

УДК 622.276

<https://doi.org/10.36906/KSP-2023/63>

Думлер Е.Б.

ORCID: 0000-0002-3370-5352, канд. техн. наук

Уразаков К.Р.

ORCID: 0000-0003-2202-396X, д-р техн. наук

Зинатуллина Э.Я.

ORCID: 0009-0002-7925-534X, канд. техн. наук

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Россия*

Левшук А.Д.

ORCID: 0009-0008-1838-3042

*Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОТОКА ФЛЮИДА В ОБРАТНОМ КЛАПАНЕ ПОГРУЖНОГО НАСОСА

Аннотация. В статье представлен анализ основных отказов погружного оборудования, не малая часть которых связана с выходом из строя обратных клапанов. Используя методику моделирования, выявлено, что отказ клапанов в первую очередь вызван агрессивностью среды и воздействием турбулентности потока. В статье представлен анализ моделей потока жидкости, проходящей через обратный клапан насоса, имеющий различную геометрическую форму затвора клапана. В результате рекомендована обтекаемая клинообразная сверху и плавно округленная снизу форма затвора клапана, которая показала минимальную турбулентность потока.

Ключевые слова: обратный клапан; лопастной насос; геометрия затвора клапана; вихреобразование; турбулентность.

Dumler E.B.

ORCID: 0000-0002-3370-5352, Candidate of Technical Sciences

Urazakov K.R.

ORCID: 0000-0003-2202-396X, Doctor of Technical Sciences

Zinatullina E.Ya.

ORCID: 0009-0002-7925-534X, Candidate of Technical Sciences

Ufa State Petroleum Technical University

Ufa, Russia

Levshuk A.D.

ORCID: 0009-0008-1838-3042

Nizhnevartovsk State University

Nizhnevartovsk, Russia

STUDY OF THE MOVEMENT OF FLUID FLOW IN THE CHECK VALVE OF A SUBMERSIBLE PUMP

Abstract. The article presents an analysis of the main failures of submersible equipment, not a small part of which is associated with the failure of check valves. Using a modeling technique, it was revealed that valve failure is primarily caused by the aggressiveness of the environment and the impact of flow turbulence. The article presents an analysis of models of fluid flow passing through a

pump check valve, which has a different geometric shape of the valve gate. As a result, a streamlined valve gate shape, wedge-shaped at the top and smoothly rounded at the bottom, was recommended, which showed minimal flow turbulence.

Keywords: check valve; vane pump; valve gate geometry; vortex flow; turbulence.

Погружные электроприводные центробежные (лопастные) установки, введены в эксплуатацию в середине XX века и по настоящее время остаются наиболее востребованным и эффективным оборудованием для добычи нефти [1; 2]. Межремонтный период является основным показателем, характеризующим процесс эксплуатации скважин лопастными установками. Из рисунка 1 видно, что не малая их часть связана с износом обратного клапанного узла.

