

Определение влияния основных геометрических параметров отвода насоса НМ 10000-210 на его характеристики.

08, август 2012

DOI: 10.7463/0812.0445666

Ломакин В. О., Артемов А. В., Петров А. И.

УДК 62-137

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

alexsij33@vandex.ru

Для сбора жидкости, выходящей из рабочего колеса, и преобразования скоростного напора в статический, с максимальной разгрузкой ротора от несимметричной силы давления, в данном нефтяном насосе применяется двухзавитковый спиральный отвод.

Принцип построения формы отвода заключается в равномерном снижении пропускной способности отвода от расчетного сечения к «нулевому» сечению (сечение, проходящее через язык отвода) [1]. Форма расчетного сечения строиться по общим рекомендациям и может варьироваться для одного типоразмера насоса. Значение угла установки языка отвода выбирается конструктором самостоятельно и может, как и форма расчетного сечения, варьироваться для одного и того же насоса.

При корректном проектировании формы подводящего устройства потери, возникающие в подводе, много меньше потерь в отводе. Как правило, потери энергии жидкости на трение в отводе составляют до 80 % от общих потерь энергии в насосе. Исходя из сказанного, первоочередным направлением повышения КПД нефтяного насоса НМ 10000-210 является улучшение геометрии отводящего устройства за счет выбора наилучшего сочетания размеров расчетного сечения и угла установки языка отвода.

Ресурс работы данного насоса ограничен ресурсом торцевых уплотнений и ресурсом подшипниковых узлов. Если продолжительность работы торцевых уплотнений связана с качеством изготовления и монтажа уплотнений (хотя также может уменьшаться при высоких нагрузках на ротор вследствие прогиба вала), то ресурс подшипников, помимо качества изготовления и монтажа, зависит от усилий,

возникающих на роторе. Радиальные силы в данной конструкции насоса преобладают над осевыми силами. Основная составляющая радиальных усилий на роторе - это остаточная сила, так как разделительное ребро отвода дает только частичную разгрузку от сил, возникающих из-за несимметричности распределения давления по окружности рабочего колеса. Добиться снижения усилий на роторе насоса можно благодаря профилированию отвода, улучшенная форма которого приведет к более симметричному распределению давления по окружности колеса.

Таким образом, можно утверждать, что значения, как потерь, так и остаточной силы зависят от выбранной формы расчетного сечения отвода и угла установки языка.

Следуя традиционным методикам профилирования двухзавиткового отвода насоса НМ 10000-210 [1], [4] сложно добиться максимальной минимизации указанных выше критериев (гидравлические потери, остаточная радиальная сила на роторе).

В задачи данной работы входит определение таких значений геометрических параметров отвода (размеры расчетного сечения, угол установки языка), при которых его характеристики будут наилучшими, что позволит повысить значение общего КПД насоса. Вопрос нахождения оптимального сочетания геометрических параметров является актуальным, так как на кафедре Э-10 МГТУ им. Н.Э. Баумана ведется разработка модернизированных насосов типа «НМ» в рамках работ по проекту «Разработка и производство отечественных насосных агрегатов нового класса для транспорта нефти (импортозамещающие технологии)» по заказу Нефтекамского машиностроительного завода.

С целью поиска наилучшего сочетания геометрических параметров было ограничено число таких параметров до трех: угол установки языка в плане отвода, угол раскрытия трапеции расчетного сечения отвода, радиус начальной окружности расчетного сечения. Указанные параметры оказывают наибольшее влияние на характеристики отвода, это было определено по результатам предварительных расчетов.

Основные геометрические параметры представлены на рис. 1.

