

Создание параметризованных 3D-моделей проточной части центробежных насосов

77-30569/354657

04, апрель 2012

Ломакин В. О., Щербачев П. В., Тарасов О. И., Покровский П. А., Семёнов С. Е., Петров А. И.

УДК 62-137

МГТУ им. Н.Э. Баумана

lomakin@pump.ru

В настоящее время разработка проточных частей новых лопастных насосов обязательно включает в себя этап гидродинамического компьютерного моделирования течения жидкости в проточной части насоса с целью оптимизации проточной части. Без проведения такой оптимизации путем численного моделирования насос в большинстве случаев либо будет неконкурентоспособным на рынке насосного оборудования вследствие низкого К.П.Д и кавитационных качеств, либо потребует несопоставимо больших затрат на проведение серии натурных экспериментов для доведения геометрии проточной части до приемлемого уровня. Конечно, проведение модельных или натурных испытаний обязательно для верификации результатов численного моделирования, но как завершающий этап создания насоса. Такой алгоритм проектирования насоса позволяет сэкономить время и средства разработчиков, а также поднять общий технический уровень насосного оборудования.

Можно выделить следующие этапы разработки проточной части насоса на заданные параметры:

1. Предварительное определение основных геометрических размеров проточной полости насоса на основе традиционных методик расчета (также может быть выполнено с помощью специализированных программных пакетов для расчета проточной части, таких, как CF-turbo и аналоги)
2. Построение по полученным данным 3D-моделей проточной части по отдельным элементам (подводящее устройство, рабочее колесо, отводящее устройство и др.) и общей 3D-модели проточной части насоса
3. Численное моделирование течения жидкости в CFD-пакетах (STAR CCM+, ANSYS CFX и т.п.), качественный и количественный анализ характера течения жидкости в проточной части и параметров насоса
4. Численная оптимизация проточной части, результатом которой должно явиться получение оптимальной по заданным критериям проточной части насоса

5. Изготовление модели или опытного образца насоса, проведение испытаний и верификация данных, полученных ранее расчетным путем.

Существенную сложность в процессе оптимизации проточной части методом численного моделирования представляет создание 3D-моделей проточной части. Дело в том, что вне зависимости от выбранного метода оптимизации количество пробных точек ограничено вычислительной мощностью. Так, комплексный расчет проточной части насоса типа НМ на 24-процессорном кластере может занимать более суток, в зависимости от выбранных параметров сетки и др. Следовательно, общее количество рассчитываемых вариантов проточных частей даже при увеличении вычислительных ресурсов не может превышать нескольких десятков на один насос.

С другой стороны, каждая пробная точка в пространстве параметров – это отдельная 3D-модель проточной части. Построение 3D-моделей, соответствующих требованиям пакетов CFD-моделирования, в CAD системах (SolidWorks, CATIA и их аналоги) может занимать у квалифицированного пользователя более недели, что делает получение достаточного для проведения оптимизации количества пробных точек крайне трудозатратным и длительным.

В процессе работы по созданию ряда нефтяных магистральных насосов тип НМ, проводимой на кафедре Э-10 МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках гранта по заказу НКМЗ данная задача в настоящее время решается путем автоматизированного построения параметризованных моделей проточной части насосов.

Основная задача параметризации проточной части насоса заключается в выделении отдельных параметров проточной части (в количестве нескольких десятков), размеры которых в наибольшей степени влияют на характеристики насоса, и разработке программных продуктов, позволяющих автоматически генерировать в пакете SolidWorks 3D-модели проточной части по выбранным на основании алгоритма оптимизации величинам этих параметров с дальнейшим моделированием течения в насосе в пакете STAR CCM+.

Такое решение позволяет на порядки сократить время, затрачиваемое на получение 3D-моделей проточной части, и делает возможным применение методов оптимизации на этапе численного гидродинамического моделирования течения жидкости в насосе (с обязательной последующей экспериментальной проверкой наилучших вариантов).

