электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель Общероссийская общественная организация "Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова"
ISSN 2307-0609
02, июнь 2018

УДК 621.67

Разработка лопастного насоса с использованием методов имитационного моделирования

Андреев Е.В., *студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Подводные аппараты и роботы»
edirab@yandex.ru

Научный руководитель: Минеев А.Б., ст. преподаватель
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Инженерная графика»
mineev30@yandex.ru

Аннотация: Предлагается пример разработки лопастного насоса, разработанного с использованием имитационного моделирования в программе Solidworks Flow Simulation. Описывается конструкция, обосновываются все конструкторские решения, принятые в процессе проектирования. Приведены все этапы моделирования с соответствующими рисунками, содержащими все необходимые размеры.

Ключевые слова: 3D-печать (3D-printing), 3D-моделирование (3D-modeling), имитационное моделирование, Solidworks, лопастной насос.

Введение

Известно, что конструирование является одной из самых наукоёмких областей деятельности человечества. Постоянно растущее население Земли требует появления всё более и более совершенных технических средств, призванных улучшить жизнь людей. Прогресс, в свою очередь, требует серьёзные математические расчёты. Однако многие зависимости, встречающиеся в природе, не имеют аналитического описания. Возможно ли создать нечто работающее, не произведя ни единого расчёта? Ответ на этот вопрос приведён ниже.

1. Теоретические сведения

Целью данной статьи являлась разработка модели лопастного насоса и изучение основных законов гидродинамики на практике.

Перед автором ставилась задача изучить способы сознания сложной геометрии в современных САПР, исследовать возможности современного моделирования и создать работоспособный прототип с учётом технологии производства.

Первым этапом любой конструкторской деятельности является проработка материала. По данной тематике имеется много хорошей литературы, в том числе и учебной [1, 2]. К примеру, в [1] приведено множество чертежей различных гидромашин, среди которых есть и лопастные. В учебнике содержатся и теоретические сведения, описывающие закономерности течения жидкости. Но всё это не даёт однозначного ответа на вопрос «Как сделать лопастной насос».

Очевидно, что ключевым элементом любого насоса является крыльчатка [4] (если таковая предусмотрена конструкцией). Как правило, её геометрия не поддаётся математическому описанию. Расчёт едва ли возможен с использованием численных методов и САПР. Но для этого необходимо иметь 3D-модель, чтобы провести соответствующую симуляцию. Получаем «проблему курицы и яйца».

В технике можно рассчитать лишь около 5% всех размеров. Особенно дело касается газо- и гидродинамики, для которых аналитический аппарат развит очень слабо. Выходов в такой ситуации несколько:

- использовать прототипы
- руководствоваться конструкторским опытом

Если устройство является вновь разрабатываемым и не существует прототипов, хотя бы отдалённо напоминающих концепт, тогда изготавливают множество опытных образцов разной конфигурации и проводят всестороннее моделирование в условиях, приближенных к реальным.

В этом проекте прототипом крыльчатки мог являться любой чертёж из учебной или научной литературы. В данном случае рисунок был найден автором в сети [3].

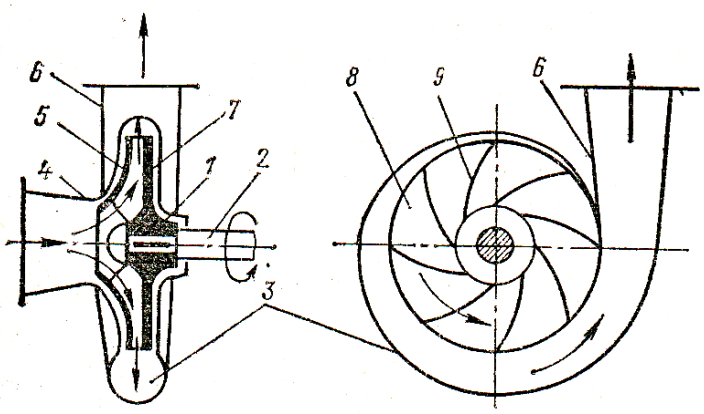


Рис. 1. Эскиз крыльчатки центробежного насоса

Первым пунктом проектных расчётов поводят энергетический расчёт, так как он закладывает основу для дальнейшей разработки конструкции. Этот расчёт даёт ответ на вопрос будет ли конструкция работать должным образом? В уравнении в левой части располагают затраченную энергию, а справа – полезную с учётом потерь. Потери в жидкости обусловлены трением, что является следствием вязкости среды.