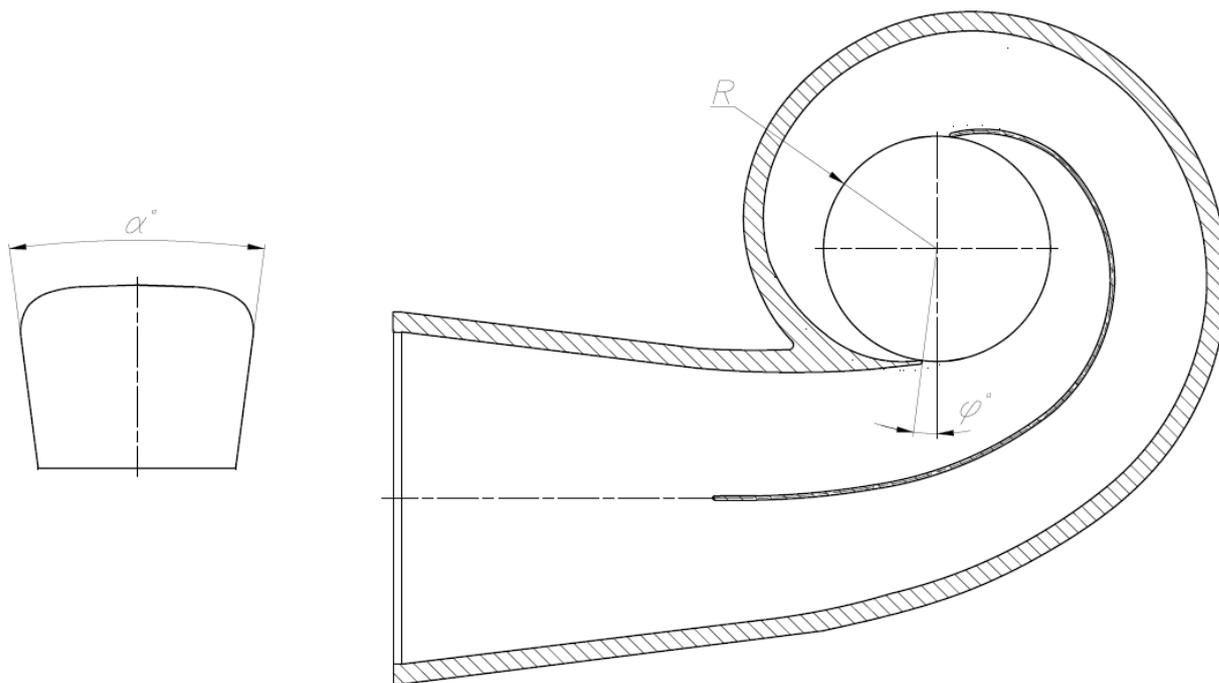


Рисунок 1-Основные геометрические параметры отвода насоса НМ 10000-210

Для того чтобы объективно оценить влияние каждого геометрического параметра и их сочетаний на характеристики насоса необходимо независимо и равномерно распределить пробные точки в 3-х мерном пространстве геометрических параметров. Требование о равномерности распределения параметров можно реализовать с помощью ЛП-тау поиска.

Ограничения на изменение значений геометрических параметров, определяемые конструкцией насоса в целом, имеют следующий вид.

- 1) Пределы изменения угла установки языка φ в плане от 10° до 50° .
- 2) Пределы изменения угла раскрытия трапеции отвода α от 5° до 40° .
- 3) Пределы изменения радиуса начальной окружности R отвода от 260 мм до 340 мм.

Результат расчета сочетаний геометрических параметров для 20 пробных точек представлен в табл. 1.

Сочетания геометрических параметров для отвода насоса НМ 10000-210

| № точки | φ° | α° | R, мм |
|---------|-------------------|------------------|-------|
| 1 | 30 | 22,5 | 300 |
| 2 | 20 | 31,25 | 280 |
| 3 | 40 | 13,75 | 320 |
| 4 | 45 | 26,88 | 270 |
| 5 | 25 | 9,38 | 310 |
| 6 | 35 | 18,13 | 290 |
| 7 | 15 | 35,63 | 330 |
| 8 | 37,5 | 37,81 | 265 |
| 9 | 17,5 | 20,31 | 305 |
| 10 | 47,5 | 11,56 | 285 |
| 11 | 27,5 | 29,06 | 325 |
| 12 | 22,5 | 15,94 | 275 |
| 13 | 42,5 | 33,45 | 315 |
| 14 | 12,5 | 24,69 | 295 |
| 15 | 32,5 | 7,19 | 335 |
| 16 | 26,25 | 23,59 | 262,5 |
| 17 | 46,25 | 6,09 | 302,5 |
| 18 | 16,25 | 14,84 | 282,5 |
| 19 | 36,25 | 32,34 | 322,5 |
| 20 | 31,25 | 10,47 | 272,5 |

Вычисление характеристик отвода проводилось в программе STAR CCM+ с помощью гидродинамического моделирования течения в отводе. Для проведения расчетов в STAR CCM+ необходимо иметь твердотельную модель жидкости находящейся в отводящем устройстве. Данные модели были построены для всех 20-ти

сочетаний геометрических параметров отвода. Пример твердотельной модели в программе САПР представлен на рис. 2.

