

## **КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЦИФРОВОЙ ВИДЕОЗАПИСИ.**

Гурьянова Евгения Андреевна, Лабанова Надежда Николаевна,  
Харитонов Эдуард Валерьевич  
*студенты 3 курса, дневное отделение*  
*Российская Федерация, г. Москва, Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, кафедра «Оборудование и технологии обработки давлением»*

Научные руководители: Вуколов А.Ю. – аспирант 2 года, заочная форма;  
Головин А.А. – д.т.н., профессор кафедры «ТММ»

Одной из актуальных задач вычислительной кинематики является задача исследования кинематики механических систем, «как есть», в нормальной рабочей среде. Одним из способов решения проблемы является использование цифровой видеозаписи с последующим анализом результатов. Чрезвычайно предпочтительно использовать при этом только широко распространенное дешевое оборудование и процесс обработки без сложного программирования, математического обеспечения и составления оригинальных алгоритмов. В этой работе был описан процесс восстановления кинематики рычажного механизма штамповочного прессы по результатам цифровой видеосъемки. Видео было снято во время нормального процесса производства, ошибки, обусловленные сложными условиями съемок, были рассмотрены, должным образом обработаны и при возможности скомпенсированы. Единственный достоверно известный параметр - длина хода ползуна прессы.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.**

Целью данной работы является определение кинематических параметров и/или схемы неизвестного рычажного механизма штамповочного прессы по результатам цифровой видео съемки. Единственным известным параметром были длина хода ползуна прессы.

Возможно напрямую наблюдать только одно механическое движение прессы - выходной диады второго порядка (шатун-ползун). Шатун прикреплен к внешней шатунной точке неизвестного механизма (рис. 1).

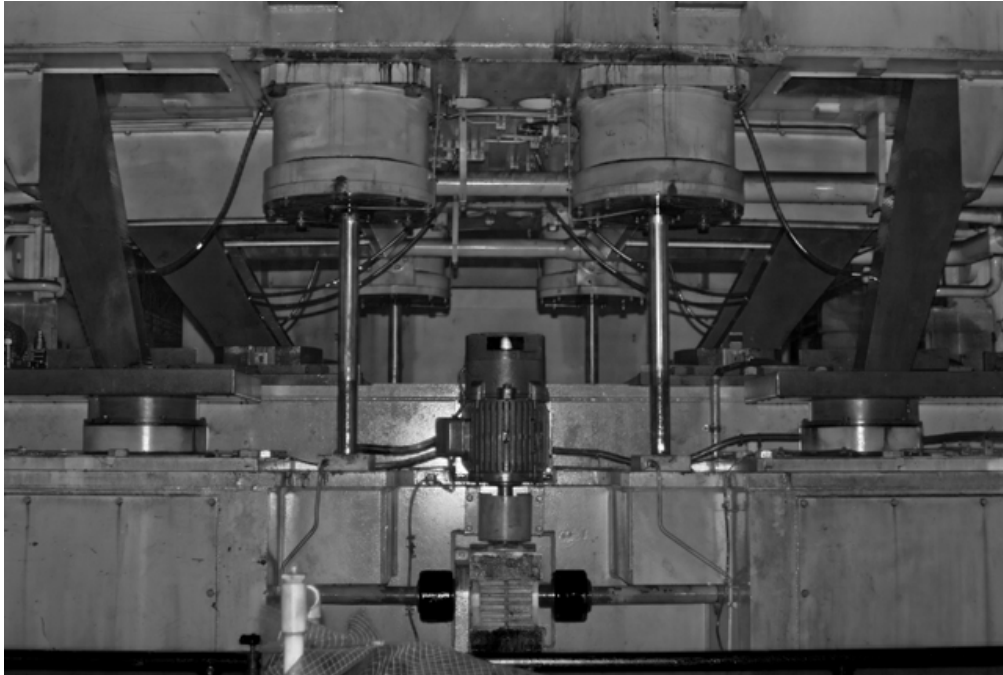
Результаты процесса обработки видео состоят в следующем:

- Цикловые и скоростные диаграммы движения ползуна и шатуна;
- Диаграмма фазовой траектории ползуна;
- Диаграмма шатунной кривой.