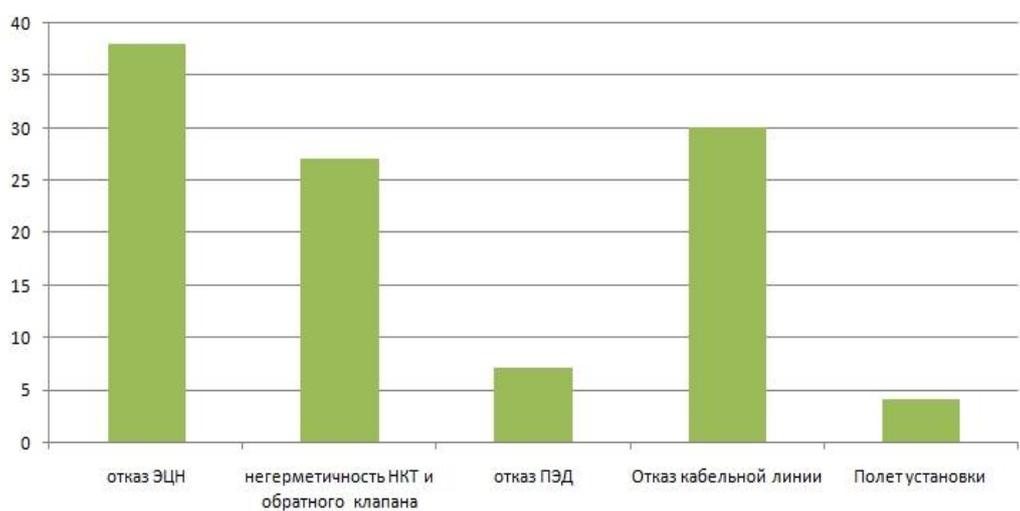


Рис. 1. Виды отказов погружного насоса

Процесс износа происходит в результате воздействия турбулентности потока среды, в состав которого входят абразивные примеси, пузырьки попутного газа [3]. Турбулентный поток с неоднородной структурой на выкиде лопастного насоса способен повысить уровень вибрации, и таким образом увеличить количество внезапных отказов лопастного насоса [7]. Для того, чтобы решить проблему преждевременного износа клапанов разработан целый ряд технических решений, что подтверждается большим количеством патентов. Патентный анализ показал, что решить эту задачу можно, замедлив процесс вихреобразования. Для чего предлагается использовать клапан с обтекаемой формой затвора в виде капли [6-8].

Материалы и методы

Геометрическая форма деталей клапана является основным фактором, определяющим значение коэффициента гидравлического сопротивления тела. Перекачиваемый флюид, перемещаясь в клапане, меняет направление так, что отрывается от поверхности его проточного канала, и это создает вихревые потоки [4; 8].

В процессе исследований получены спектры потока (рис. 2) [2] перекачиваемого флюида в клапанных парах с различной геометрической формой затвора клапана, анализ которых

показал, что каплевидная форма тела (рис. 2, в) [2] более обтекаема и поток флюида в таком клапане максимально сглаженный. Каплевидную форму характеризует длинная клинообразная часть вверху и плавно закругленный низ.

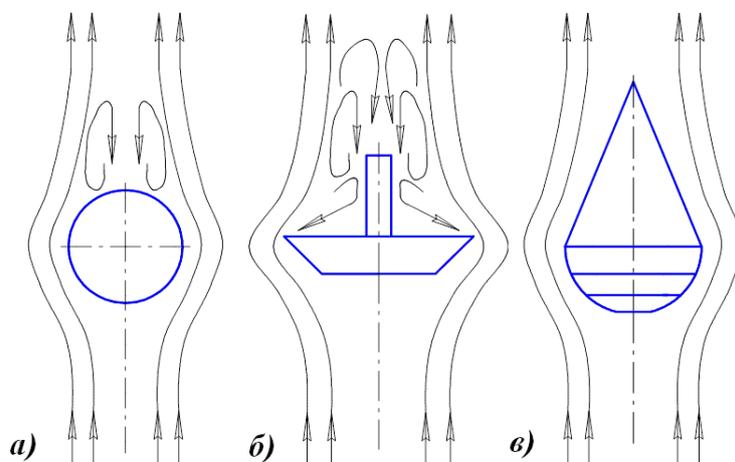


Рис. 2. Спектры потока

В цифровом программном комплексе Компас 3D спроектированы модели клапанных узлов с каплевидной (рис. 3, а) и тарельчатой (рис. 3, б) формами затворов клапанов.