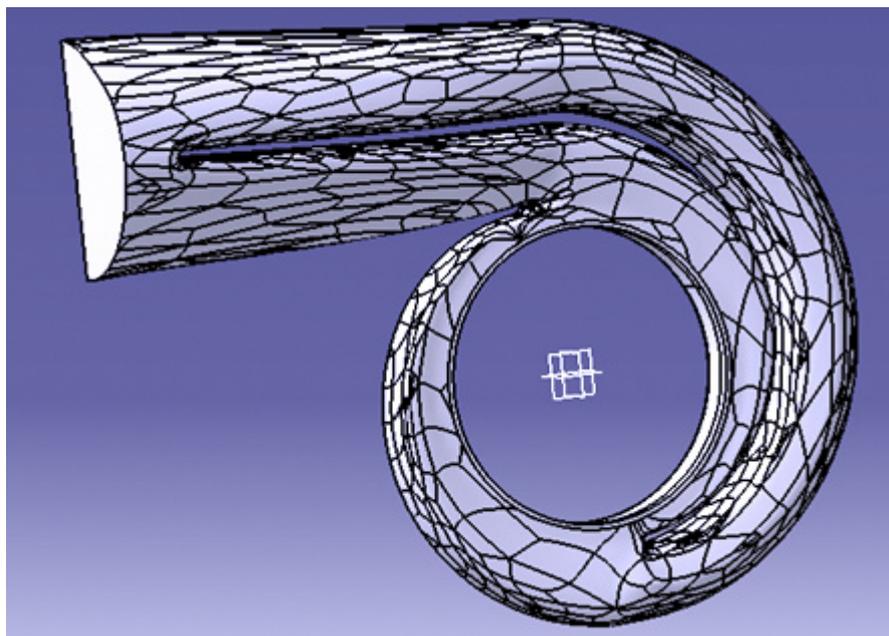


Рисунок 2-Твердотельная модель внутреннего объема жидкости в отводящем устройстве насоса НМ 10000-210

Далее каждая модель была подвергнута гидродинамическому моделированию. Расчетная сетка, построенная в программе STAR CCM+ в области языка отвода (область возникновения вихрей) представлена на рис. 3.

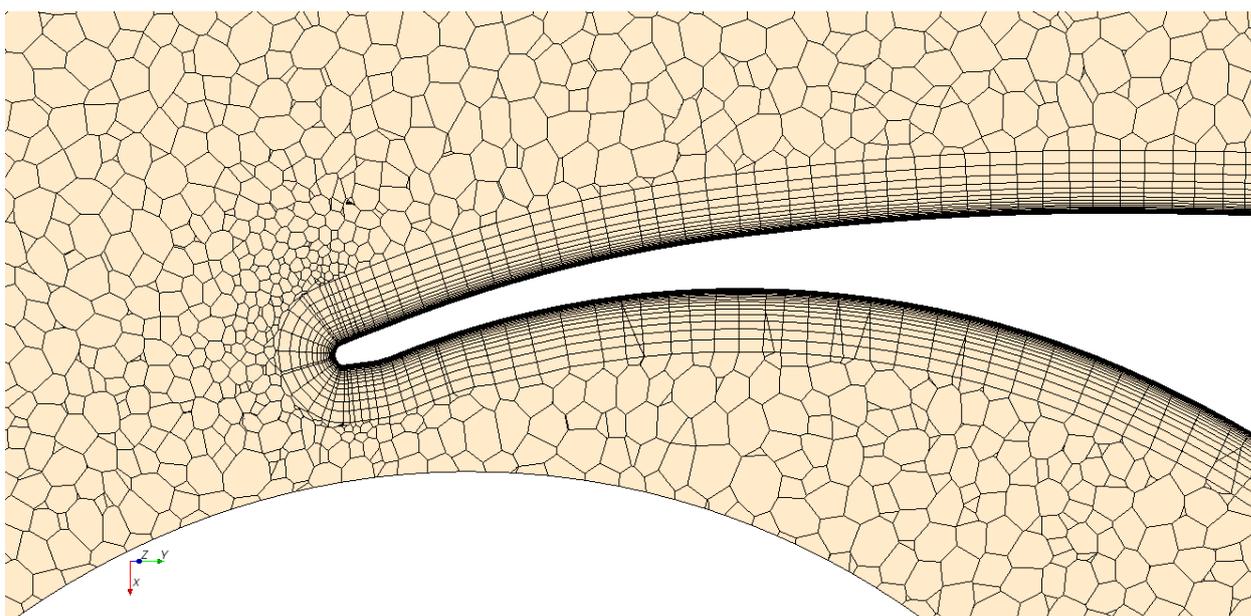


Рисунок 3-Расчетная сетка в области языка отвода насоса НМ 10000-210

По результатам расчета были получены значения радиальной силы на роторе и потерь в отводе при 20 сочетаниях геометрических параметров. Результат представлен в табл. 2.

Таблица 2

Полученные в результате расчета значения характеристик отвода насоса НМ 10000-210

| № точки | Радиальная сила на роторе F, Н | Потери напора Δh , м |
|---------|--------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2859 | 13,6 |
| 2 | 872 | 20,46 |
| 3 | 413,3 | 19,04 |
| 4 | 8436 | 24,19 |
| 5 | 847 | 13,76 |
| 6 | 6979,7 | 20,83 |
| 7 | 1070,9 | 18,51 |
| 8 | 7408 | 18,36 |
| 9 | 570,5 | 17,43 |
| 10 | 2626,3 | 17,4 |
| 11 | 5279,6 | 12,77 |
| 12 | 1077 | 18,3 |
| 13 | 2463 | 14 |
| 14 | 810 | 17 |
| 15 | 964 | 11,62 |
| 16 | 2380 | 19 |
| 17 | 1627,8 | 17,7 |
| 18 | 3633,6 | 20,3 |
| 19 | 3698,8 | 13,6 |
| 20 | 755 | 16,7 |

Результаты расчета в форме диаграмм представлены для потерь и радиальных сил в зависимости от номера пробной точки на рисунках 4 и 5 соответственно.