По полученным результатам возможно реализовать приближенный синтез механизма прессы.

### **ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ЗАПИСИ.**

Видеозапись была выполнена при очень трудных условиях во время производственного процесса, без дополнительного освещения, установки оптических регистрационных меток, специальных методов временной синхронизации. Использовалась камера Panasonic DV-GS180 с тремя CCD-матрицами и призматическим цветоделением, встроенный DV-стример. На выходе камеры видеопоток DVSD 4:3 PAL, чересстрочная развертка, со сжатием без потерь, разрешением 720x576 пиксел. Чтобы выполнить первичный анализ, видеопоток был обработан с помощью бесплатного программного обеспечения (фильтр компенсации чересстрочности TomsMoComp). Финиш-поток (для демонстрации) – выдавался в формате MPEG1, 2000 Кбит/сек. Вся промежуточная обработка выполнялась в программной среде Pinnacle Studio 10.7 Titanium Edition.

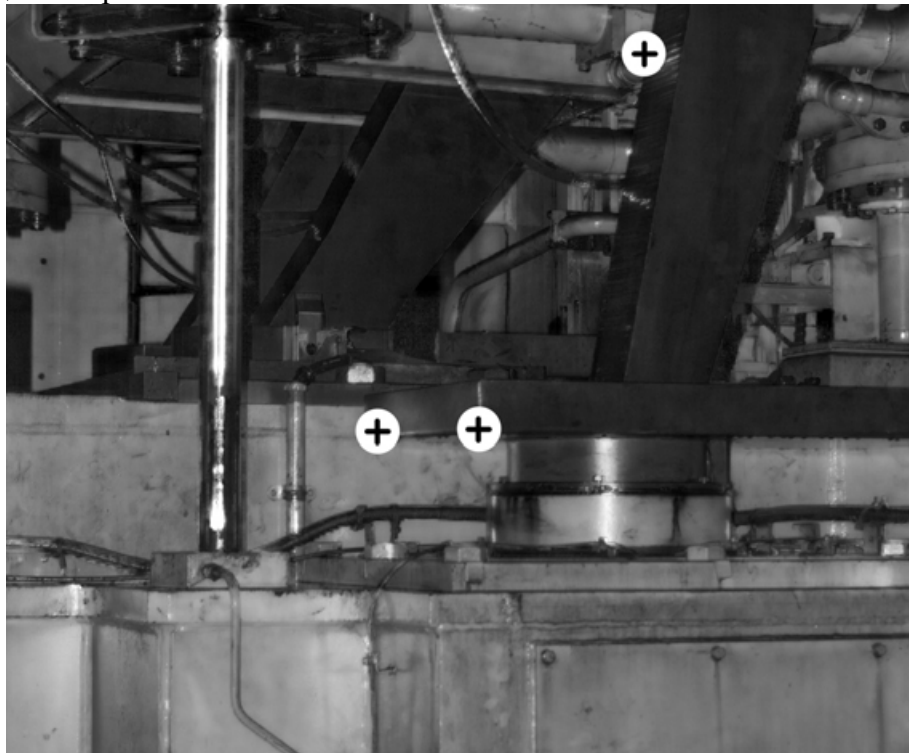


**Рис. 1. Видимые части механизма штамповочного пресса.**

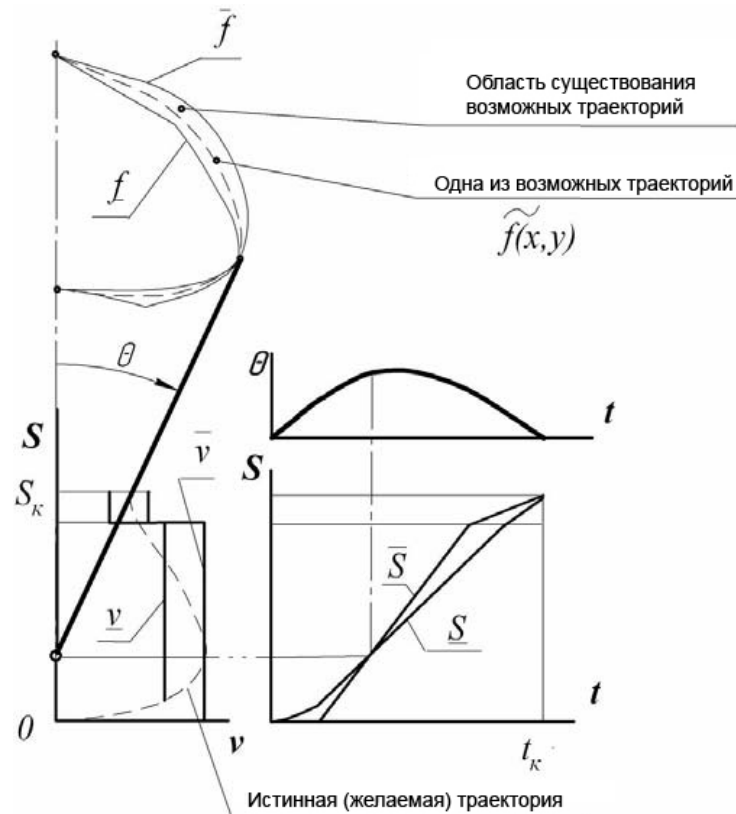
## **ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.**

Во время обработки видеопотока должны быть получены кинематические характеристики движения видимых частей механизма. При отсутствии специальных регистрационных меток единственным способом получить их является выделение легко отслеживаемых контрастных характерных точек. Для выделенных характерных точек внутри специально выделенных последовательностей кадров видеозаписи определяются приращения экранных координат и фактические масштабы. Далее определяются вектора перемещения и скоростей точек (рис. 2). Для более точного определения указанных характеристик выполняется статистический анализ результатов. За истинный результат принимается средний для данной последовательности кадров. Максимальная длина последовательности кадров в данной работе - 10. Фактическая длина последовательности варьируется в зависимости от положения ползуна. Внутри выбранной последовательности значение кинематических характеристик выбрано постоянными. Полное описание процесса измерений геометрических параметров приведено в работе [2]. Точность получаемых результатов зависит от качества оптики камеры, чувствительности и скорости слежения систем автофокусировки. Описание методики расчета фазовой траектории ползуна приведено в работе [1].

Для построения графика требуется знать зависимость перемещения ползуна и скорости от времени. Следующий шаг – параметрическое приведение массивов значений к виду, допускающему аппроксимацию полиномами. Приведение выполняется процессором MathCad. Для восстановления шатунной кривой применяется аналогичное преобразование зависимости углового перемещения шатуна от времени. При известной длине шатуна данный метод дает приемлемую точность. Графическая интерпретация метода приведена на рис. 3.



**Рис. 2. Пример выбора контрастных характерных точек.**



**Рис. 3. Графическая интерпретация примененного метода восстановления шатунной кривой.**

### ОБРАБОТКА ВОЗНИКАЮЩИХ ОШИБОК.

Процесс обработки возникающих ошибок учитывал:

- Малый общий контраст изображения. Величина ошибки зависит от условий освещения. Ошибка компенсируется повышением контрастности изображения при обработке. Максимальная возникающая ошибка определения геометрических параметров – не более 0.1%.
- Шумы устройств ввода (CCD-матриц). Уровень возникающих ошибок измерен с большой точностью. Компенсация - статистической обработкой сигнала. Максимальная величина ошибки оценена в 3.7 пиксела на сжимаемый фрагмент кадра (16x16 пикселей), что соответствует 2.5% эффективной ошибки определения геометрических параметров.
- Различия во времени чтения полей кадра. Ошибка сложна для обработки, частично компенсируется фильтром TomSMoComp (построчная компенсация смещения полей), уровень возникающих погрешностей зависит от скорости отслеживаемого звена и расположения оси отслеживания на поле кадра. На шатуне ошибка компенсируется автоматически за счет высокой точности отслеживания по оси X. Максимальная возникающая ошибка определения скоростей – не более 1% - только по оси Y.
- Аберрация в оптической системе. В оптике применяемой камеры аберрация практически устранена.
- Смещения точки съемки из-за податливости основания прессы. Максимальный уровень ошибки возникает в нижней мертвой точке хода ползуна. Компенсация – полная, за счет идеализированности восстановленной

по результатам расчетов схемы механизма, фактические значения ошибок – не более 2% по скоростям, до 5% по геометрическим параметрам.

- Различие между реальной и заявленной длиной хода ползуна. Ошибка не поддается компенсации, т. к. неизвестна полная схема исследуемого рычажного механизма.
- Артефакты сжатия и промежуточной обработки видео. Не требует компенсации по причине очень малых величин возникающих ошибок.
- Искажение формы шатунной кривой за счет вязко-упругой характеристики основания прессы. Максимальное искажение возникает сразу после снятия нагрузки ползуна (нижней мертвой точки). Компенсация ошибки требует дополнительного оборудования. Значение возникающей ошибки – максимум 5.8% - после прохождения нижней мертвой точки, минимум – 1% - в середине хода ползуна. Ошибка возникает как при определении скоростей, так и при определении геометрических параметров.

Итоговые значения ошибок определены на уровне:

- 6.3% по геометрическим параметрам;
- 2.7% при измерениях скоростей.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.

На рис. 4-6 показаны графики экспериментальных и аппроксимированных идеальных кривых. Некоторые графики совмещены для более наглядной иллюстрации возникающих ошибок.

