

Результаты последовательного чисто температурного и расчета напряжений и деформаций при заданном распределении температур подтверждают предположение о 4-х этапах нагрева заготовки с инструментом.

Чтобы устранить «закусывание» инструмента, представляется разумным изменить форму патрона. Логично сделать профиль патрона близким к линии равного потока тепла. Это дает профиль, имеющий форму обратной экспоненты или квадратной параболы (адекватность соответствующих регрессионных моделей близка к 95-98%).

Из соображений технологичности лучше заменить плавные кривые на прямую линию, что соответствует конической форме патрона. Расчет показывает, что угол конуса должен составлять около  $3-10^\circ$ , что соответствует углам в патронах фирм-производителей.

*А.И. САМАРКИН, Е.И. САМАРКИНА*

### **ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ВИНТА МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В статье рассмотрена методика обратного проектирования воздушного винта, используемого в конструкции мотодельтаплана.

В настоящее время все большую популярность приобретают активные виды отдыха, которые подразумевают, помимо прочего, использование дорогостоящего наукоемкого и технически сложного оснащения. Для занятия мотодельтапланеризмом, в частности, необходимы воздушные винты. В типичной конструкции мотодельтаплана винт устанавливается на вал редуктора с приводом от двигателя внутреннего сгорания мощностью 36-40 л.с. и вращается с частотой около 2500 об/мин при диаметре винта 1250-1500 мм. Винты могут быть трех и двухлопастными, изготовленными из дерева (клееный брус), углепластика или комбинированными, причем к поверхности лопастей предъявляются повышенные требования по шероховатости для снижения аэродинамических потерь.

В зависимости от конкретных условий работы и целей требуются винты с некоторыми вариациями по размеру и форме. При эксплуатации винт изнашивается, вследствие трения о воздух и контакта с твердыми частицами, поэтому на один летательный аппарат требуется несколько воздушных винтов, однако «фирменные» изделия отличаются высокой ценой и не всегда подходящими летными качествами. Таким образом, у специализирующихся в этой области предприятий существует потребность в изготовлении и расчете воздушных винтов.

Хотя обзор методик расчета воздушных винтов находится за рамками настоящей работы, следует привести ряд основных положений, восходящих еще к Н.Е. Жуковскому. Как известно, при обтекании воздухом профиля крыла над его верхней стороной возникает разреженная область, что и ведет к созданию подъемной силы. Существует ряд «типовых» профилей, которые применяются в практике проектирования, названные по разработчикам их геометрии (например, RAF – royal airforce – королевские воздушные силы Британии, ЦАГИ – центральный аэрогидродинамический институт, NASA – National Advisory Committee for Aeronautics).

Профили NASA обозначаются 4-х или 5 цифровым индексом, по которому можно рассчитать координаты точек верхней и нижней дуги профиля, поэтому именно профили NASA часто используют в специализированных САПР. Индекс характеризует: относительную толщину профиля к длине его хорды, асимметричность над и под хордой и положение максимальной толщины на хорде.

Так как размеры сечений связаны с радиусом и определяются помимо индекса длиной хорды, то координаты точек сечения рассчитываются в относительных единицах (обычно в процентах длины хорды), а длина хорды – в отношении к радиусу сечения.

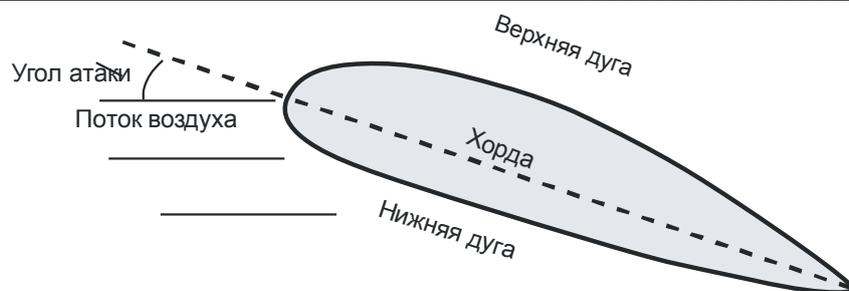


Рис. 1.