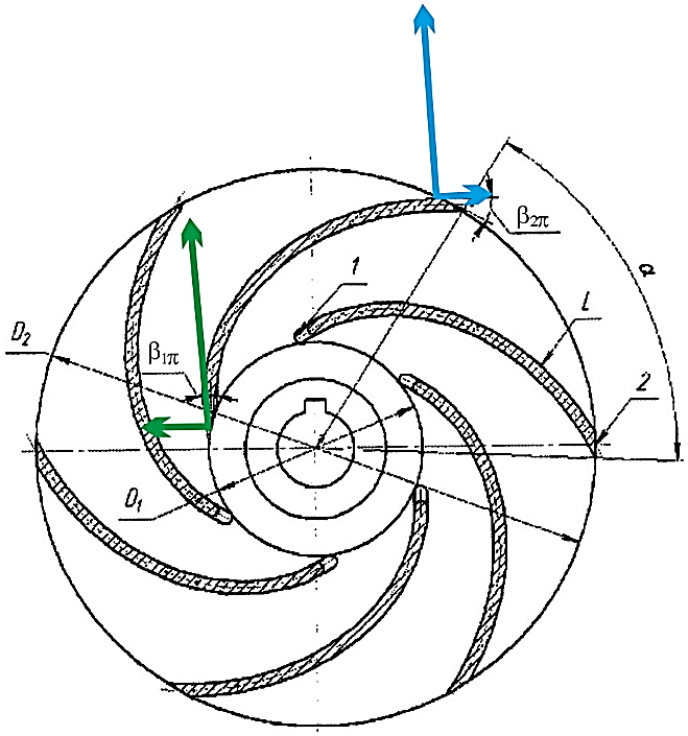


Рис. 2. Эскиз крыльчатки с указанными направлениями сил

При движении от центра к краю лопасти происходит уменьшение касательной составляющей силы, действующей на жидкую частичку, и увеличение нормальной составляющей, которая отвечает за выталкивание жидкости из насоса. Именно нормальная сила обеспечивает подачу насоса.

Число Рейнольдса является критерием гидродинамического подобия объектов, поэтому, даже не зная реальных размеров объекта, можно было предположить, что при соблюдении всех пропорций конструкция будет работать как ожидается.

В данном проекте использовался двигатель постоянного тока марки JD 550 от старого принтера, рассчитанный на напряжение питания в 14,4 В. С его вала была спилена маленькая латунная шестерня. Момент, развиваемый двигателем, был прикинут «на глаз».

2. Моделирования крыльчатки

1. Операцией «Повернуть» создаётся основание с размерами, указанными на рис. 3.