В качестве первого оптимизируемого элемента проточной части был выбран двухзаходный спиральный отвод, т.к. предварительное моделирование показало, что параметры спиральной и диффузорной частей отвода в наибольшей степени влияют на характеристики насоса.

Двухзаходный спиральный отвод имеет три основных параметризуемых элемента: спиральную часть, обводной канал и диффузор (Рисунок 1). Сечения каждого элемента строятся кривыми Безье. Кривые Безье это параметрические полиномы, точки которых вычисляются по следующему алгоритму:

$$X(t) = \sum_{i=0}^n \left(P_{x_i} \cdot \frac{n!}{i! \cdot (n-i)!} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i} \right)$$

$$Y(t) = \sum_{i=0}^n \left(P_{y_i} \cdot \frac{n!}{i! \cdot (n-i)!} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i} \right),$$

где

$X(t)$ и $Y(t)$ – координаты точки на кривой,

P_{x_i} и P_{y_i} – координаты i -го полюса,

n – порядок кривой (порядок кривой на единицу меньше числа полюсов),

t – параметр, изменяющийся в диапазоне от 0 до 1.

Следует рассмотреть каждый из элементов и обозначить параметризуемые параметры.

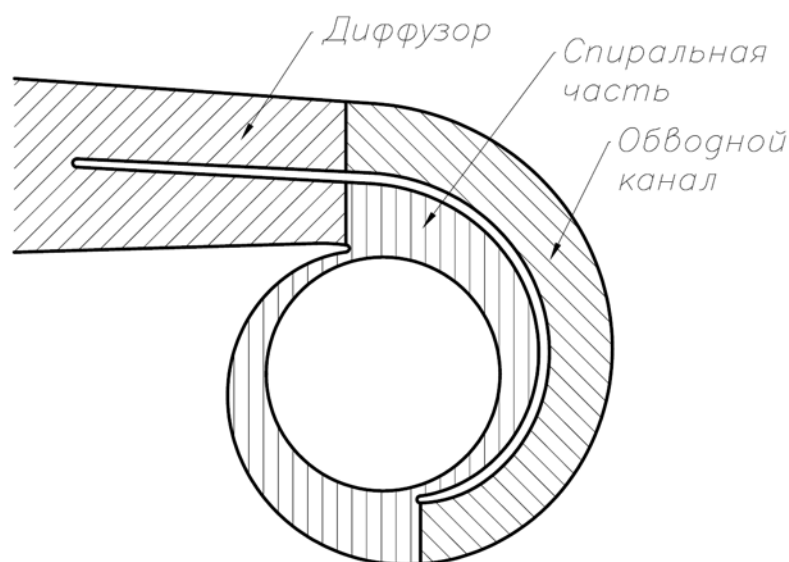


Рисунок 1. Двухзавитковый спиральный отвод

Спиральная часть

Сечение спиральной части строится кривой Безье 4-го порядка (Рисунок 2). Полюсами кривой являются точки P0-P4.

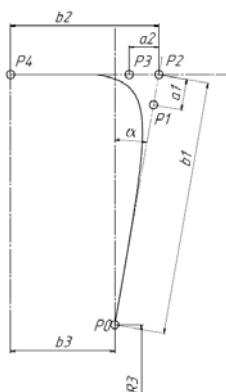


Рисунок 2. Сечение спиральной части

Параметрами сечения являются:

- Угол α между вертикалью и прямой P0-P2, град,
- Ширина входа в отвод b_3 , мм,
- Радиус входа в отвод R_3 , мм,
- Пропускная способность расчетного сечения отвода $A_{\text{расч.}}$, мм,
- Коэффициент отношения отрезков $K_{\text{отн1}} = \frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2}{b_2}$, который определяет радиус кривизны скругления трапеции.

