

## **Применение В-сплайнов для построения бокового полуспирального подвода насоса**

# 12, декабрь 2014

Артемов А. В., Щербачев П. В., Тарасов О. И.

УДК: 62-137

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[scherbachev.p.v@gmail.com](mailto:scherbachev.p.v@gmail.com)

Полуспиральные подводы насосов применяются в тех случаях, когда из-за наличия проходного вала поток рабочей жидкости необходимо подводить сбоку, то есть в плоскости, перпендикулярной плоскости входного канала рабочего колеса.

Подводы такого типа позволяют не только обеспечить оптимальное обтекание вала насоса, но и дают возможность разгрузить ротор насоса от осевой силы. Рабочая среда в такого типа подводах движется не строго в радиальном направлении, а подводится к рабочему колесу в тангенциальном направлении. Такое течение в подводе позволяет обеспечить более равномерный поток на входе в рабочее колесо насоса.

Еще одной особенностью данных подводов является наличие закрутки потока жидкости на входе в рабочее колесо, что обеспечивается тангенциальным подводом этого потока.

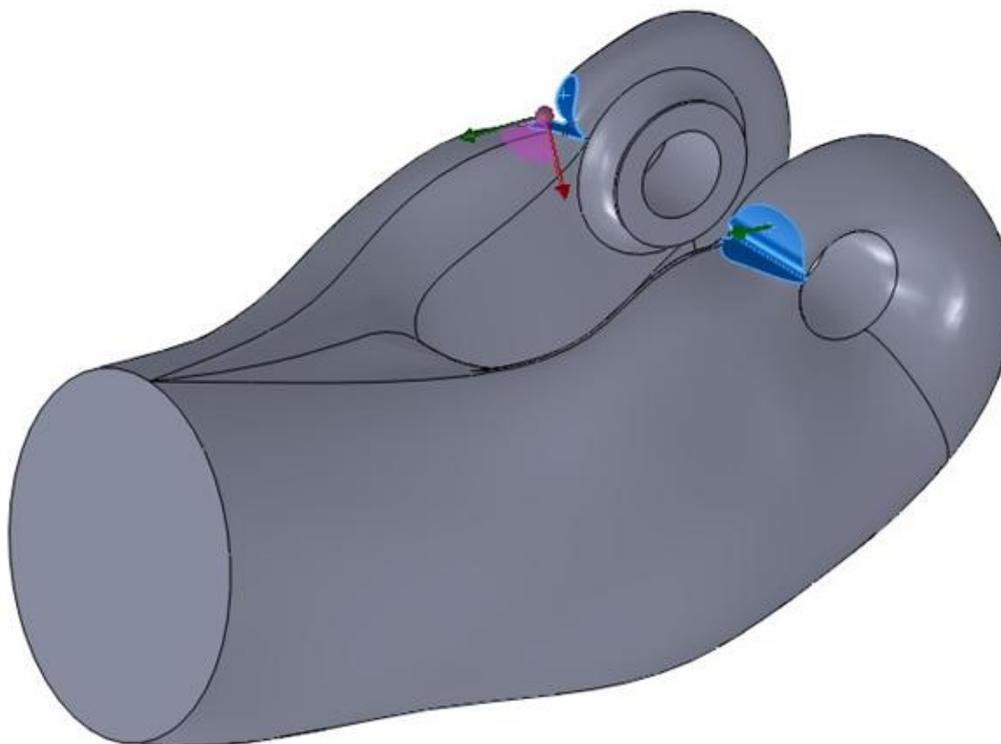
Боковой полуспиральный подвод можно встретить в конструкциях насосов разных отраслей промышленности и народного хозяйства (насосы НМ, насосы типа Д и т.д.). Общий вид подвода такого типа представлен на рис. 1.

Для разработки современных проточных частей насосов необходимо проведение гидродинамического моделирования течения жидкости.