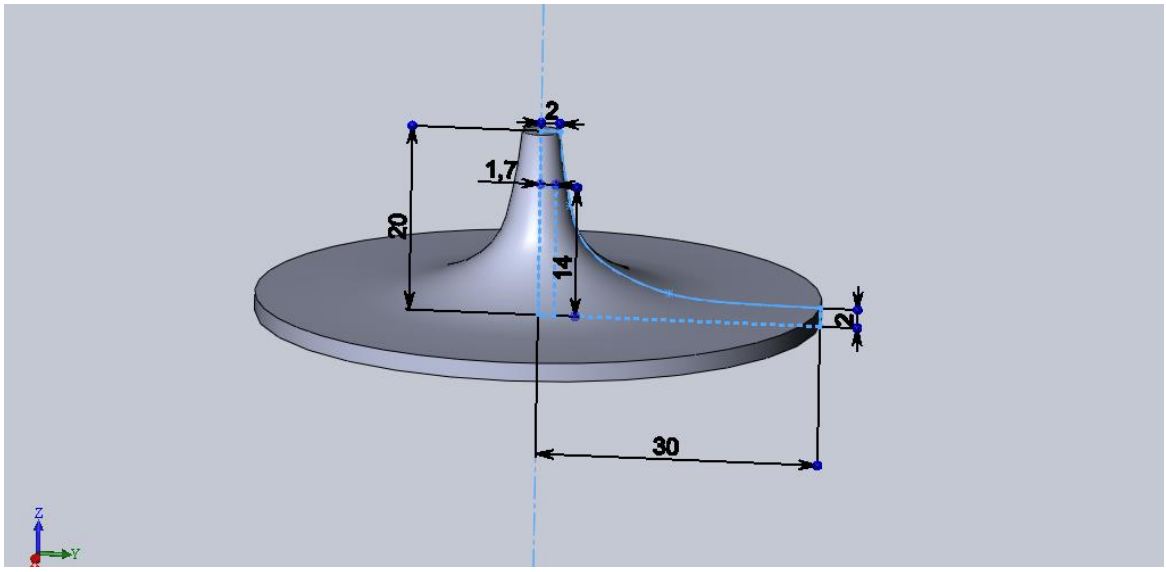


Рис. 3. Модель основания

Важно заметить, что любые острые элементы конструкции являются потенциальными местными сопротивлениями и создателями турбулентностей в набегающем потоке жидкости. Пусть данная форма и менее технологична, но она обеспечит оптимальное перемещение жидкости вдоль лопаток.

2. Затем создаётся новая плоскость и эскиз в ней.

В этот эскиз было помещено схематичное изображение лопастей, обработанное в простейшем графическом редакторе. Вытягиванием до поверхности получаем одну лопатку.

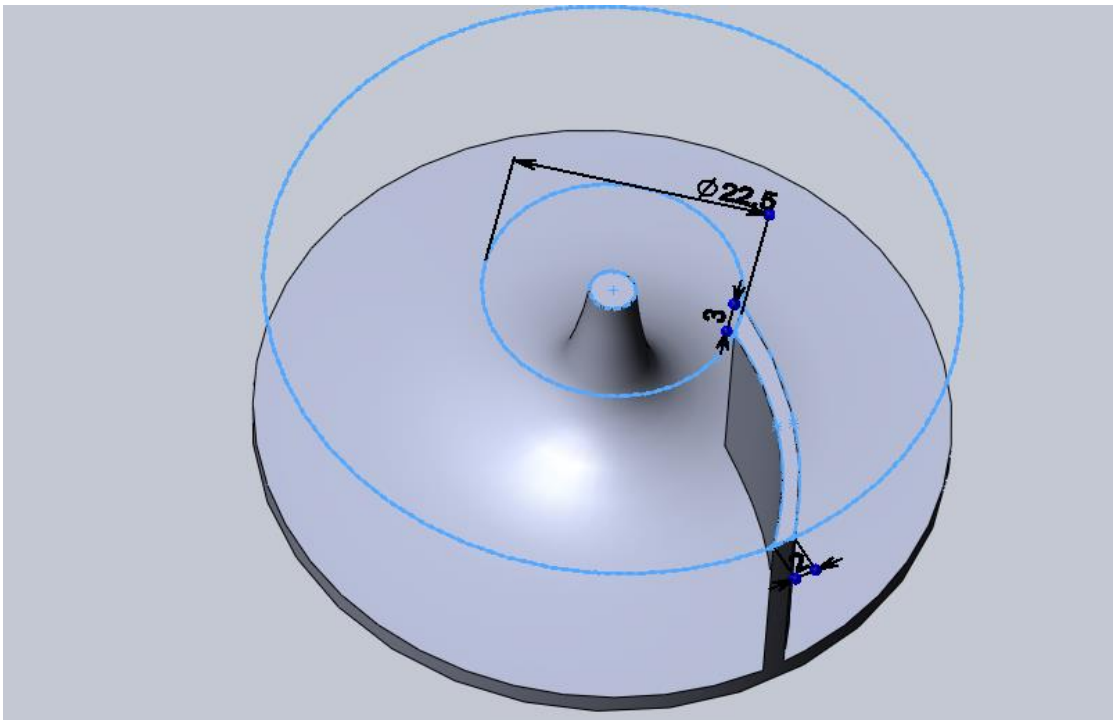


Рис. 4. Основа одной лопасти

3. Добавим скругления по передней и задней поверхности лопатки (рис. 4) по причине, описанной в п. 1.

