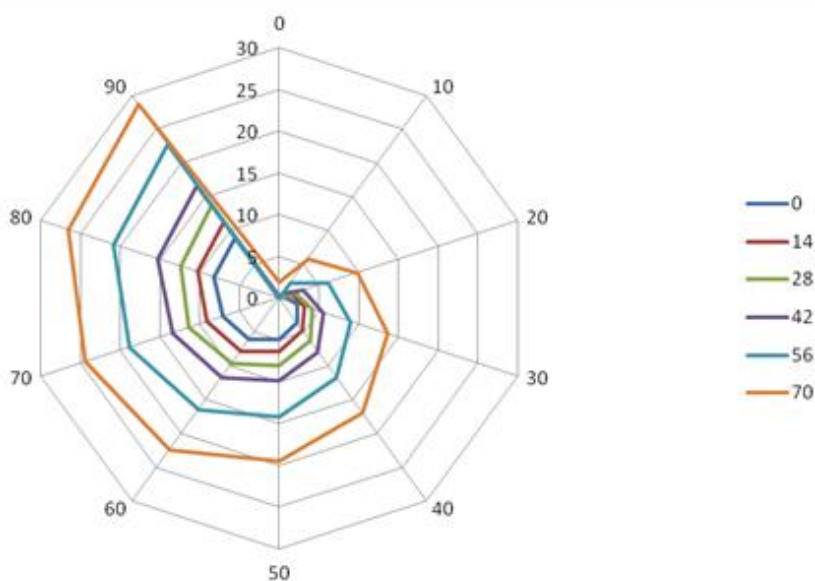


Рисунок 16 – Профиль первого участка кулачка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

12.03.01.2018.1894.ПЗ

Лист

52

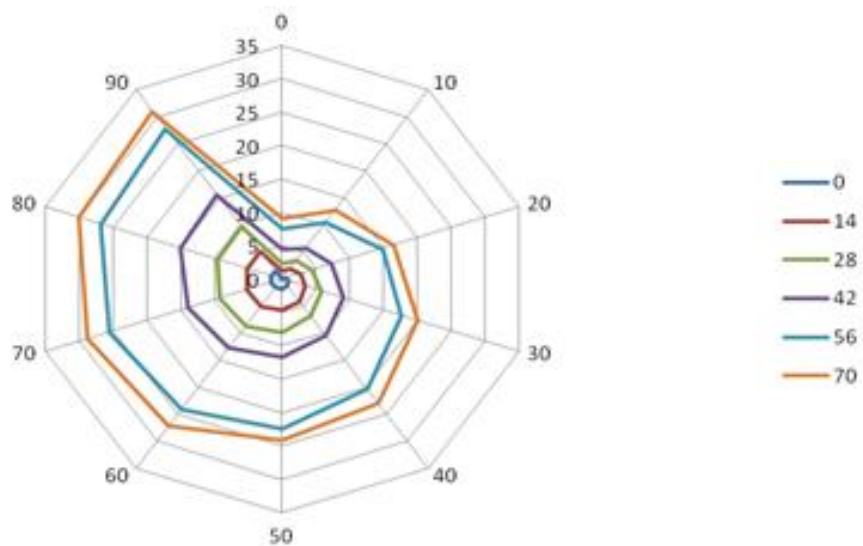


Рисунок 17 – Профиль второго участка кулачка

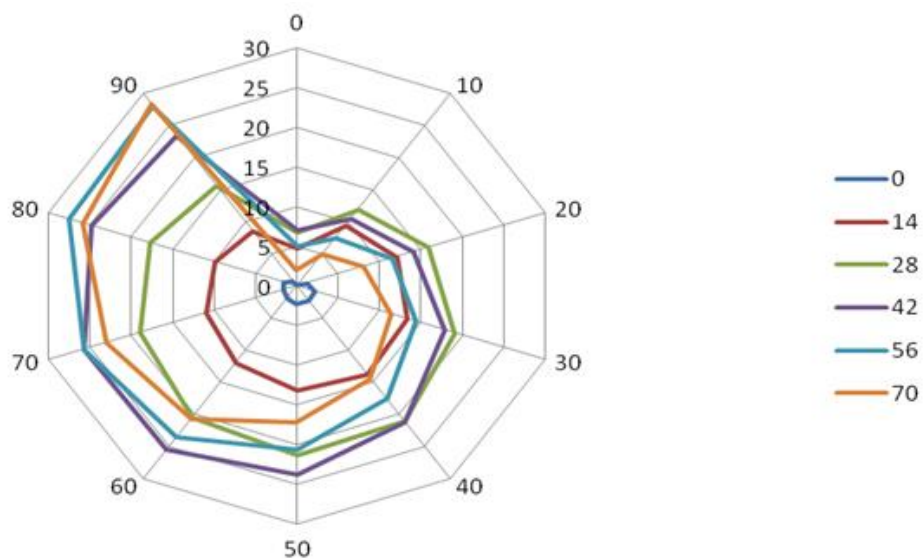


Рисунок 18 – Профиль третьего участка кулачка

На данных рисунках приведены 6 положений толкателей с равным интервалом. Представлены профили трех участков кулачка. Разность между ними обусловлена различными профилями кулачкового механизма.