Гидродинамическое моделирование позволяет не только качественно, но и количественно оценить режимы течения внутри насоса. Исходя из оценки этих режимов, делается вывод о необходимости проведения оптимизации тех или иных элементов проточных частей. Отсутствие гидродинамического моделирования при проведении оптимизации влечет за собой повышение затрат на оптимизацию в связи с изготовлением множества моделей проточных частей и т.д.

Проведение оптимизации, как правило, осуществляется по нескольким критериям (минимум гидравлических потерь на трение, минимальное значение сил, возникающих на роторе и т.д.). Методы оптимизации могут быть различны, но любой из них, как правило, требует расчетов большого числа пробных точек. В рассматриваемом случае наличие

большого числа пробных точек ведет к необходимости создания множества 3D-моделей проточной части.



**Рисунок 1-**Общий вид подвода насоса НМ 10000-210

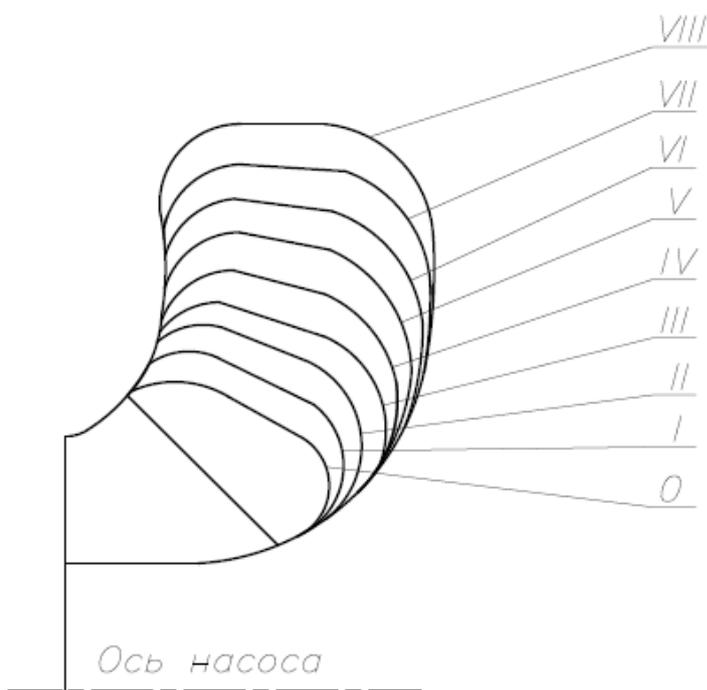
Построение 3D-модели проточной части может занимать достаточно длительный промежуток времени, именно поэтому актуальным является вопрос автоматизации создания проточных частей насосов.

Вопрос автоматизации процесса построения геометрии активно рассматривается специалистами по всему миру. Известно достаточно мощное программное средство CFturbo, в котором вопросы автоматического построения и параметризации решены на очень высоком уровне. В этом программном комплексе упор сделан на проектирование рабочих колес и отводящих устройств насосов.

В рамках научно исследовательской работы проведенной на кафедре Э10 МГТУ им. Н.Э. Баумана был рассмотрен вопрос разработки и построения 3D-модели полуспирального подвода двухстороннего входа с улучшенной геометрией [1]. Предложенное решение по улучшению характеристик подводящего устройства позволило увеличить значение КПД насоса на 1%, что было подтверждено экспериментально. Однако данное решение по улучшению характеристик подвода не является единственно верным, в связи с этим для существенного сокращения времени, затрачиваемого на построение подводящего устройства, и повышения качества спроектированного подвода необходимо автоматизировать процесс создания модели.

Принцип проведения параметризации для отводящих устройств отражен в работе [2]. В данной работе авторами предлагается каждое расчетное сечение подводящего устройства описывать с помощью кривых Безье. Однако в этом случае возникают сложности при попытке локального изменения геометрии проточной части, т.к. при изменении положения одной из управляющих точек кривой Безье необходимо пересчитывать всю кривую и форма ее изменяется.