Обводной канал

Сечение обводного канала строится двумя кривыми Безье 4-го порядка (Рисунок 3). Полюсами кривых являются точки P0-P4 и P4-P8. При таком построении результирующая кривая проходит чрез точку P4, а сопряжение кривых по касательной обеспечивается расположением точек P3 и P5 на одной прямой P2-P6.

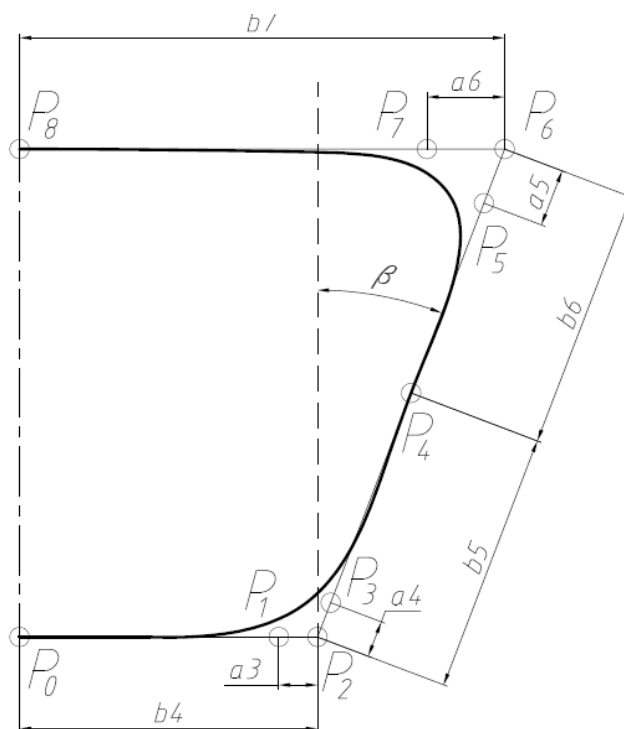


Рисунок 3. Сечение обводного канала

Параметрами сечения являются (Рисунок 4):

- Толщина разделительного ребра между спиральной частью и обводным каналом, мм,
- Коэффициент диффузорности канала $K_{\text{диф}} = \frac{F_{\text{обк}}}{F_{\text{об0}}}$, где $F_{\text{об0}}$ и $F_{\text{обк}}$ площади первого и конечного сечения обводного канала соответственно,
- Конечный угол трапеции обводного канала β . Начальный угол равен углу трапеции сечения спиральной части. От начального до конечного значения угол изменяется по линейному закону, град,
- Коэффициент расширения канала $K_{\text{расш}} = \frac{b_{4\text{к}}}{b_{4_0}}$, где b_{4_0} и $b_{4\text{к}}$ ширина первого и конечного сечения обводного канала соответственно,
- Коэффициент отношения отрезков $K_{\text{отн2}} = \frac{a3}{b4} = \frac{a4}{b5} = \frac{a5}{b6} = \frac{a6}{b7}$, который определяет радиус кривизны скругления трапеции.