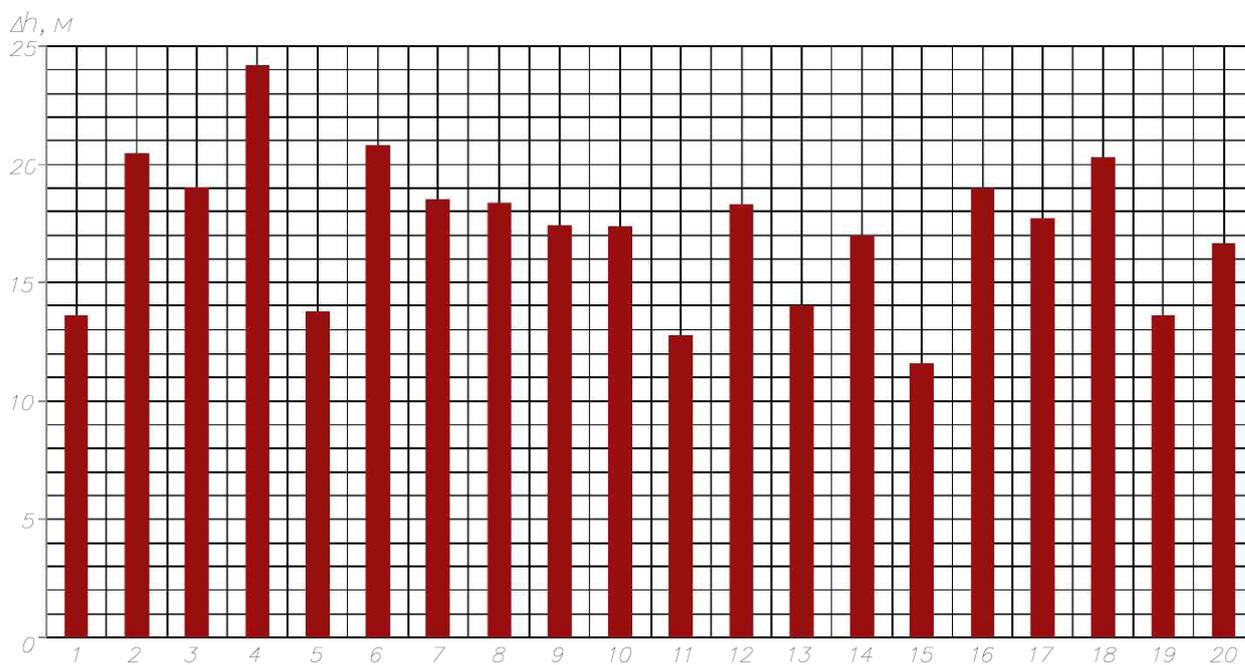


Рисунок 4-Гидравлические потери на трение в зависимости от номера пробной точки

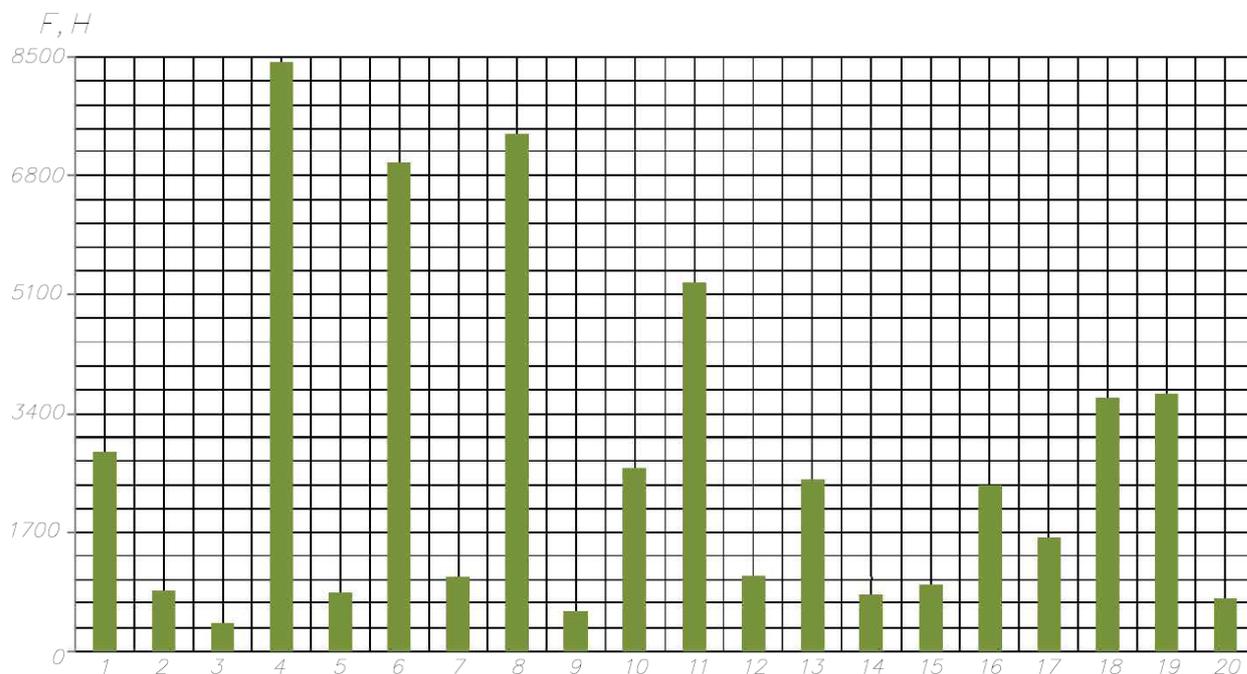


Рисунок 5-Радиальная сила на роторе насоса в зависимости от номера пробной точки

Для оценки результатов гидродинамического моделирования составим диаграмму сочетаний значений варьируемых параметров для каждой пробной точки, рисунок 6.