При построении геометрии проточной части необходимо учитывать некоторые технологические аспекты изготовления насосов и сложность поверхности, формирующей подвод жидкости. Для задач оптимизации подводящего устройства необходимо изменять положение условно верхних частей сечений при сохранении положения боковых очерковых линий каждого сечения ( рис. 2).



**Рисунок 2**-Поперечные сечения спиральной части бокового полуспирального подвода насоса НМ 10000-210

Указанные выше требования можно выполнить, применив для построения сечений вместо кривых Безье В-сплайны.

В системах автоматизированного проектирования и компьютерной графики под термином В-сплайн подразумевается сплайн-кривая, которая задана сплайн-функциями.

Понятие В-сплайна вводится следующим образом [4]:

$$C(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t) \cdot P_i;$$

$p = m - n - 1$  -степень В-сплайна;

$P_i$  -полюсная точка;

$N_{i,p}(t)$  - базисная функция.

Базисные функции, в свою очередь, вычисляются по рекуррентным формулам Кокса-де-Бура:

$$N_{i,0}(t) = \begin{cases} 1, & t_i \leq t \leq t_{i+1}; \\ 0, & \text{otherwise}; \end{cases}$$

$$N_{i,p}(t) = \frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i} \cdot N_{i,p-1}(t) + \frac{t_{i+p+1}-t}{t_{i+p+1}-t_{i+1}} \cdot N_{i+1,p-1}(t).$$

Исходя из этих соображений, была создана программа автоматического построения спиральной части бокового полуспирального подвода двухстороннего входа на основе B-сплайнов.

Спиральная часть с углом охвата  $\beta$  представлена на рис.3.