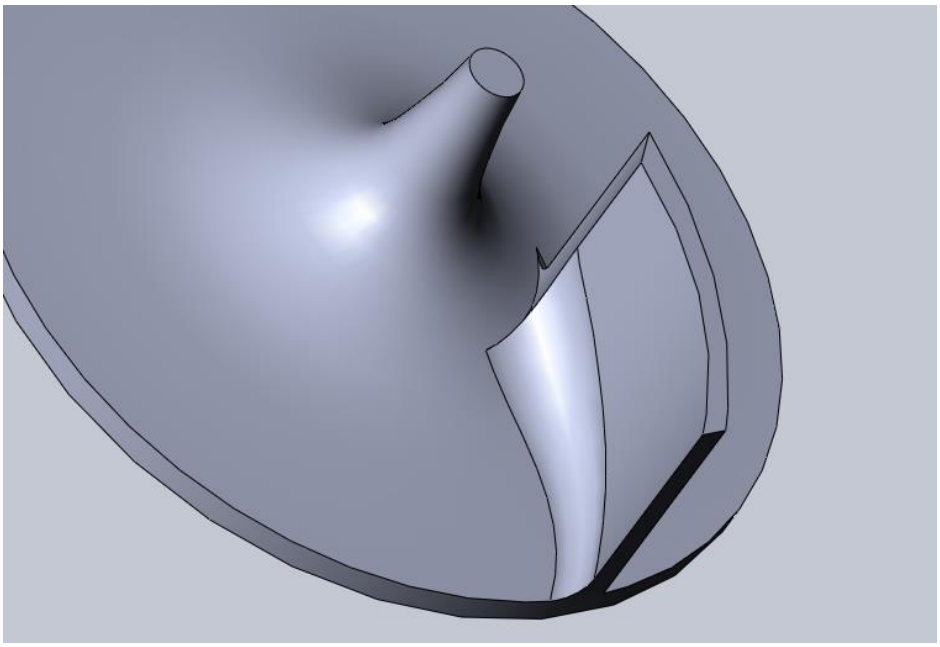


Рис. 5. Одна лопатка

4. Размножим получившийся элемент по кругу.

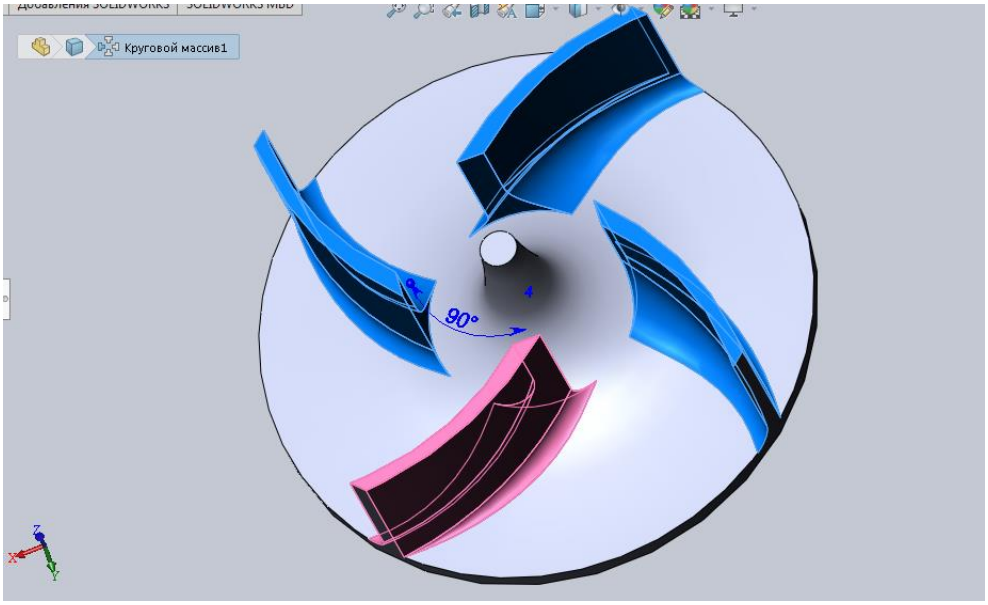


Рис. 6. Заготовка крыльчатки

5. Добавим отверстие в центре для крепления вала двигателя.
6. Последняя операция – повёрнутый вырез.