Профили воздушного винта в радиальных сечениях рассматриваются как профили сечения плоского крыла. Лопасть винта в движении «ввинчивается» в воздушный поток, поэтому все сечения винта за оборот должны пройти одинаковое расстояние по оси («поступь» винта), и, следовательно, угол атаки сечений в зависимости от радиуса и поступи меняется. В частности, на оси угол атаки равен  $\pi/2$  и близок к нулю на наружном радиусе винта. Поверхность лопасти винта, следовательно, представляет сложную геликоидальную поверхность переменного шага.

Помимо угла атаки, в зависимости от радиуса сечения меняется ширина хорды и относительная толщина сечения. Как выбор оптимального профиля, так и закон изменения ширины хорды по радиусу винта, а также прочие необходимые для проектирования параметры сечений в доступной литературе не освещены с достаточной полнотой, а имеющиеся рекомендации носят в лучшем случае эмпирический характер. В связи со сказанным, было решено воспользоваться методом обратного проектирования. Под обратным проектированием (reverse engineering) в системах автоматизированного проектирования (САПР) понимается создание аналога изделия путем анализа и образца и копирования его элементов. За образец был принят «идеальный» винт одного из зарубежных производителей, обладающий наилучшими летными характеристиками (скорость и тяга).

Последовательность проектирования, в идеальном случае, следующая: измерение координат точек поверхностей изделия (формирование «облака точек»), построение поверхности лопасти по облаку точек, разработка управляющей программы и изготовление винта.

К сожалению, непосредственное измерение координат сечений с приемлемой точностью оказалось невозможно из-за размеров изделия, поэтому измерялись: радиус сечения, длина хорды и характерные для профиля НАСА характеристики.

Данные измерений были подвергнуты статистической обработке. Так, зависимость длины хорды от радиуса аппроксимировалось полиномом третьей степени, причем адекватность модели составила около 99%. Аналогично было выполнено сглаживание относительных толщин сечений и их асимметрии. По результатам обработки удалось построить адекватные зависимости, по которым в зависимости от радиуса сечения и поступи винта можно рассчитать:

- Угол атаки сечения;
- Длину хорды;
- Относительную толщину сечения;
- Асимметрию профиля (практически константа для измеряемого образца)
- Положение точки максимального изгиба (константа для сечений на внешних  $2/3$  радиуса).

Ниже приведен фрагмент расчета одного из сечений:

Фрагмент расчета $m$	Комментарии
$m := \frac{6}{100}$ $p := \frac{3}{10}$ <p>Радиус расположения сечения <math>rc := 148</math></p> <p>Относительный радиус <math>\frac{rc}{R} = 23.492\%</math></p>	<p>Параметры сечения по результатам измерений</p> <p>Радиус сечения</p>
<p>Длина хорды <math>c := \text{chord}(rc)</math> <math>c = 80.128</math></p> <p><math>t := \frac{t\_chord(c)}{100}</math> параметр <math>t</math> сечения рассчитывается по промерам</p> <p>Угол поворота сечения <math>\varphi := -\text{fi}(rc)</math> <math>\varphi = -27.883 \text{ deg}</math></p>	
$y_c(x) := \begin{cases} \frac{m}{p^2} \cdot (2 \cdot p \cdot x - x^2) & \text{if } x \leq p \\ \frac{m}{(1-p)^2} \cdot [(1-2 \cdot p) + 2 \cdot p \cdot x - x^2] & \text{otherwise} \end{cases}$ <p><math>y_{cx_i} := y_c(x_i)</math></p> $y_t(x) := (0.2969\sqrt{x} - 0.126x - 0.351x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4) \cdot \frac{t}{0.2}$ <p><math>y_{tx_i} := y_t(x_i)</math></p>	<p>Расчет центральной линии сечения</p> <p>Расчет верхней и нижней дуги профиля в относительных координатах</p>
$xU_i := (x_i - y_t(x_i) \cdot \sin(\theta(x_i))) \cdot c$ $yU_i := (y_c(x_i) + y_t(x_i) \cdot \cos(\theta(x_i))) \cdot c$ $xL_i := (x_i + y_t(x_i) \cdot \sin(\theta(x_i))) \cdot c$ $yL_i := (y_c(x_i) - y_t(x_i) \cdot \cos(\theta(x_i))) \cdot c$	<p>Расчет верхней (индекс U) и нижней (индекс L) линии сечения</p>