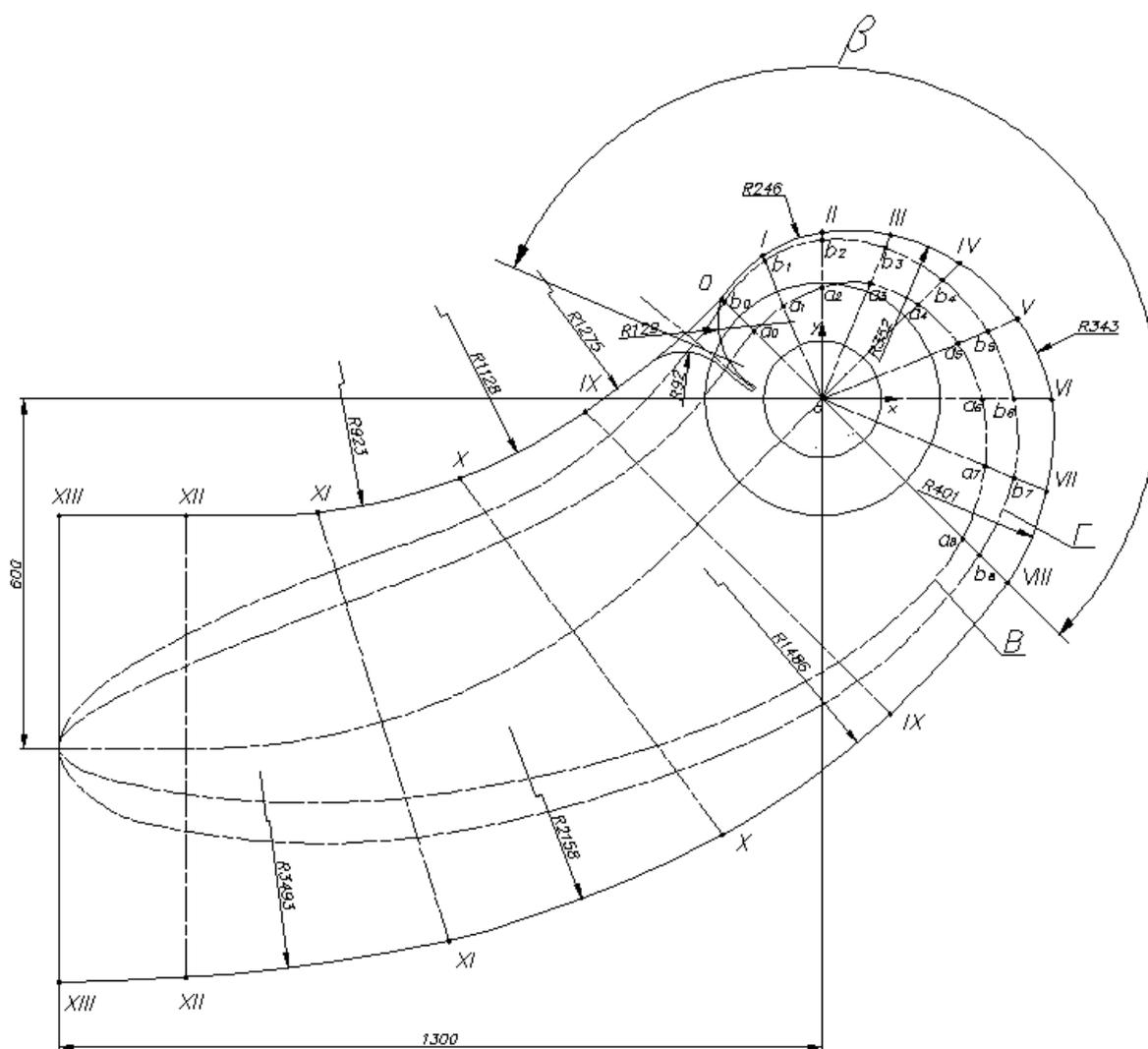


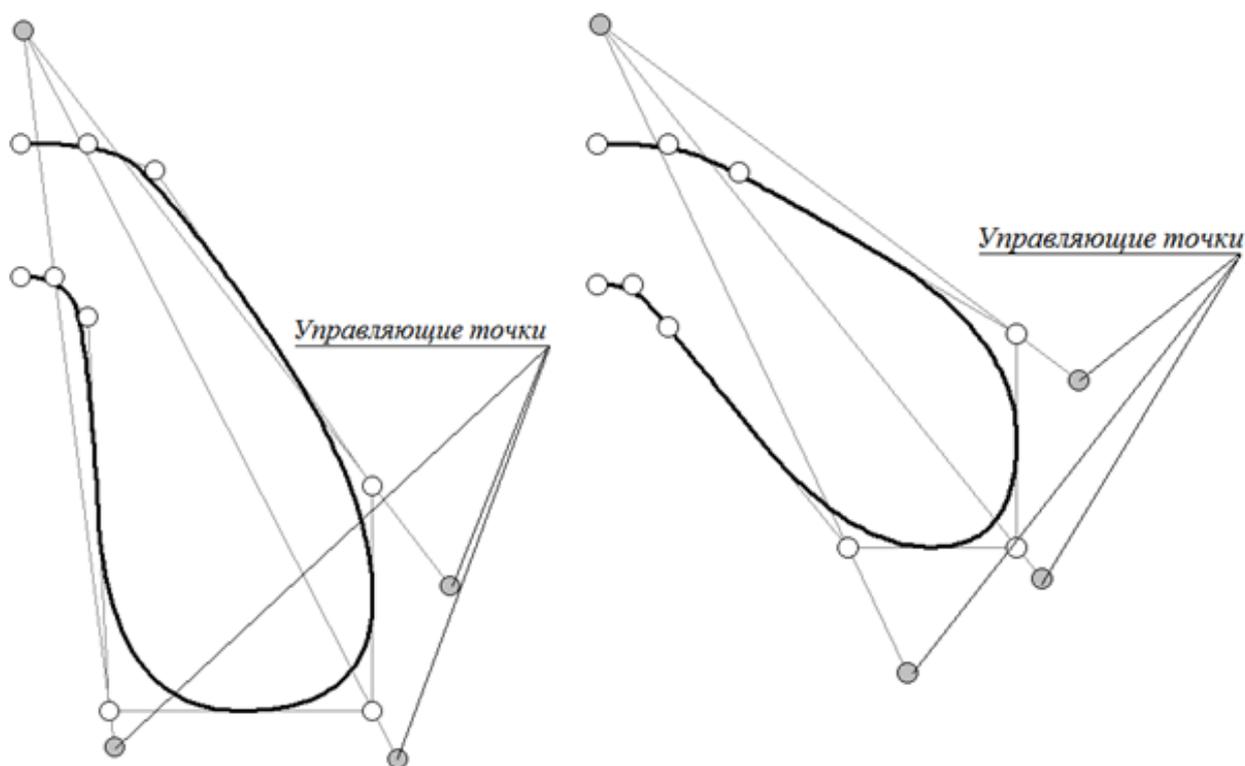
Рисунок 3-Спиральная часть с углом охвата  $\beta$  насоса НМ 10000-210