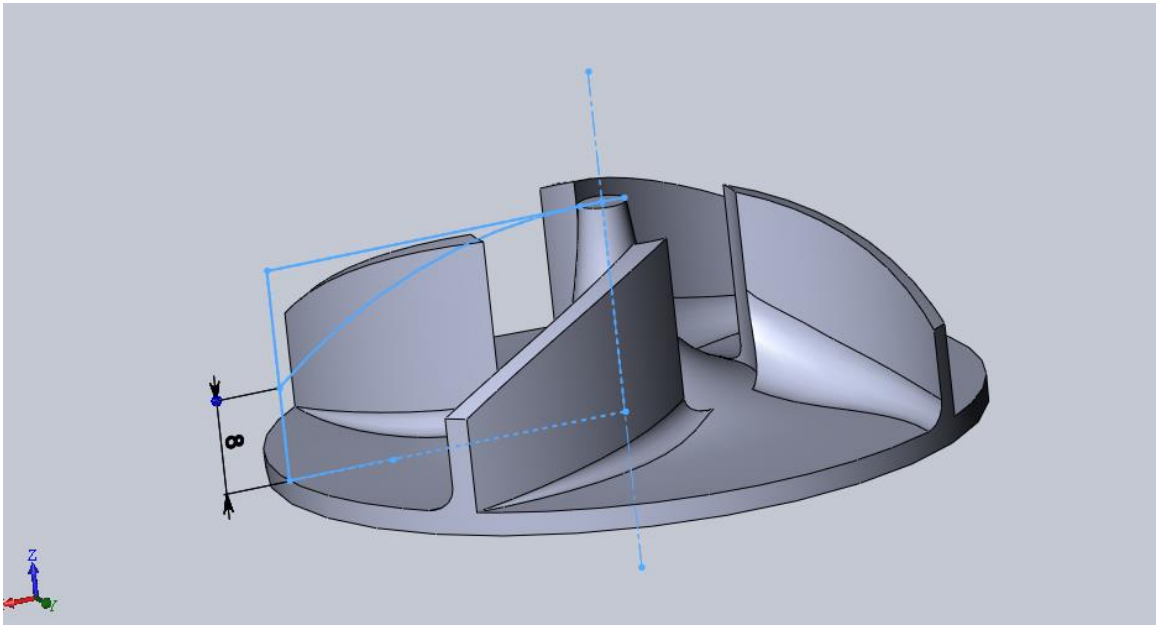


Рис. 7. Готовая модель крыльчатки

Момент, который необходимо прикладывать к жидкости, прямо пропорционален расстоянию от оси вращения. Поэтому крыльчатка не должна быть одинакова по высоте, иначе двигатель может не справиться с нагрузкой.

3. Создание модели корпуса

Корпус должен обеспечить герметичность и удобство крепления к электродвигателю. Также необходимо выполнить некие отверстия для забора и отвода воды.