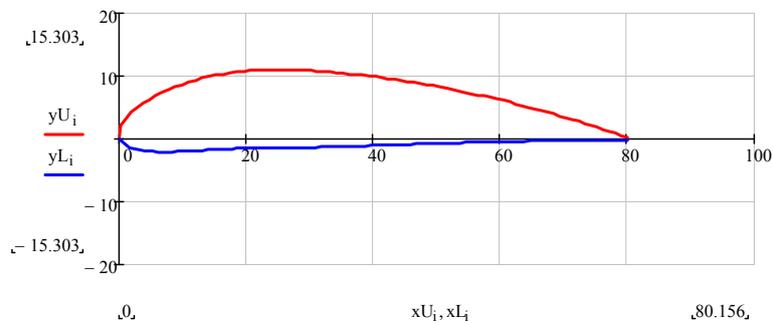


Рис. 2. Профиль без учета поворота на угол атаки

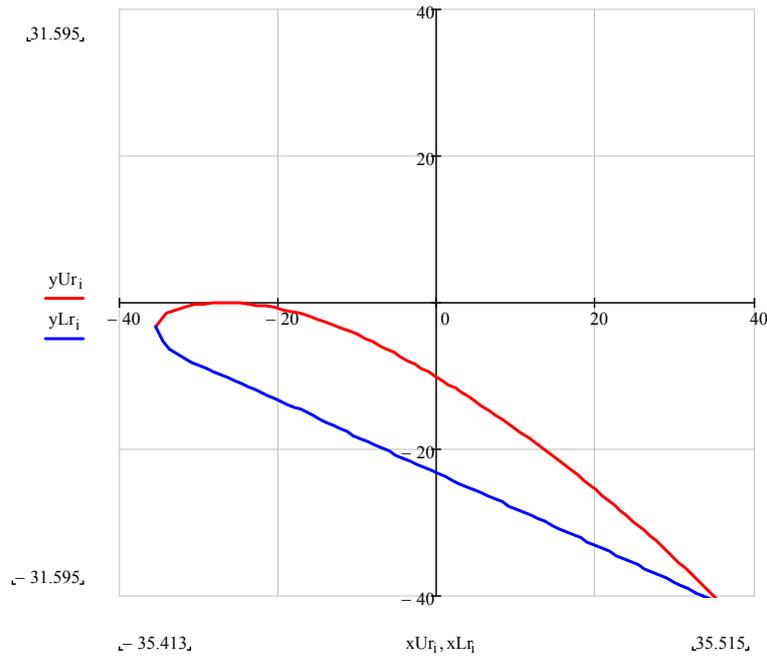


Рис. 3. Положение профиля после разворота на угол атаки и смещения по осям координат

Изготовленные по расчетам шаблоны показали, с одной стороны – хорошее совпадение с реальной геометрией винта на наружных  $2/3$  радиуса, с другой стороны – существенные расхождения с профилями на внутренней части лопасти, что связано с особенностями установки винта на приводной вал (необходимо выполнить привалочную плоскость) и тем, что винт мотodelьтаплана толкающий, а не тянущий. В связи со сказанным, расчеты профилей первой трети радиуса были скорректированы.

Для проектирования управляющей программы обработки необходима трехмерная модель винта. Следовательно, необходимо создать связь между результатами расчетов и трехмерной моделью винта в САПР.

Поскольку современные САПР (например, Компас или Solid Works) являются параметрическими, было принято решение создать мастер-модель винта. Поверхность лопасти в модели формируется как элемент, собранный по сечениям. Контуры сечений получаются из проекций специального инструмента моделирования – кривых по координатам точек  $X, Y, Z$ . Особенностью этого инструмента является его привязка к данным (координатам точек), которые хранятся во внешнем файле текстового формата. Последовательность формирования винта, таким образом, имеет следующий вид, показанный на рисунке.

Благодаря ассоциативности геометрии и данных, после внесения изменений в расчеты (в ограниченных пределах) модель винта перестраивается автоматически. При серьезных изменениях (разное количество сечений, разное количество расчетных точек в одном сечении) необходимо некоторое количество ручной доработки.

В связи с дешевизной исходного материала и особенностями организации производства на предприятии-производителе винты изготавливаются из деревянного клееного бруса. Этот материал является легко обрабатываемым, достаточно легким и прочным.