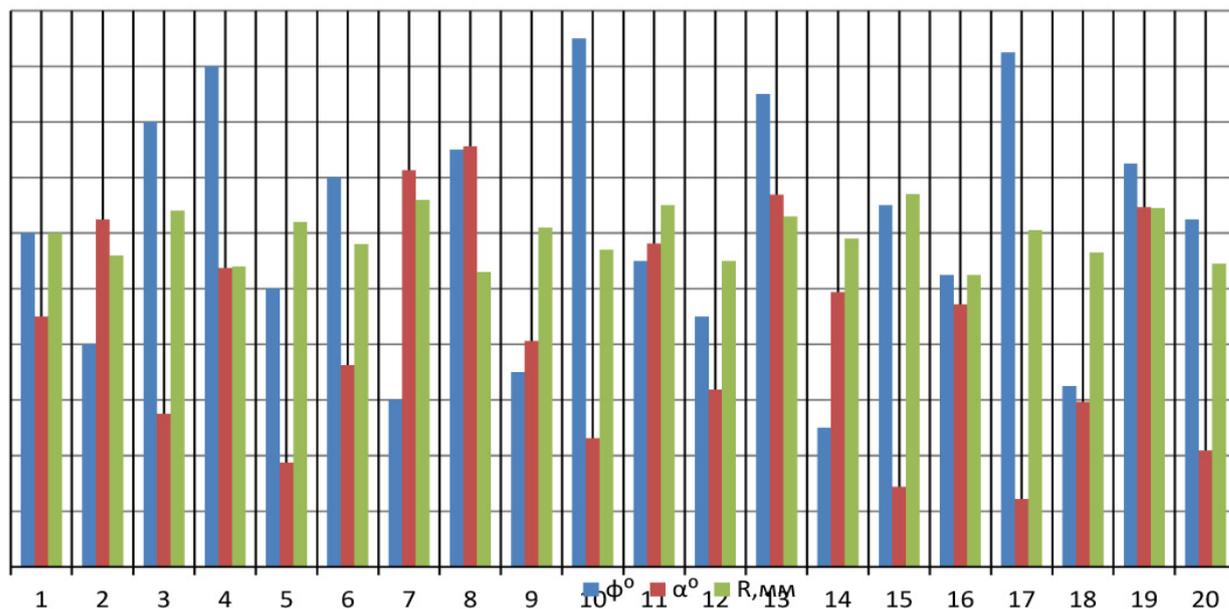


Рисунок 6-значения геометрических параметров для каждой пробной точки

Исходя из представленных диаграмм, можно сделать следующие выводы.

1) При значении угла ϕ от 35° до 45° возникают максимальные усилия на роторе (8436...6979,7 Н) с условием, если значения угла α находятся в пределах 18° ... 27° при этом значение R не должно превышать 300 мм (270 мм...290 мм).