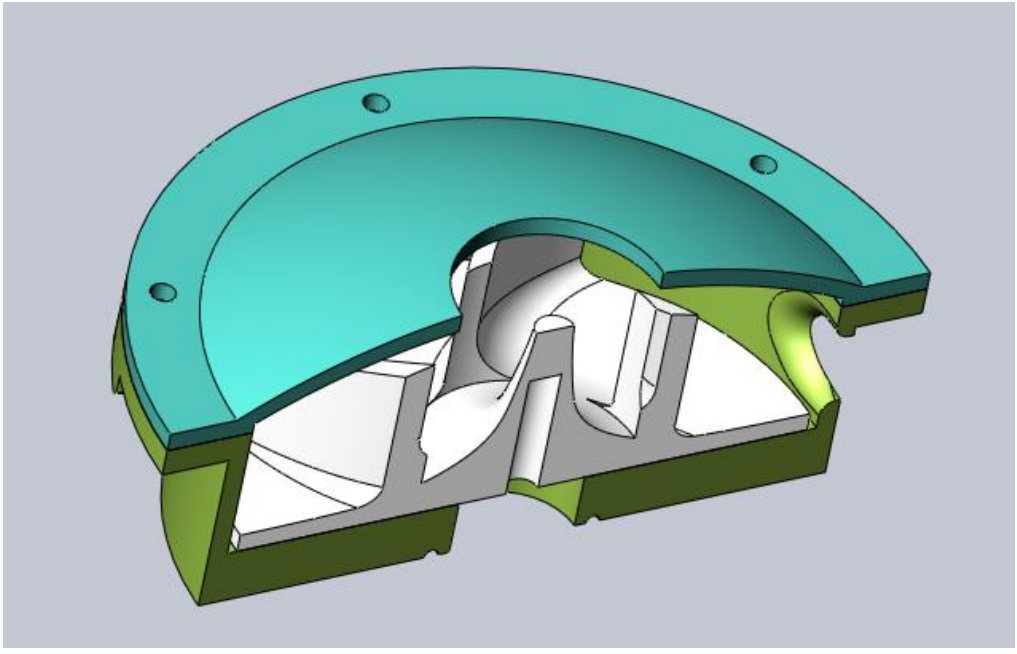


Рис. 8. Разрез корпуса в сборе

Заборное отверстие располагается по центру крышки. Большое скругление у основания крыльчатки позволяет не только снизить потери на местном сопротивлении, но и заставляет жидкость двигаться от центра к краю лопаток, где она приобретает нормальную составляющую скорости.

Крышка крепится к основанию при помощи шести винтов М3 и гаек. Но такое закрепление не обеспечивает достаточной герметичности. В процессе экспериментов наблюдались стреловидные струйки, бьющие по бокам насоса.

Выходное отверстие имеет форму эллипса, вытянутого по направлению закручивания жидкости.

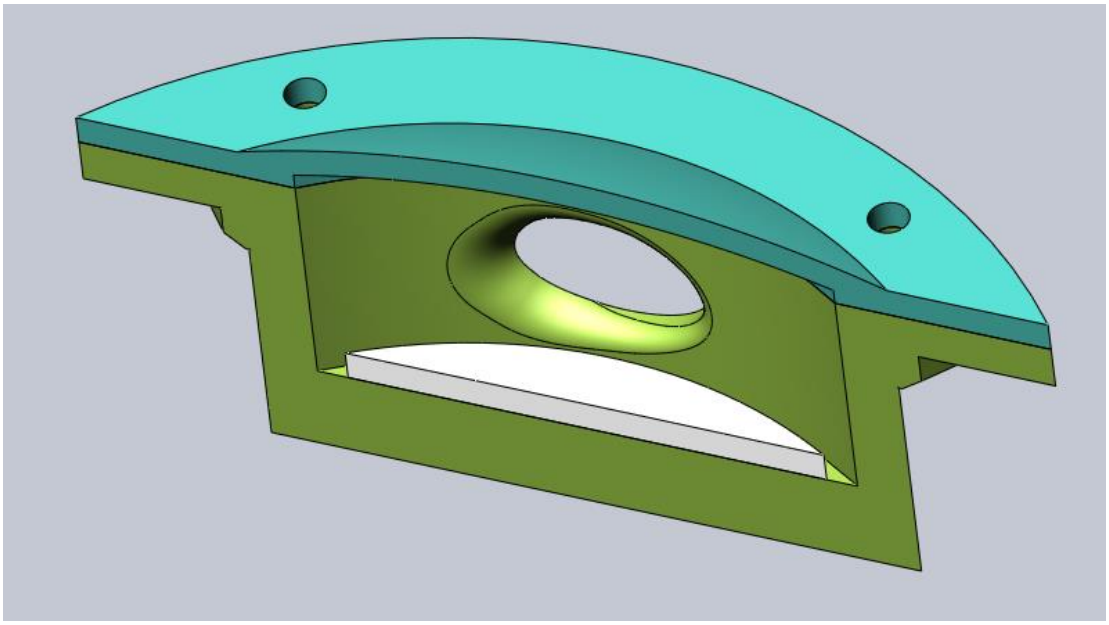


Рис. 9. Форма выходного отверстия

Внешние кромки – острые, внутренние – скруглены.

И хотя не представляется возможным точно рассчитать подобную геометрию, современные САПР наподобие Solidworks позволяют произвести имитационное моделирование процессов течения жидкости [5].