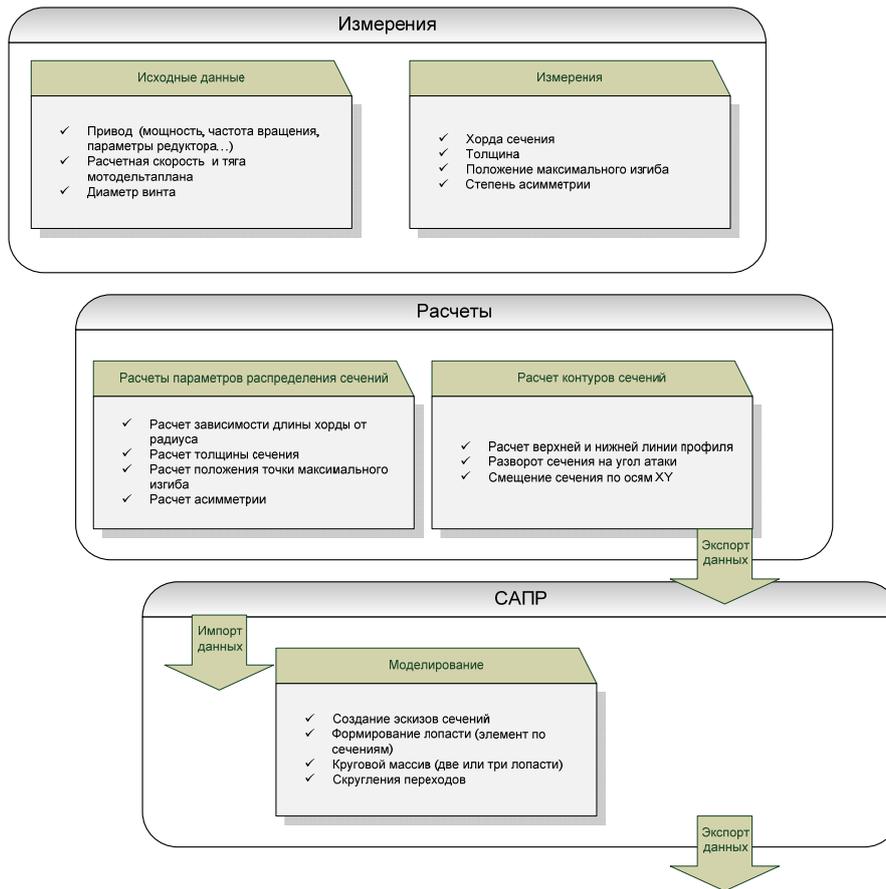


Рис. 4

Для изготовления винтовой поверхности необходим станок с числовым программным управлением (ЧПУ) и числом одновременно управляемых координат не менее 4-х (blade milling), однако такое оборудование весьма дорого.