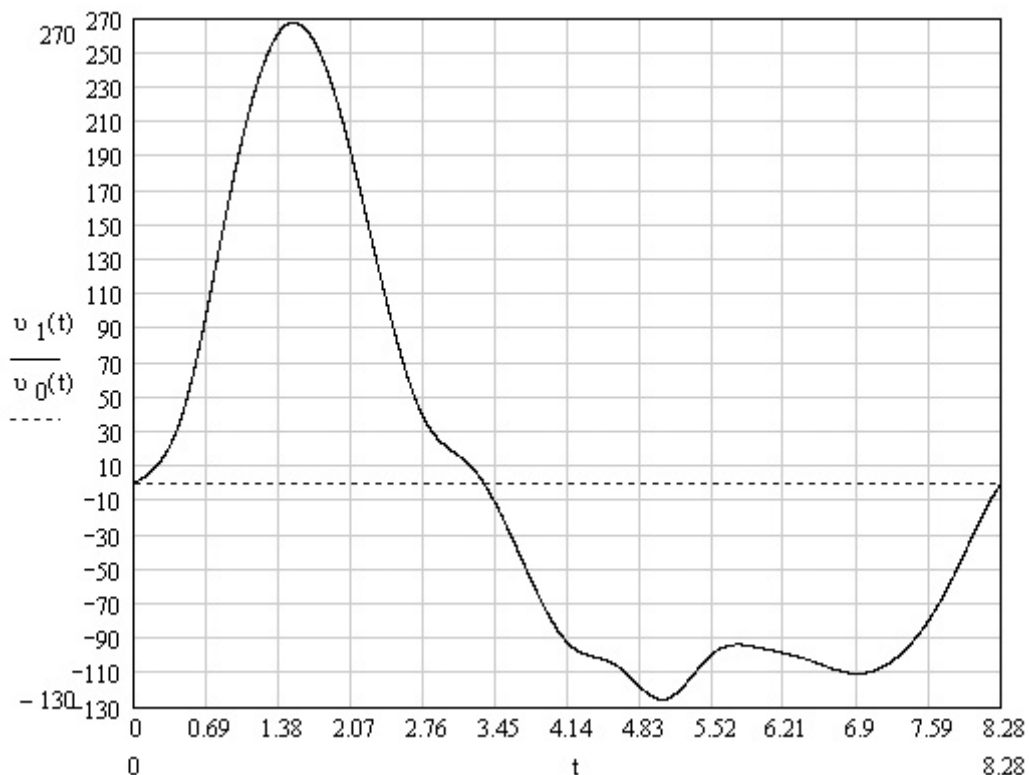
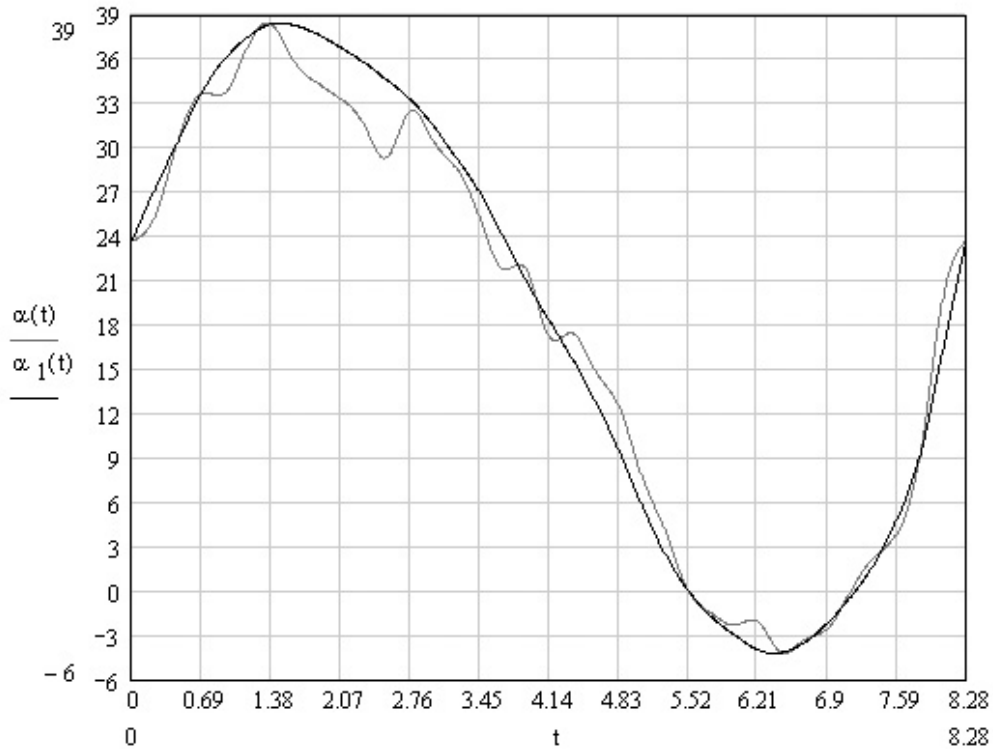