К сожалению, Solidworks не в состоянии воспроизвести сложное движение: крыльчатка вращается в неподвижной жидкости. Но вполне возможно исследовать набегание потока на неподвижны элемент конструкции. В этом случае можно говорить об использовании принципа обращённого движения. На рис. 10 представлена диаграмм распределения скоростей по оси Z частиц жидкости. Можно сделать вывод, что использование скруглений у основания было правильным конструкторским решением. Аналогично рис. 11 иллюстрирует истечение жидкости через выходное отверстие.

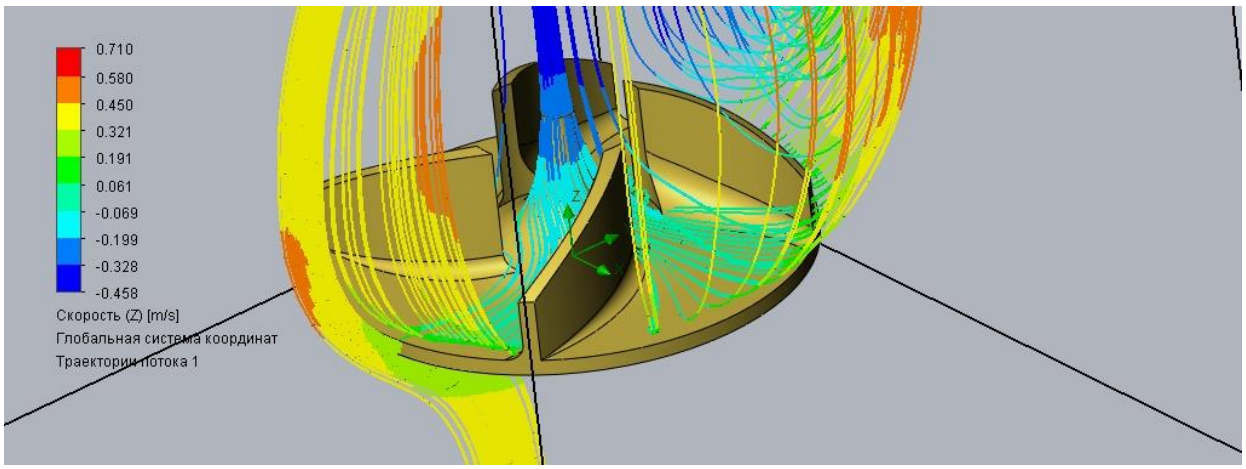


Рис. 10. Моделирование процесса обтекания набегающим потоком

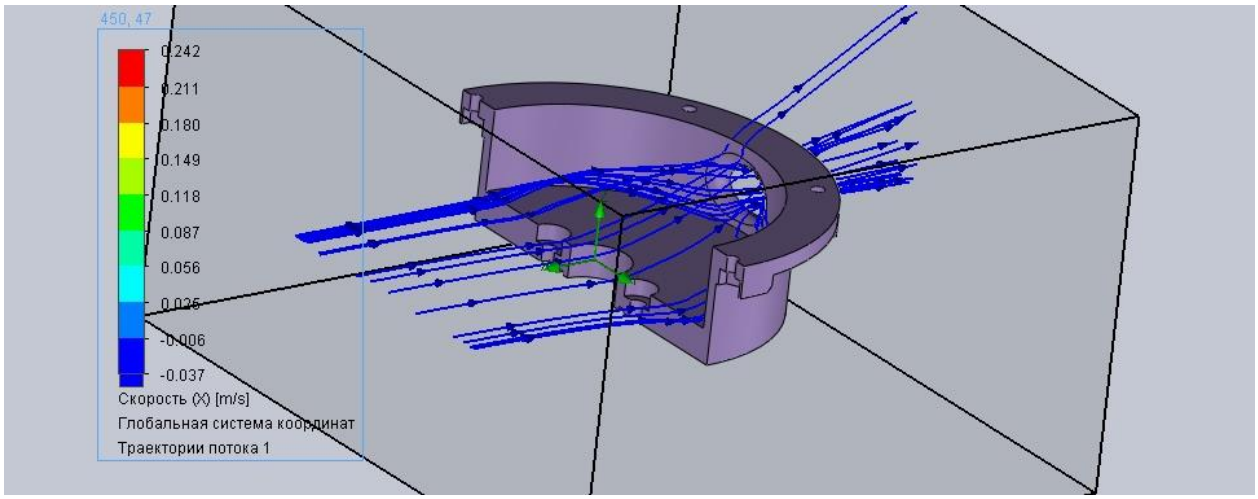


Рис. 11. Моделирование истечения жидкости через выходное отверстие

Теоретически было возможно разработать и более оптимальную конструкцию корпуса – в виде улитки.