Выводы по разделу три

Проведен опыт по определению профиля кулачка, представлены результаты опыта, построен профиль кулачка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе разработана лабораторная установка для изучения функциональных свойств пространственных кулачковых механизмов. В результате выполнения работы :

1) при изучение аналогов были рассмотрены различные схемы и способы исследования и выбрана собственная схема установка, т.к. рассмотренные лабораторные комплексы выполняют довольно широкий диапазон измерение и испытаний, в то время как нам необходима установка с более узким спектром работы. Для работы установки выбран микроконтроллер Arduino так как он является наименее зависимым от дополнительного оборудования и удобен в программирование;

2) разработаны функциональная и структурная схема установки. Была написана программа для преобразования аналогового сигнала в цифровой;

3) проведены 6 экспериментов, результаты которых представлены в виде таблиц и графиков;

4) при исследование структуры кулачкового механизмы с тремя толкателями были получены три различных профиля кулачка;

5) особенностью функционирования установки является преобразование аналогового сигнала в цифровой.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РМГ 29-99 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. Введен 01.01.2001 – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 32 с.
2. Данилов, А.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Учебное пособие / А.А. Данилов. – Пенза: Профессионал, 2008. – 63 с.
3. Фридман, А. Э. Основы метрологии. Современный курс / А. Э. Фридман. – СПб. НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.
4. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. [Текст]: М.: Изд-во Стандартов, 1997. - 11 с.
5. ГОСТ 34.602-89 Техническое задание на создание автоматизированной системы. [Текст]: М.: Изд-во Стандартов, 1997. - 18 с
6. ГОСТ 8.009-84. Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. Введен 01.01.1986. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 27 с.
7. Р. Тиль, Электрические измерения неэлектрических величин/Р. Тиль. – М. Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.
8. Кобринский, А.Е. К выбору закона движения толкателя// Труды семинара по ТММ М., 1950. Т. IX. - Вып. 35.
9. Красников, В.Ф. Некоторые вопросы анализа и синтеза кулачковых механизмов с учетом точности их изготовления/ Сб. «Анализ и синтез механизмов и теория передач». М.: Наука, 1965.
10. Кулаичев, А.П. Компьютерный контроль процессов и анализ сигналов: учебное пособие /А.П.Кулаичев — М.: Информатика и компьютеры, 1999. 291 с.

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

11. Левитский, Н.И. Кулачковые механизмы. М.: Наука, 1964. - 287 с.
12. Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин: .справочное пособие/ М.: Наука, 1990. - 592 с.
13. Лурье, А.И. Теория упругости: Учебное пособие/ А..И. Лурье М.: Наука, 1970. 256с
14. Белоконов, И.М. Механика машин. Расчеты с применением ЭЦВМ: учебное пособие / Под ред. Заблонского К. И. – Киев: Вища школа, 1978. 232 с.
15. Мухелишвили, Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости: учебное пособие/ Н.И. Мухелишвили.- М.: Наука, 1966.
16. Шилдт, Г. С# 4.0. Полное руководство [Текст]: учеб. пособие \ Г. Шилдт – М.: Вильямс, 2015. – 1056 с.
17. Троелсон, Э. Контактная прочность и сопротивление качению [текст]: учеб. пособие / Э. Троелсон – М.: Вильямс, 2016. – 1440 с
18. Подбельский, В.Г. Язык С# [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Подбельский – М.: ИНФРА-М, 2015. - 382 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А
Листинг программы

```
#include<Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

int PotenciometrPin = A0; // select the input pin for the potentiometer

int PotenciometrPin1 = A1;

int PotenciometrPin2 = A2;

int Value=0;

int Value1=0;

int Value2=0;

float Value_volt=0;

float Value_volt1=0;

float Value_volt2=0;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f,16,2); // Устанавливаем дисплей

void setup()

{

  lcd.init();

  lcd.backlight();// Включаем подсветку дисплея

  lcd.print("Potenciometr");

  delay(1000);

}
```

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

```
void loop()
{
  {
    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Potenciometr1");

    // Устанавливаем курсор на вторую строку и нулевой символ.

    lcd.setCursor(0, 1);

    // Выводим на экран значение с аналогового входа (от 0 до 1024
    пропорционально от 0 В. до 5 В.)

    Value = analogRead(PotenciometrPin);

    lcd.print(Value);

    lcd.setCursor(7, 1);

    Value_volt=(float)5/1025*Value/(-0.147)+33;

    lcd.print(Value_volt);

    delay(1000);

  }

  {

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Potenciometr2");

    // Устанавливаем курсор на вторую строку и нулевой символ.
```

```
lcd.setCursor(0, 1);

// Выводим на экран значение с аналогового входа (от 0 до 1024
пропорционально от 0 В. до 5 В.)

Value1 = analogRead(PotenciometrPin1);

lcd.print(Value1);

lcd.setCursor(7, 1);

Value_volt1=(float)5/1025*Value1/(-0.147)+33;

lcd.print(Value_volt1);

delay(1000);

}

{

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Potenciometr3");

// Устанавливаем курсор на вторую строку и нулевой символ.

lcd.setCursor(0, 1);

// Выводим на экран значение с аналогового входа (от 0 до 1024
пропорционально от 0 В. до 5 В.)

Value2 = analogRead(PotenciometrPin2);

lcd.print(Value2);

lcd.setCursor(7, 1);

Value_volt2=(float)5/1025*Value2/(-0.147)+33;
```



```
lcd.print(Value_volt2);
```

```
delay(1000); }}
```

					12.03.01.2018.1894.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60