Диффузор

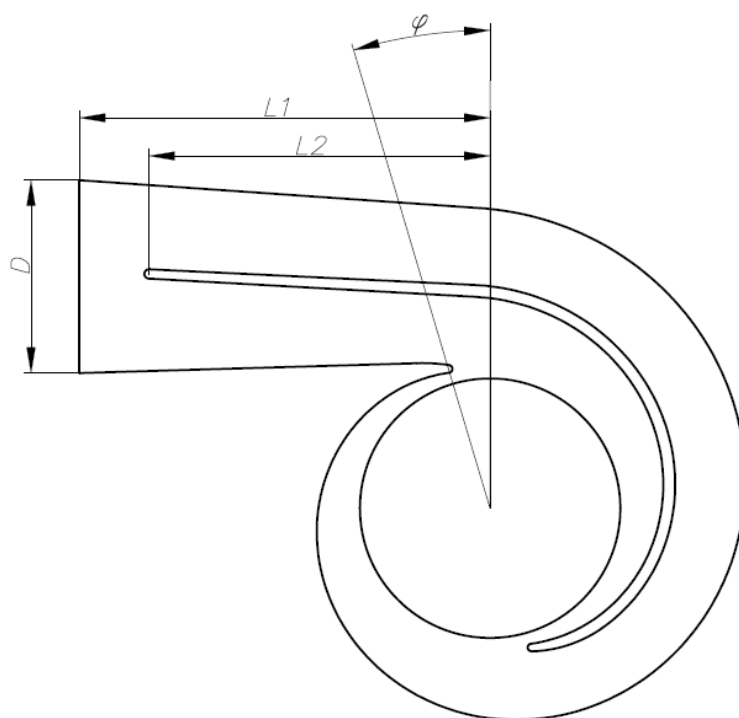


Рисунок 4. Параметризация диффузорной части

Параметрами диффузорной части являются:

- Длина диффузора $L1$, мм,
- Длина разделительного ребра $L2$, мм,
- Диаметр выхода D , мм,
- Угол установки языка φ , град,

Переходные сечения диффузора также строятся кривыми Безье, плавно изменяющимися от последних сечений обводного канала и спиральной части до окружности диаметром D (Рисунок 5).

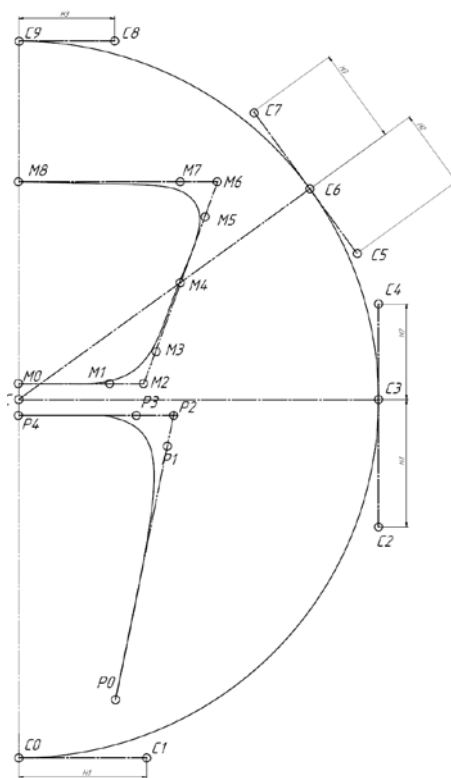


Рисунок 5. Построение переходных сечений диффузора

Дуга окружности аппроксимируется кривой Безье с 4 полюсами. Рисунок 4 изображает три кривые Безье с полюсами C0-C3, C3-C6, C6-C9, аппроксимирующие окружность на выходе диффузора. Центр окружности располагается в точке C, которая расположена в середине разделительного ребра.

Чтобы получить плавность изменения формы сечений необходимо, чтобы кривые описывающие сечения обводного канала и сечение спиральной части плавно переходили в соответствующие кривые, аппроксимирующие окружность на выходе диффузора.

Кривая Безье, описывающая спиральную часть переходит в кривую C0-C3 посредством перемещения полюсов P0 в C0, P1 в C1, P2 в C2, а полюсов P3 и P4 в полюс C3' расположенный на расстоянии половины толщины разделительного ребра под полюсом C3.

Так как сечение обводного канала описывается двумя кривыми, для получения плавности изменения формы сечений четверть дуги окружности на выходе аппроксимируется двумя кривыми с полюсами C3-C6, C6-C9. Полюса сечения перемещаются следующим образом: M0 и M1 в точку C3'', которая расположена зеркально точке C3' относительно горизонтали C-C3. M2 в C4, M4 в C6, M6 в C7, M7 в C8, M8 в C9. Точка M5 делит отрезок M4-M6 в том же отношении $K_{отн2}$, а точка M3 движется по отрезку M3-C5, оставаясь на пересечении с прямой M5-M4.