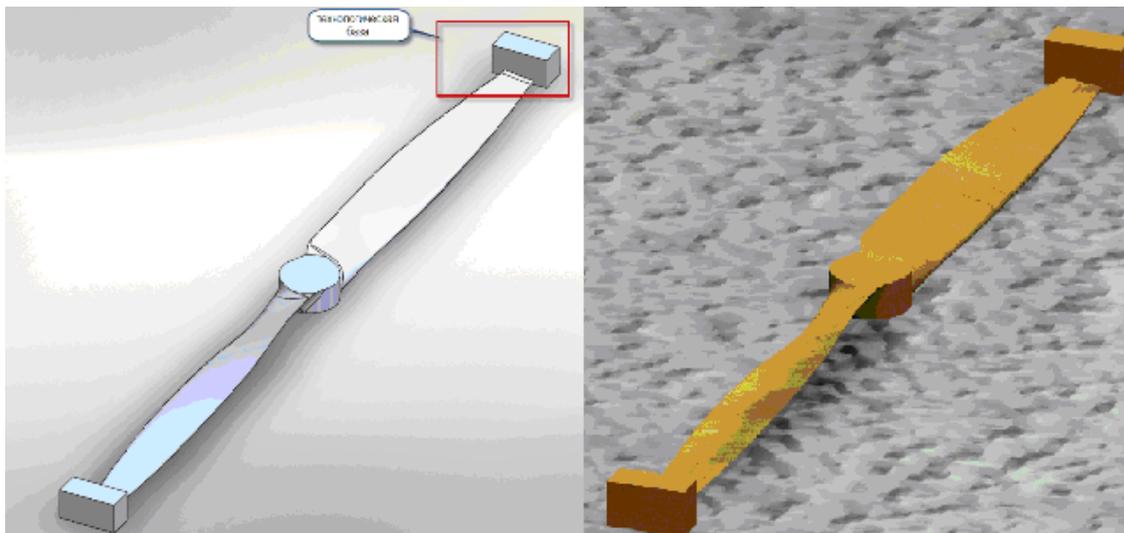


Рис. 5

Имеющийся в наличии фрезерный станок с ЧПУ позволяет одновременно управлять 3-мя координатами и использует собственное программное обеспечение (ПО) для управления станком и моделирования, причем это ПО обладает ограниченными возможностями в точном моделировании сложной геометрии и не читает ни одного из распространенных форматов трехмерных моделей САПР

(Parasolid, ACIS, Solid Works, IGES). В связи с этим существует проблема импорта трехмерной геометрии винта из конструкторской САПР в ПО станка.

Поверхность лопасти может быть условно разделена на три зоны обработки: пологие (угол наклона 0-15 градусов), крутые (угол наклона 90-60 градусов) и со средним уклоном. В зависимости от зоны рекомендуется разная стратегия обработки и, следовательно, модель должна содержать границы указанных зон.

Решение было найдено в экспорте модели винта с разделением на зоны обработки в два формата: полигональный формат стереолитографии (формат STL) и формат обмена геометрией AutoCAD (Data Exchange Format – DXF). Первый экспортирует геометрию модели в виде массива полигонов с приемлемой (не более 0,1 мм) точностью. Второй сохраняет линии разделения зон.

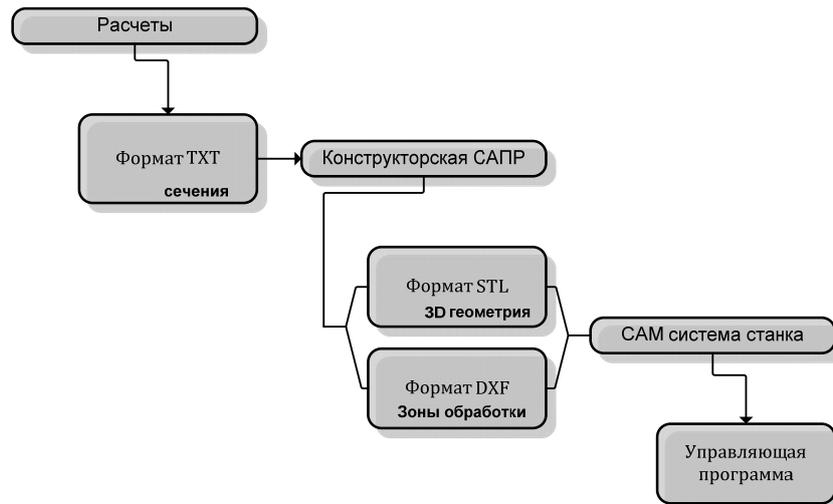


Рис. 6

После двойного импорта моделей удалось получить импортированные поверхности лопастей винта под обработку с достаточным качеством. Сохраняется также ассоциативность моделей, то есть при изменении геометрии файла STL и DXF пересчитывается импортированная модель, а в дальнейшем – траектория обработки и управляющая программа (для имеющейся модели станка она формируется в собственном формате и не соответствует кодам ISO).

Выводы.

Обратное проектирование даже по передовым образцам наукоемкой и технологически сложной продукции сопряжено со значительными трудностями, поскольку прямое копирование в условиях современного состояния производства невозможно.

Вместе с тем, применение ЭВМ и специализированного программного обеспечения позволяет выполнить «экстра реверс инжиниринг». При этом образец дает лишь основу для копирования и служит базой для дальнейших инженерных расчетов.

В рассмотренной проектной ситуации:

- Измеряются основные параметры изделия.
- Формируется методика расчета его профиля как с опорой на образец, так и с учетом теоретических соображений.
- Выполняется расчет сечений мастер-модели, причем его результаты в дальнейшем автоматически пересчитываются при изменении начальных данных.
- Формируется мастер-модель в виде твердотельной модели САПР, ассоциированная с результатами расчетов по предыдущему пункту.