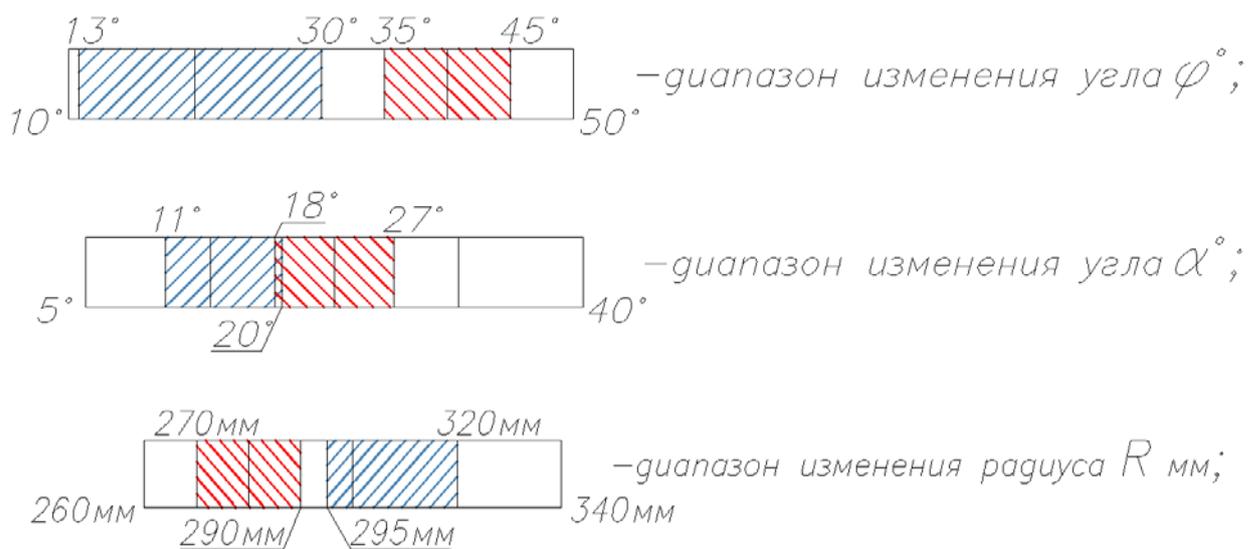
Наименьшие же значения силы (413,3...847 Н) достигаются при ϕ от 13° до 30° , α от 11° до 20° , R от 295 мм до 320 мм.

2) При значении угла ϕ от $27,5^{\circ}$ до $32,5^{\circ}$, α от $7,19^{\circ}$ до 29° , R от 300 мм до 335 мм потери энергии жидкости на трение имеют наименьшие значения (11,62...13,6 м).

Наибольшие гидравлические потери (24,19...20,46 м) возникают при ϕ от 20° до 45° , α от 18° до 31° , R от 270 мм до 290 мм.

Таким образом, рекомендации по выбору значений геометрических параметров имеют следующий вид.

1) По условию минимизации радиальных усилий на роторе, рисунок 7.



 — значения изменяемых параметров при которых величина радиальной силы имеет значения >6979 Н;

 — значения изменяемых параметров при которых величина радиальной силы имеет значения <847 Н;

Рисунок 7-Выбор геометрических параметров по условию минимизации радиальных усилий на роторе

При этом попадание даже одного из варьируемых параметров в «красную зону» дает завышенные значения радиальной силы. Незаштрихованные области соответствуют отводам, дающим промежуточные значения радиальных сил.

2) По условию минимизации гидравлических потерь на трение, рисунок 8.