Алгоритм построения сечений спиральной части подводящего устройства реализован на языке программирования C++.

Кривая, задающая каждое из сечений спиральной камеры, определяется положением девяти управляющих точек – полюсов (рис. 4).

Три точки в начале кривой и три в конце должны оставаться неподвижными для сохранения неизменной формы проточной части у выхода из подводящего устройства. Это условие диктуется технологией изготовления. Три оставшиеся управляющие точки изменяют размеры промежуточных сечений.

Форма поперечных сечений подводящего устройства во многом определяется требованиями, предъявляемыми к габаритным размерам насоса конкретной конструкции. Это достигается изменением положения управляющих точек параметризующих прямых (рис. 4). Варьируя направляющие прямые, можно получать различные формы сечений - вытянутые или в осевом, или в радиальном направлении.



**Рисунок 4-**Форма поперечных сечений (одинаковой пропускной способности) подвода в зависимости от положения управляющих точек

На каждой из таких направляющих прямых лежит по одной управляющей точке. У каждой из этих точек есть только одна степень свободы – перемещение вдоль прямой (рис. 5).

Для однопараметрического построения каждого из поперечных сечений полюса В-сплайна, лежащие на параметризующих прямых, соединяются между собой отрезками прямых, которые, при переходе от одного поперечного сечения к другому, сохраняют горизонтальность и вертикальность соответственно (рис. 5).