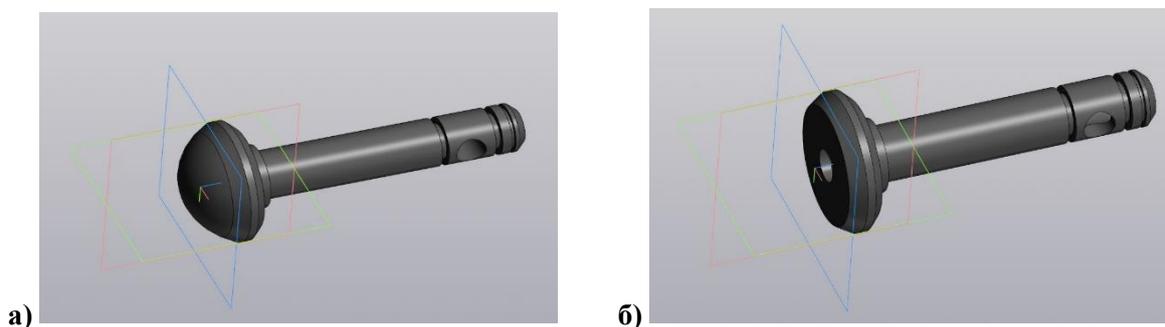


Рис. 3. Различные формы затворов в 3D-модели: а) Каплевидная форма затвора клапана (3D-модель); б) Тарельчатая форма затвора клапана (3D-модель)

Из цифрового поля программы Компас полученные модели интегрировали в цифровое поле программы ANSYS и создали модель с геометрией клапана с каплевидной формой затвора.

Для продолжения экспериментальных исследований затвору клапана и флюиду подобрали параметры и присвоили материалы, а затем произвели расчеты потока для клапанов с различной геометрией формы затвора (рис. 4, 5) [2].

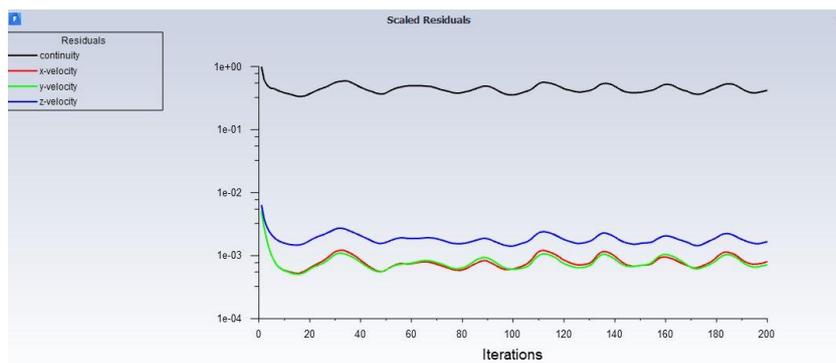


Рис. 4. Расчет для клапана с каплевидной формой

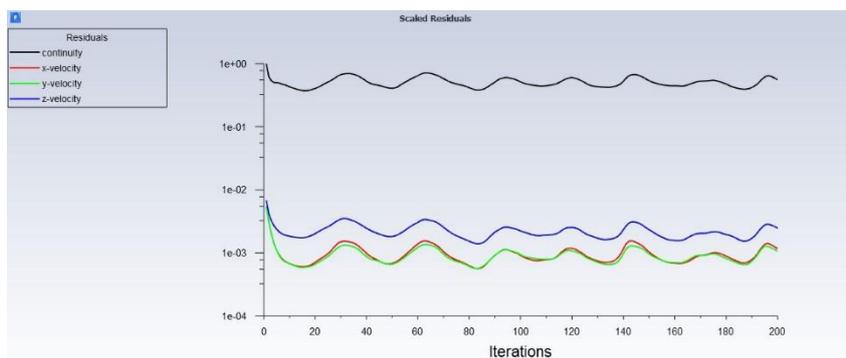


Рис. 5. Расчет для клапана с тарельчатой формой

Результатом расчета стала оценка вихреобразования в потоке и степени снижения гидравлического сопротивления. Как видно из полученных на рисунках 4 и 5 расчетных зависимостей степень образования вихревых потоков в клапане с каплевидной формой затвора значительно ниже и поток стабильнее.

Результаты

Сравнительный анализ степени влияния геометрической формы затвора клапана на создание вихревых потоков (рис. 6, 7) [2] дал возможность определить и оценить степень сопротивления гидравлическому потоку жидкости при различных формах затвора клапана.