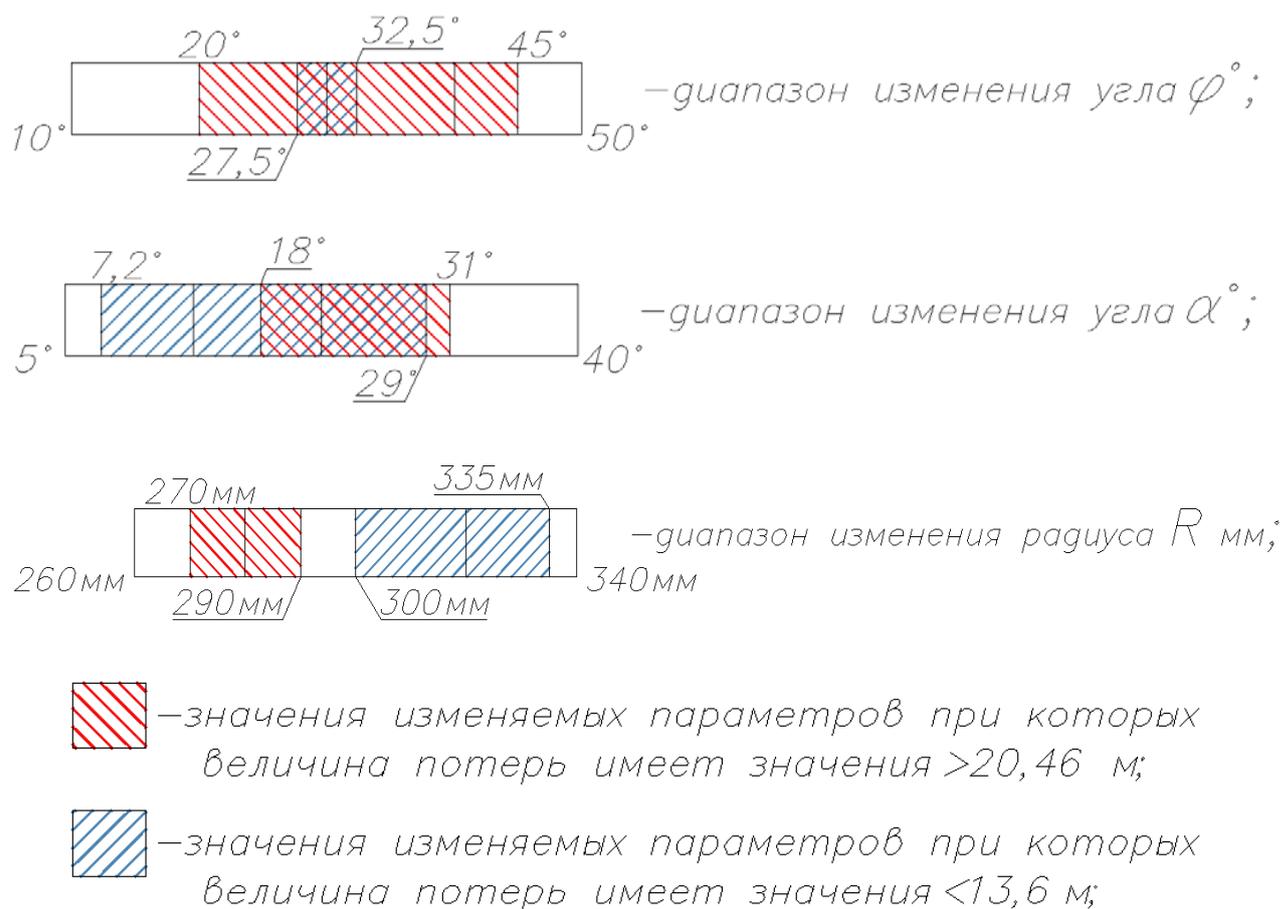


Рисунок 8-Выбор геометрических параметров по условию минимизации гидравлических потерь на трение

Так как диапазоны изменения угла φ и α для наилучших и наихудших вариантов имеют перекрывающиеся области, определяющее значение имеет попадание радиуса начальной окружности в интервал 300...320 мм.

При выборе геометрических параметров отвода необходимо максимально минимизировать гидравлические потери на трение, так как потери на трение жидкости в отводе оказывают существенное влияние на значение общего КПД насоса.

Исходя из этого, наилучшим вариантом сочетания геометрических параметров для отвода насоса НМ 10000-210 является вариант № 15.

Эпюра распределения давления в отводе с сочетанием геометрических параметров №15 и скалярное распределение скоростей представлены на рисунках 9 и 10 соответственно.