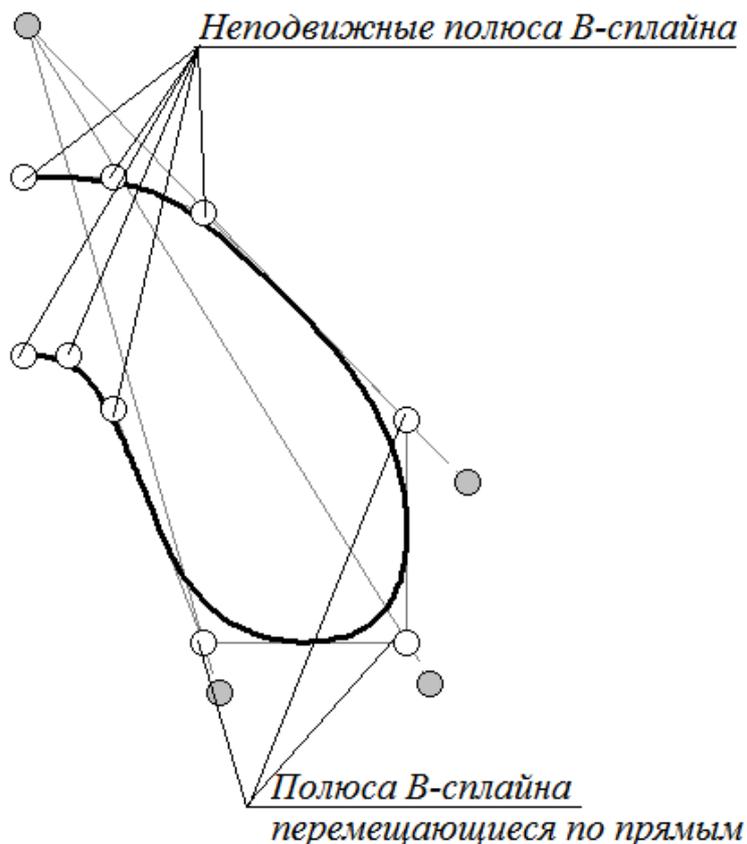


Рисунок 5-Полюса В-сплайна

Положение полюсов, перемещающихся по прямым, рассчитывается автоматически исходя из требования линейного изменения пропускной способности от сечения к сечению. Само значение пропускной способности определяется по зависимости [3]:

$$A = \int_{A_i}^{H_i} \frac{b}{R} dR;$$

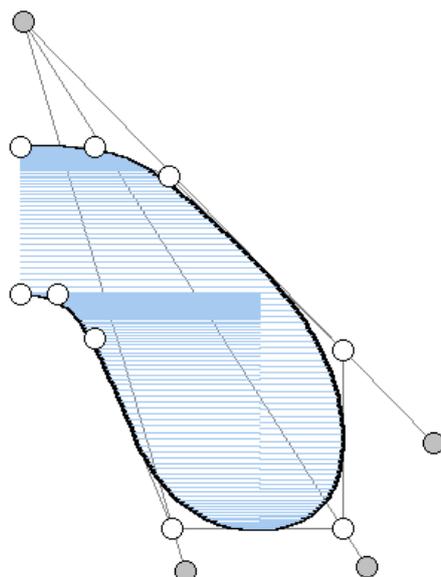
$b$  – ширина элементарной площадки;

$R$  – радиус элементарной площадки относительно оси вала насоса;

$H_i$  – максимальный радиус  $i$ -ого поперечного сечения подвода относительно оси насоса;