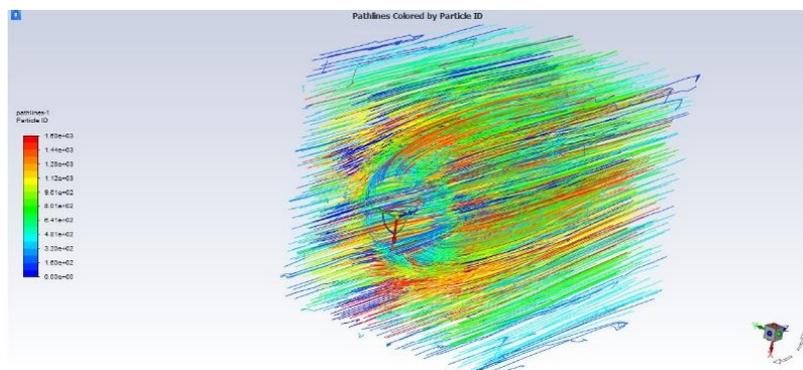


Рис. 6. Движение жидкости при геометрии клапана тарельчатой формы

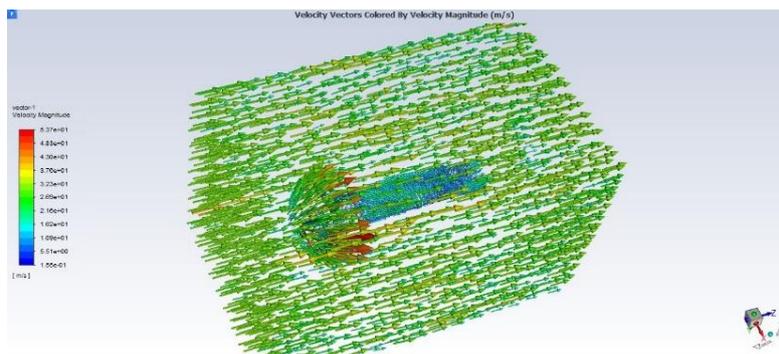


Рис. 7. Движение жидкости при геометрии клапана каплевидной формы

Цифровое поле ANSYSa позволило смоделировать образующиеся потоки флюида в клапанном узле (рис. 8) [2].

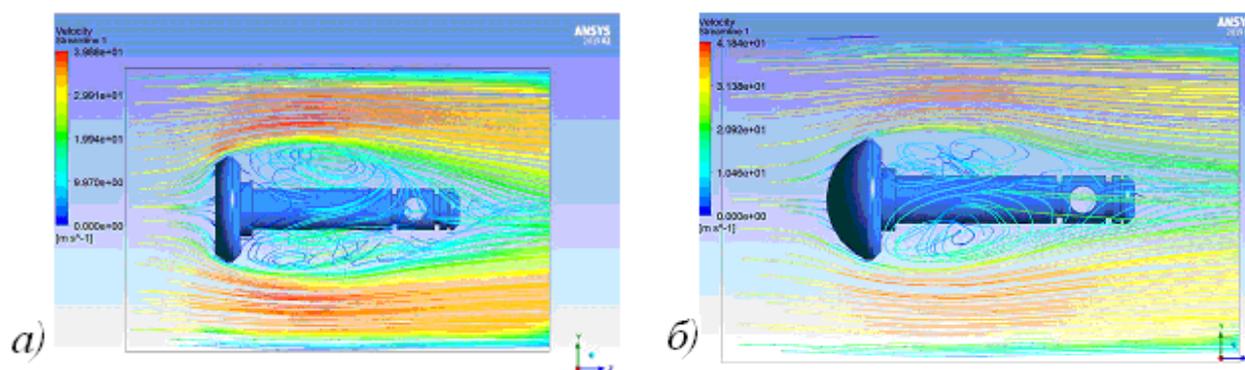


Рис. 8. Модели образования вихревых потоков в клапане:
а – тарельчатая форма; б – каплевидная форма

Результаты исследований показали, что каплевидный профиль затвора клапана обладает обтекаемой формой и его использование в конструкции клапана максимально снижает степень турбулентности потока флюида. Анализ процесса образования вихрей показал, что поток флюида в клапане с каплевидной формой затвора наиболее стабилен, поскольку через клапанный узел с такой формой затвора жидкость перетекает со скоростью 4,2 м/с, а через тарельчатый затвор – 3,9 м/с.