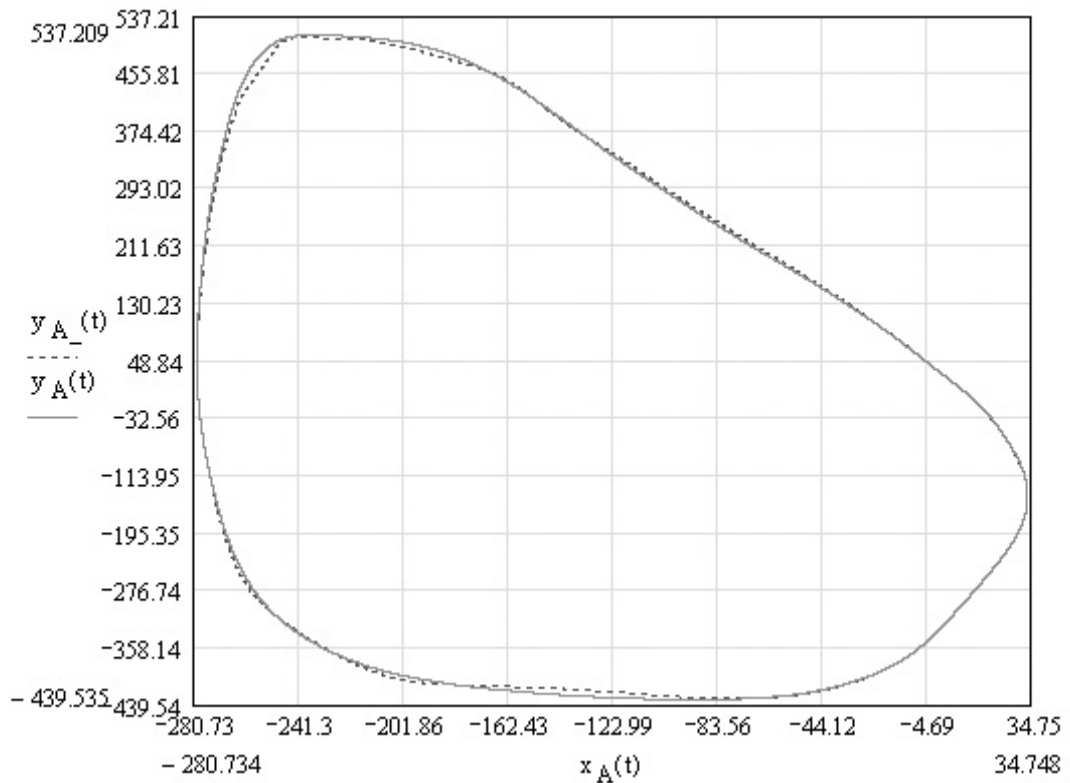