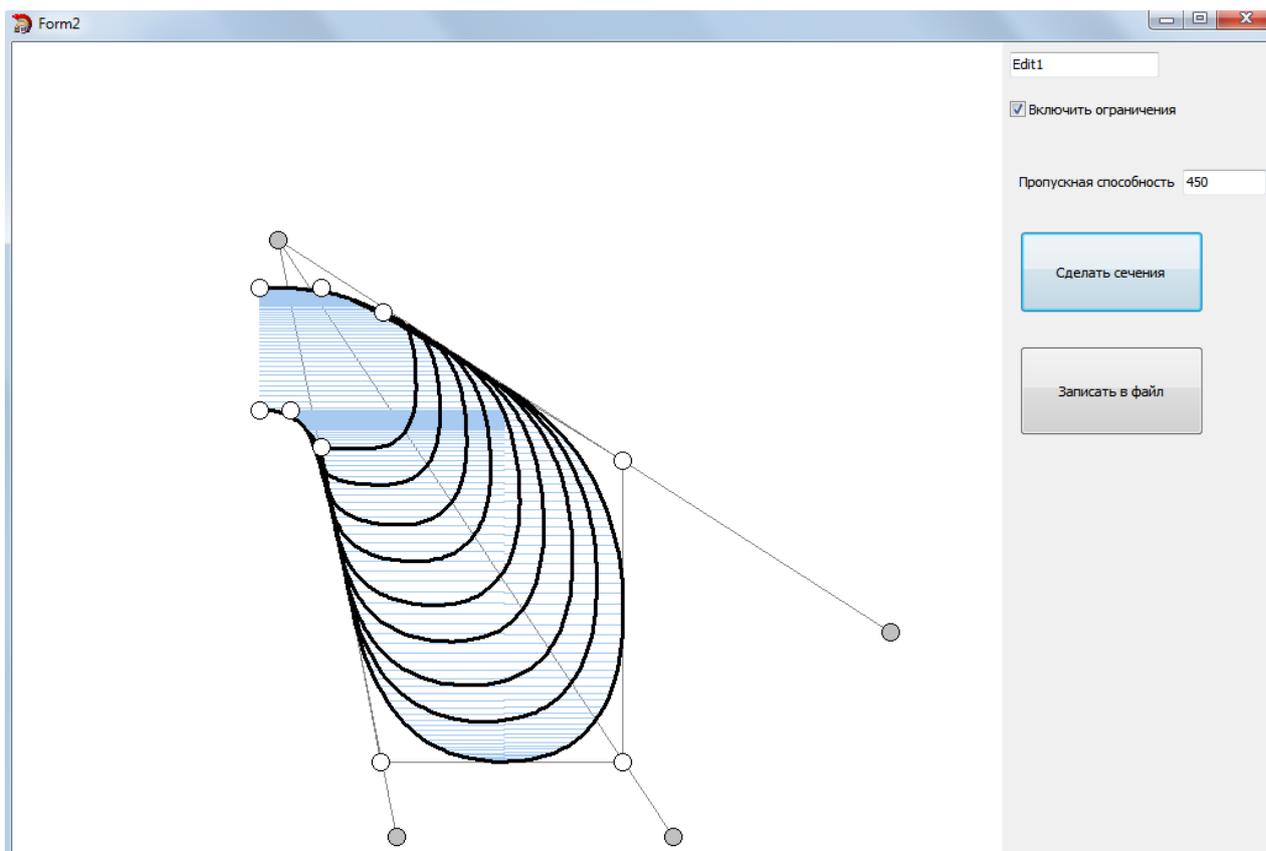
$A_i$  – минимальный радиус  $i$ -ого поперечного сечения подвода относительно оси насоса.

Расчет поперечного сечения с учетом пропускной способности представлен на рис. 6.



**Рисунок 6-**Автоматическое построение поперечного сечения по заданной пропускной способности

Общий вид окна разработанной программы представлен на рис.7.



**Рисунок 7-**Программа по автоматическому построению подводящих устройств

Разработанный алгоритм позволяет автоматизировать создание 3D модели бокового полуспирального подвода. По сути, построение сводится к заданию двух обобщенных параметров: форма сечений (развитая в радиальном или осевом направлении) и размер сечений, определяемый требуемым законом изменения пропускной способности. Полученные кривые можно сохранить в текстовый файл данных и использовать для построения поверхностей проточной части в любом пакете трехмерного моделирования (SolidWorks, САТІА) и в дальнейшем использовать для оптимизационного расчета в системах гидродинамического моделирования.

Результатом проведенной на каф. Э10 работы стало создание и внедрение в учебный процесс и инженерные расчеты принципиально нового алгоритма построения 3D-моделей бокового полуспирального подвода. В настоящее время разработанный алгоритм и программа активно используются в расчетах проточных частей новых насосных агрегатов.

### Список литературы

1. Ломакин В.О., Петров А.И., Щербачев П.В. Разработка бокового полуспирального подвода с увеличенным моментом скорости жидкости на входе в рабочее колесо // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. Спецвыпуск. С. 3.
2. Создание параметризованных 3D-моделей проточной части центробежных насосов/ Ломакин В. О., Щербачев П. В., Тарасов О. И., Покровский П. А., Семёнов С. Е., Петров А. И. // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №4. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/354657.html> (дата обращения 03.06.2013).
3. Машин А.Н. Расчет и проектирование спирального отвода и полуспирального подвода центробежного насоса. М.: МЭИ, 1980г. 42с.
4. Корнейчук Н.П. Сплайны в теории приближения. М.: Наука, 1984г. 352с.
5. Козлов С.Н., Петров А.И. Расчет и проектирование отводящих устройств центробежных насосов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004г. 40с.