Сечения объединенного канала диффузора строятся таким же образом, только точки P4, P3, M0, M1 объединяются в одну, плавно движущуюся к точке C3 и находящуюся на пресечении горизонтали C-C3 и отрезка P2-M2. Каждое сечение

диффузора строится в соответствии с линейным увеличением площади канала по длине диффузора.

Алгоритмы построения сечений были заложены в программный код (Рисунок 5), который по заданному набору параметров выводит в файл набор точек каждого сечения, поворачивая каждое сечение вокруг оси насоса на соответствующий угол. Места сопряжений сечений реализуются посредством Безье поверхностей на четырёхугольнике, построенных по имеющимся кривым.

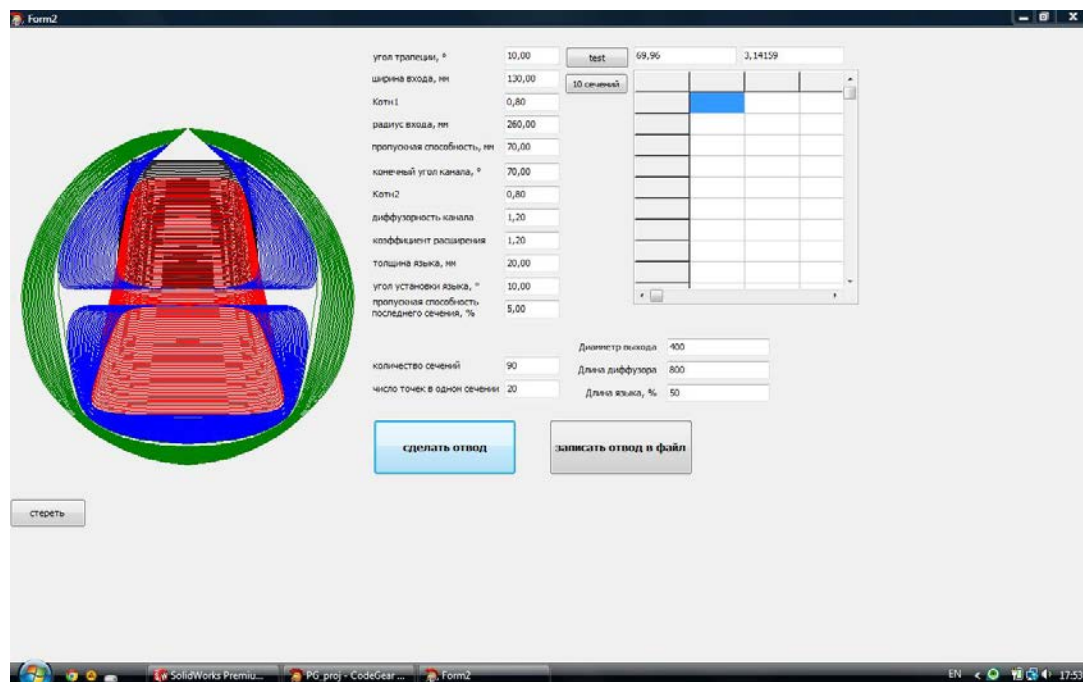


Рисунок 6. Программа по расчету сечений отвода

На рисунке изображающем окно программы изображен расчет сечений подвода. Черным цветом изображены сечения спиральной части, красным обводного канала, синим – сечения диффузора на и под разделительным ребром, зеленым – сечения объединенного канала диффузора.

После построения в программе сечения в виде набора точек сбрасываются в файл и загружаются в CAD системе как облако точек (Рисунок 7).