- По геометрической модели генерируется управляющая программа на обработку, которая также пересчитывается при изменении геометрии.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Азарьев И.А., Горшенин Д.С., Силков В.И. Практическая аэродинамика дельтаплана. – Машиностроение, 1992. – 288 с.
2. Клименко А.П., Никитин И.В. Мотодельтапланы: Проектирование и теория полета. – Патриот, 1992.

*А.М. ЯРУНОВ, И.А. СИНЕОКОВА*

**ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОФИЛЯ КУЛАЧКА С УМЕНЬШЕННЫМ ИНЕРЦИОННЫМ НАГРУЖЕНИЕМ И ВЛИЯНИЕМ УПРУГОСТИ ЗВЕНЬЕВ**

Современный ткацкий станок содержит станину, в которой размещается навой, (цилиндрический вал с навойной пряжей), нитки с навоя поступают на промежуточный валик, скало, от скало – к зевобразовательному механизму, поочередно передергивающему нитки вверх и вниз. В конце зевобразовательного механизма проходит прокладчик утка по решетке направляющих, по которому проходит челнок, перемещающий уток, нитку ткани. Нитка ткани прибавляется батанным механизмом к готовой части ткани, и готовая часть ткани наматывается на валик на выходе ткацкого станка.

Предлагается вместо боевого механизма, накапливающего энергию удара от торсиона из легированной стали боевой механизм с неударяющими связями центробежного действия.

Предлагается комбинированный профиль кулачка без одного из выстоев с модифицированными трапециями закона аналога ускорения для пяти пар участков опускания и подъема профиля кулачка с углами  $\alpha_{1,5}$  и углами  $\psi_{1,5}$  поворота коромыслового толкателя в целях снижения инерционного нагружения (рис. 1) батанного [2] механизма прибора нити к готовой части ткани ткацкого станка.

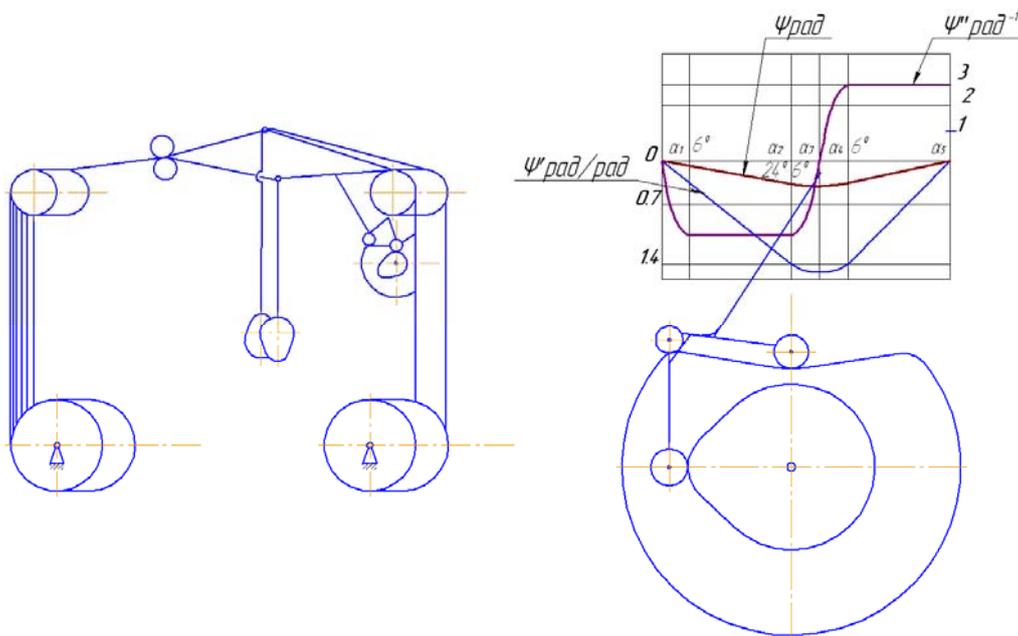


Рис. 1

По наибольшему приращению  $\Delta\psi_4/\Delta\alpha_1 = 0,69^0/1^0$  [1] вычисляется угловое ускорение  $\epsilon_{кор}$  коромыслового толкателя при постоянной угловой скорости  $\omega_{кул}$  для  $\alpha_{1,3,4max} = 6^0$ ,  $\alpha_{2max} = 24^0$  и  $\alpha_{5max} = 25,5^0$ .  
 $\omega_{кул} = 30c^{-1}$ .