Рис. 4. Экспериментальная зависимость скорости ползуна от времени.



**Рис. 5. Экспериментальная зависимость углового перемещения шатуна от времени, совмещенная с аппроксимированной идеальной кривой.**

Описание и математическое обоснование процесса восстановления шатунной кривой приведено в работе [1].



**Рис. 6. Шатунная кривая, аппроксимированная по результатам обработки экспериментальных данных, совмещенная с экспериментальной.**

Как показано на приведенных графиках, на шатунной кривой и фазовой траектории имеются зоны с максимальным уровнем ошибок. В этих зонах синтез механизма невозможен из-за возникающей неоднозначности в определении структуры кинематической цепи. Кроме того, на графике скорости движения ползуна внутри одного хода заметен локальный максимум. Он возникает при прохождении упругой волны в основании прессы.

## **ВЫВОДЫ.**

Разработанный метод позволяет восстанавливать шатунную кривую неизвестного рычажного механизма по видеосъемке, содержащей данные для восстановления полной траектории движения хотя бы двух характерных (отслеживаемых) точек на разных звеньях. Метод апробирован на восстановлении шатунной кривой штамповочного прессы. Успешность применения метода обоснована в данной работе. Перспективы возможного применения метода:

- Применение в робототехнических системах (простая и малоресурсоемкая реализация схемы распознавания препятствий и отслеживания движения объектов в поле зрения);
- Применение в медицинских и спортивных целях (оптимизация и выработка походок, терапевтическая реализация схемы нейрозамещающего и нейроуправляемого протезирования);
- Применение в разведывательных и научно-исследовательских целях (восстановление структуры неизвестных механизмов, в том числе с изменяемой структурой, биологических и биомеханических систем);

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Головин А.А. Проектирование сложных рычажных механизмов: Учеб. пособие по курсу «Теория механизмов и машин». – М.: Изд-во МГТУ, 1995. – 76 с., ил.
2. A. Golovin, A. Lafitsky, A. Simuskhin, EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH OF CAMS WEARING OF CAMS MECHANISM //Proceeding of 2nd International Conference EuCoMeS-2008 /Edited by Marco Ceccarelli. – Springer. – 2008. – Pp. 107-119.