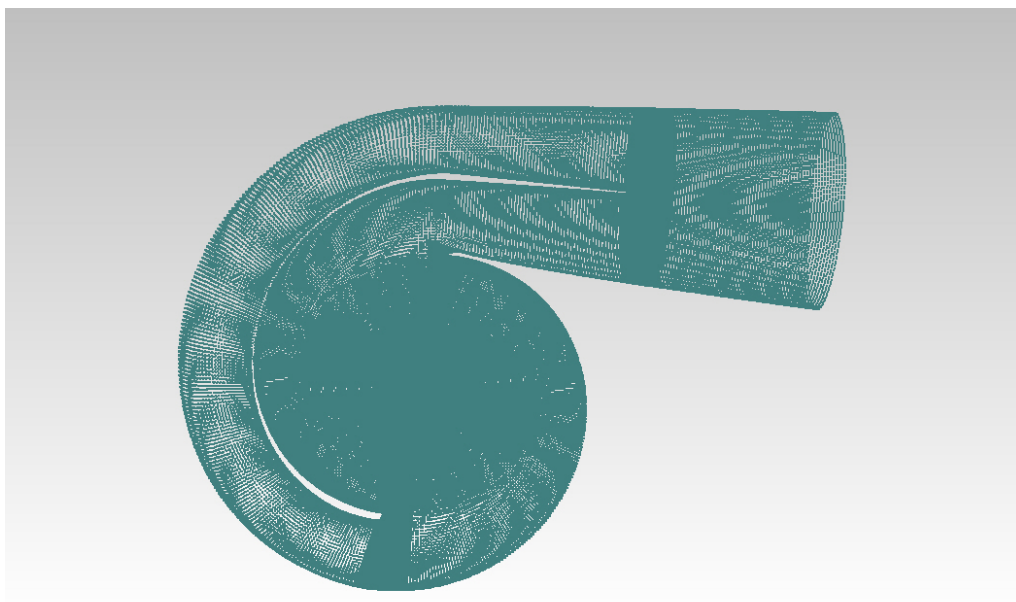


Рисунок 7. Облако точек, загруженное в CAD систему

С помощью встроенных в CAD пакет инструментов облако точек преобразуется в поверхность (Рисунок 8).



Рисунок 8. Окончательная поверхность отвода

Список литературы

1. Машин А.Н. Расчет и проектирование спирального отвода и полуспирального подвода центробежного насоса. М.: МЭИ, 1980. 44 с.
2. Григорьев М.И. Геометрическое моделирование с использованием составных кривых и поверхностей Безье. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата физ. мат. наук. СПб, 2009. 15 с.

Creating parameterized 3D-models of the flow part in centrifugal pumps

77-30569/354657

04, April 2012

Lomakin V.O., Scherbachev P.V., Tarasov O.I., Pokrovsky P., A.,
Semenov S.E., Petrov A.I.

Bauman Moscow State Technical University

lomakin@pump.ru

The article describes a new method of automated building parameterized 3D-models of centrifugal pumps. The purpose of modeling is to provide source data for optimization of air-gas channels in type HM pumps by hydrodynamic simulation methods. The first element to be optimised was a volute pump. The algorithm for constructing 3D-models of the discharge device is based on the Bezier curves. Basing on the basic geometrical parameters of the drain, the proposed method allows to automatically create its geometry in the most popular graphics packages SolidWorks and CATIA, and to export the package simulation STAR CCM +.

Publications with keywords: [Bezier curves](#), [parameterized pump model](#), [computational fluid dynamic](#)

Publications with words: [Bezier curves](#), [parameterized pump model](#), [computational fluid dynamic](#)

References

1. Mashin A.N. *Raschet i proektirovanie spiral'nogo otvoda i poluspiral'nogo podvoda tsentrobezhnogo nasosa* [Calculation and design of spiral drain and half spiral inlet of centrifugal pump]. Moscow, MEI Publ., 1980. 44 p.
2. Grigor'ev M.I. *Geometricheskoe modelirovanie s ispol'zovaniem sostavnykh krivyykh i poverkhnostei Bez'e. Avtoreferat kand. diss.* [Geometric modeling with the use of composite curves and surfaces of Bezier. Abstract of cand. diss.]. SPb, 2009. 15 p.