Результаты моделирования, полученные при проведении исследований в цифровом поле ANSYS дали возможность оценить скорости процесса образования вихревого потока в клапанном узле. Результаты исследований позволили сделать вывод, что более обтекаемую форму имеет профиль тела клапана с плавно закругленной нижней частью и более длинной клинообразной верхней частью, позволяет максимально снизить турбулентность потока перекачиваемой жидкости.

Сравнительный анализ процессов вихреобразования при исследуемых формах тела клапана показал, что вихреобразования в клапане с каплевидной формой тела значительно меньше и поток наиболее стабилен. Через каплевидную форму тела клапана поток жидкости проходит со более высокой скоростью 4,2 м/с, а через тарельчатую – 3,9 м/с. Применение

такой формы обеспечит ламинарное течение перекачиваемой жидкости с минимальными завихрениями.

Литература

1. Гинзбург М.Я., Ивановский В.Н. К вопросу о влиянии условий эксплуатации на фактический срок полезного использования оборудования установок скважинных электроприводных лопастных насосов // Территория Нефтегаз. 2018. № 12. С. 56-63.
2. Думлер Е.Б., Зинатуллина Э.Я., Вахитова Р.И. Исследование модели потока пластовой жидкости в клапаном узле установки погружного электроцентробежного насоса // Булатовские чтения. 2020. Т. 6. С. 103-108. EDN VCJSPW.
3. Ивановский В.Н., Дроздов А.Н. Анализ современного состояния и перспектив развития скважинных насосных установок для добычи нефти // Территория Нефтегаз. 2007. № 11. С. 36-47.
4. Ивановский В.Н., Сазонов Ю.А., Балака Н.Н. Испытания новых ступеней погружных насосов для добычи нефти // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2007. № 1. С. 55-56.
5. Патент № 2787446 С1 Российская Федерация, МПК F04D 13/10, F16C 17/02, F16C 27/06. Скважинный лопастной насос: № 2022118215: заявл. 05.07.2022: опубл. 09.01.2023 / Смирнов Н.И., Григорян Е.Е., Тимошенко В.Г., Пятов И.С., Ивановский В.Н., Леонов В.В.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «РЕАМ-РТИ».
6. Патент № 2686128 С1 Российская Федерация, МПК E21B 34/08, F16K 15/04. Клапан обратный: № 2018134573: заявл. 02.10.2018: опубл. 24.04.2019 / Пятов И.С., Григорян Е.Е., Ивановский В.Н., Воробьева Л.В.; заявитель Пятов И.С.
7. Патент на полезную модель № 161445 U1 Российская Федерация, МПК F04D 13/10, F04D 29/047. Насос погружной электроцентробежный с пакетной схемой сборки рабочих ступеней: № 2015116838/06: заявл. 30.04.2015: опубл. 20.04.2016 / Егоров В.В., Бойко И.В., Пылаев С.А.; заявитель Открытое акционерное общество «Сургутнефтегаз». EDN ZHQPKX
8. Патент на полезную модель № 108104 U1 Российская Федерация, МПК E21B 43/38. Скважинное устройство для очистки флюида: № 2011124800/03: заявл. 20.06.2011: опубл. 10.09.2011 / Ивановский В.Н., Сазонов Ю.А., Сабиров А.А., Заякин В.И., Якимов С.Б.; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина».

© Думлер Е.Б., Уразаков К.Р., Зинатуллина Э.Я., Левшук А.Д., 2024