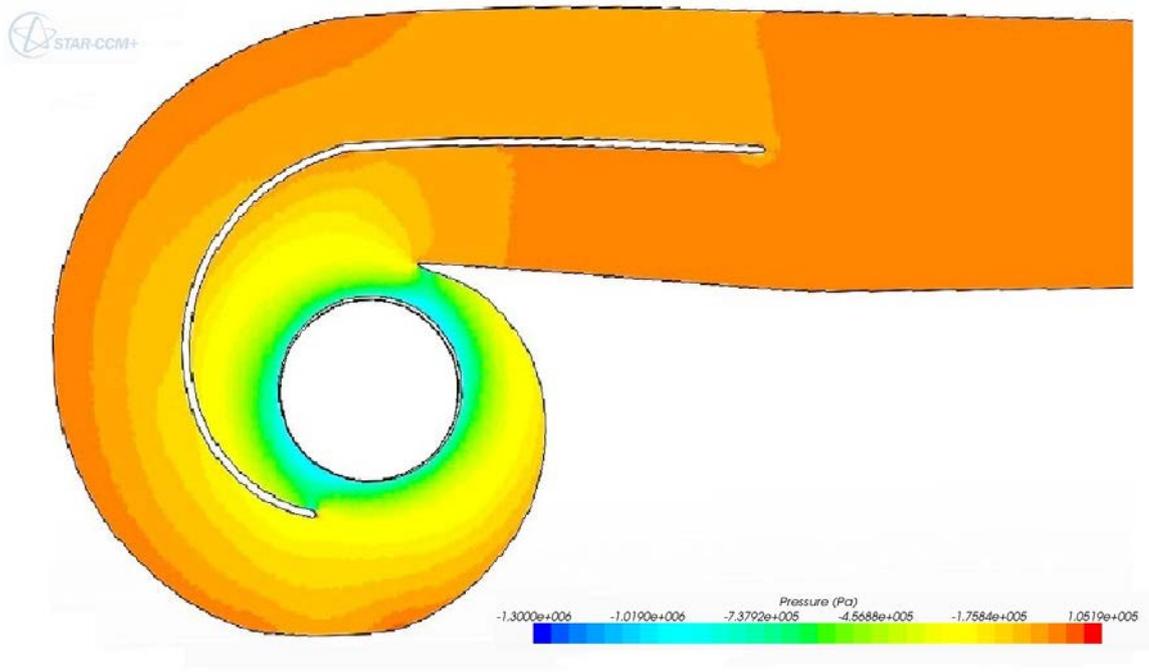


Рисунок 9-Эпюра распределения давления в отводе №15

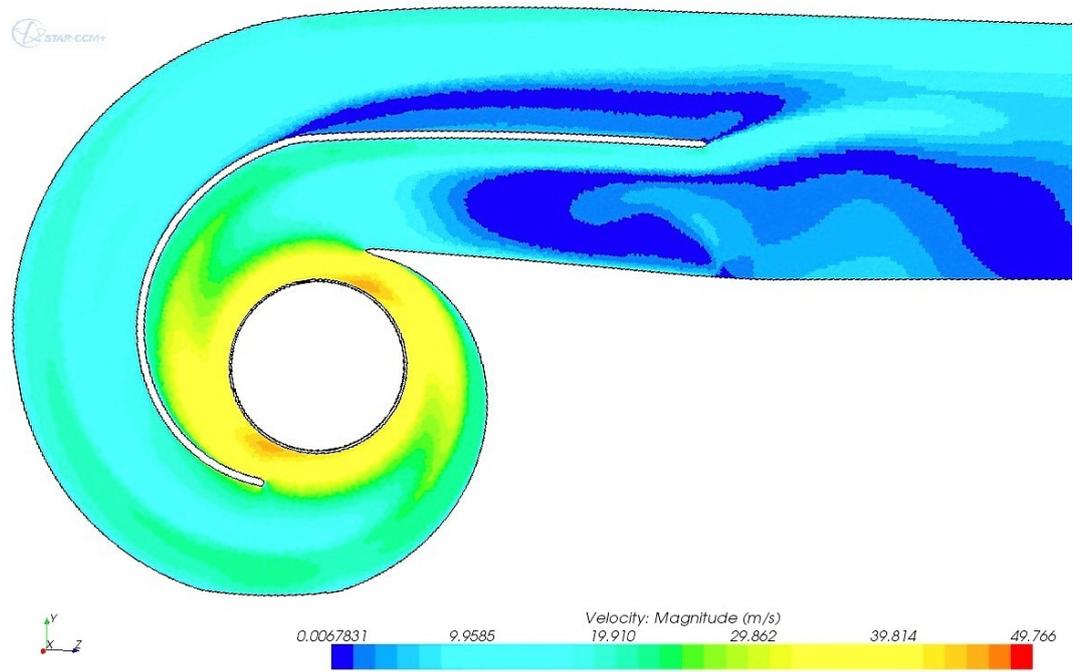


Рисунок 10-Скалярное распределение скоростей в отводе №15

Заключение. В данной работе было определено влияние основных геометрических параметров отвода насоса НМ 10000-210 (угол установки языка в плане отвода, угол раскрытия трапеции

расчетного сечения отвода, радиус начальной окружности расчетного сечения) на его характеристики. После систематизации результатов гидродинамического моделирования, были выявлены закономерности изменения характеристик отвода в зависимости от значений выбранных параметров. Выявленные закономерности позволили дать ряд рекомендаций по выбору значений указанных параметров, которые при проектировании отводящего устройства дают возможность добиться наименьших величин как остаточной радиальной силы на роторе насоса, так и гидравлических потерь жидкости на трение, что, в свою очередь, повысит значение общего КПД насоса НМ 10000-210.

Список литературы

1. Петров А.И., Козлов С.Н. Расчет и проектирование отводящих устройств центробежных насосов. Ч. 1. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 311 с.
3. STAR CCM+ User Guide 6.02 / Компания «Саровский Инженерный Центр». Режим доступа: http://www.saec.ru/STAR_CCM_userguide/ (дата обращения 21.08.2012).
4. Машин А.Н. Расчет и проектирование спирального отвода и полуспирального подвода центробежного насоса. М.: МЭИ, 1980. 44 с.

Determining the impact of basic geometric parameters drain pump NM 10000-210 on its performance

08, August 2012

DOI: 10.7463/0812.0445666

Lomakin V.O., Artemov A.V., Petrov A.I.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

alexsij33@yandex.ru

The paper describes the choice of main criteria for assessing the quality of building a drainage pump NM10000-210. The aim of selection of the main criteria is correct assessment of optimization of building drainage through simulation program STAR CCM +. According to simulation results values of evaluation criteria for 20 sample points were obtained. Further, after analyzing the simulation results and geometric parameters the authors defined ranges of changed geometrical parameters for which the quality criteria of profiling have the lowest / highest values. They suggest choosing the settings jointly by two criteria of quality assessment, while the determining criterion is minimization of friction losses.

Publications with keywords:[geometrical parameters](#), [computational fluid dynamic](#), [criteria for assessing the quality](#), [recommendations on the choice of geometrical parameters](#)

Publications with words:[geometrical parameters](#), [computational fluid dynamic](#), [criteria for assessing the quality](#), [recommendations on the choice of geometrical parameters](#)

References

1. Petrov A.I., Kozlov S.N. *Raschet i proektirovanie otvodiashchikh ustroystv tsentrobezhnykh nasosov. Ch. 1* [Calculation and design of drain device of centrifugal pumps. Pt. 1]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004.
2. Sobol' I.M. *Chislennye metody Monte-Karlo* [Numerical Monte Carlo methods]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 311 p.
3. *STAR CCM+ User Guide 6.02*. Available at the site of «Sarovskii Inzhenernyi Tsentr» [“Sarov Engineering Center”]: http://www.saec.ru/STAR_CCM_userguide/, accessed 21.08.2012.

4. 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.