Рис. 12. Внешний вид промышленного изделия

На практике выходной патрубок делают расширяющимся, чтобы уменьшить потери на трение по длине [6].

Однако данный вид корпуса трудно изготовить при помощи аддитивных технологий – а именно с помощью 3Д-печати.

Результат разработки представлен на рис. 13:



Рис. 13. Прототип без верхней крышки

Выходной патрубок просто приклеен на термоклей. Это временное решение.

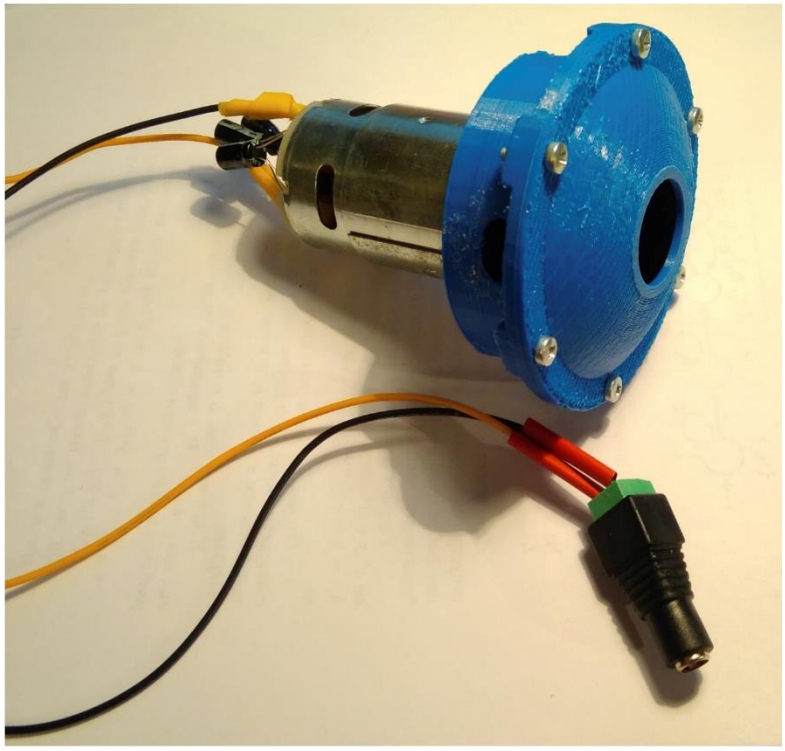


Рис. 14. Готовое устройство

Электролитические конденсаторы большой ёмкости на нижней фотографии включены параллельно. Они призваны уменьшить броски тока при включении питания, так как заторможенный якорь электродвигателя обладает малым активным

сопротивлением. По мере разгона возникает реактивное сопротивления якоря, намного большее активного сопротивления обмоток.

Заключение

В ходе данного исследования автором были сделаны следующие выводы:

- конструирование, очевидно, никогда не бывает однозначным;
- не всё можно рассчитать;
- иногда достаточно учесть лишь качественный характер зависимостей;
- основываясь лишь на конструкторском опыте и на анализе прототипов возможно создать рабочее устройство практически без каких бы то ни было расчётов.

Список литературы

[1]. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б., Байбаков О.В. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. 4-е изд., стер. М.: Альянс. 2010. 423 с.

[2]. Галдин Н.С. Основы гидравлики и гидропривода. Омск: СабАДИ. 2006. 145 с.

[3]. Видехостинг YouTube. Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=5bWDnY4mMMQ (дата обращения 01.02.2018)

[4]. Александр Ченков. Водный насос своими руками. Режим доступа: http://mozgochiny.ru/electronics-2/vodnyiy-nasos-svoimi-rukami/ (дата обращения 10.30.2018)

[5]. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Имитационное моделирование сложных динамических систем. Режим доступа: http://www.exponenta.ru/soft/others/mvs/ds_sim.asp (дата обращения 20.04.2012).

[6]. Свободная энциклопедия Википедия, статья "Гидравлические потери". Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидравлические_потери (дата обращения 15.04.2018)