

УДК 621.65.001.57:004.942

Математическое моделирование бурового насоса: установка коленчатого вала, анализ стабилизирующего эффекта

Петров Сергей Евгеньевич^(*)

sergey.petrov6991@gmail.com

SPIN-код: 8987-1848

УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Представлена доработанная математическая модель бурового насоса УНБТ-1180, реализованная в MATLAB Simulink с применением библиотеки Simscape Multibody и упрощенных CAD-моделей. В отличие от предыдущей одно-поршневой версии, в модель введен коленчатый вал, объединяющий три кривошипно-шатунных механизма, а также пневмокомпенсатор. Показано влияние вала на стабилизацию подачи жидкости и снижение пульсаций давления. Рассмотрена замена входного воздействия с крутящего момента на угловую скорость, что приближает модель к реальной конструкции. Сделаны выводы о необходимости включения зубчатой передачи и привода в следующих итерациях модели. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения многотельного моделирования для построения цифровых двойников буровых насосов.

Ключевые слова: буровой насос, математическое моделирование, кривошипно-шатунный механизм, коленчатый вал, Simulink, Simscape Multibody

Mathematical modeling of a drilling pump: installation of a crankshaft, analysis of the stabilizing effect

Petrov Sergey Evgenievich^(*)

sergey.petrov6991@gmail.com

SPIN-code: 8987-1848

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Abstract. The paper presents an improved mathematical model of the UNBT-1180 drilling pump implemented in MATLAB Simulink using the Simscape Multibody library and simplified CAD models. Unlike the previous single-piston version, the model introduces a crankshaft combining three crank-slider mechanisms, as well as a pneumatic compensator. The influence of the crankshaft on stabilizing fluid delivery and reducing pressure pulsations is demonstrated. The replacement of torque input with angular velocity is considered, bringing the model closer to the real design. It is concluded that a gear transmission and a drive should be included in further iterations. The obtained results confirm the feasibility of using multibody modeling for creating digital twins of drilling pumps.

Keywords: drilling pump, mathematical modeling, crankshaft, crank-slider mechanism, Simulink, Simscape Multibody

Введение. В предыдущей работе [1] была реализована модель одного поршня бурового насоса УНБТ-1180. В данной статье производится расширение модели до трехпоршневой конфигурации с добавлением коленчатого вала с подачей

угловой скорости на него, и пневмокомпенсатора, как это реализовано в реальном насосе. Целью работы является демонстрация влияния коленчатого вала на стабильность работы насоса и расширение математической модели.

Материалы и методы. Описание конструкции насоса представлено в работе [1]. Моделирование выполнено в MATLAB Simulink с использованием библиотеки Simscape Multibody. CAD-модели разработаны в SolidWorks и упрощены для динамического анализа. В модель введен коленчатый вал, объединяющий три КШМ, каждый из которых связан с отдельным гидроблоком. Параметры моделирования частично (в связи с ограничениями модели) согласованы с паспортными данными на насос [2].

В трех-поршневую обновленную систему добавлены:

- два дополнительных блока КШМ с блоками Multibody;
- два дополнительных гидроблока;
- добавлен пневмокомпенсатор, который сглаживает пики давления;
- добавлен блок коленчатого вала с заданной угловой скоростью 12 рад/с [3];
- в каждый гидроблок добавлен расходомер.

Новый общий вид системы представлен на рис. 1.

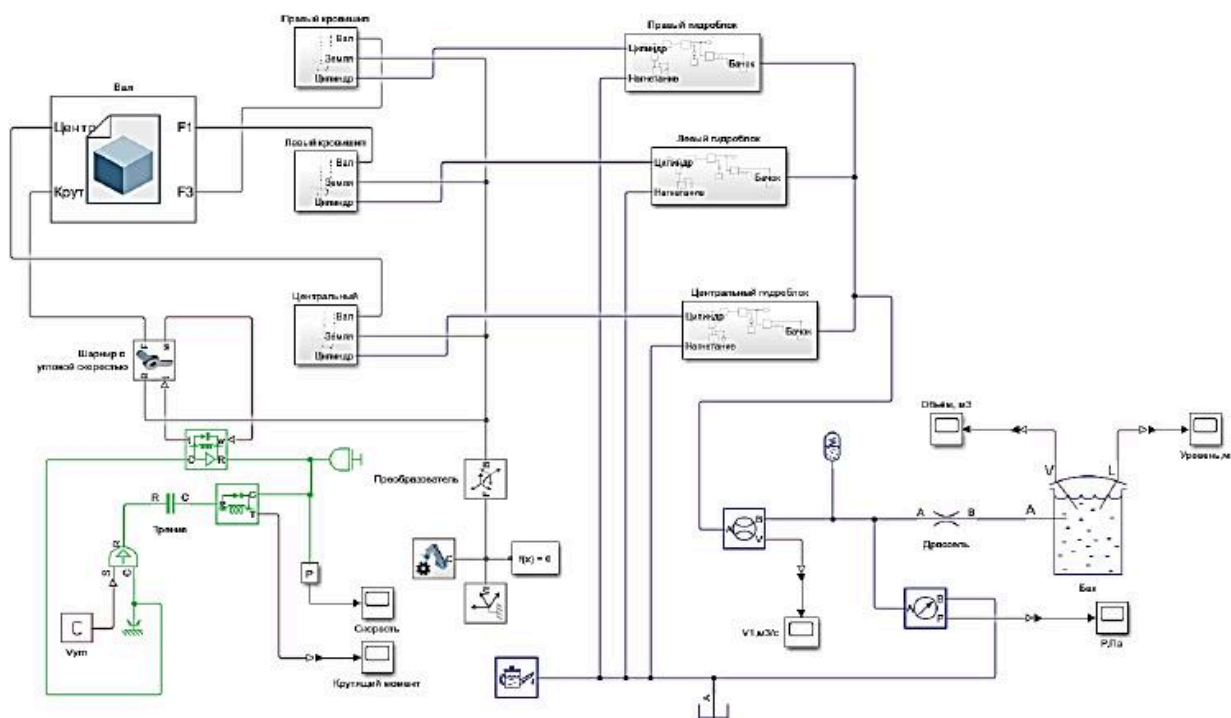


Рис. 1. Общий вид системы

Результаты. Система КШМ изменилась:

- теперь из нее исключен блок Solid с балкой, которая удерживала кривошип на оси и выполнен выход на коленчатый вал;
- механическая система выведена в общее поле и подключена к коленчатому валу.

Измененная система КШМ представлена на рис. 2.

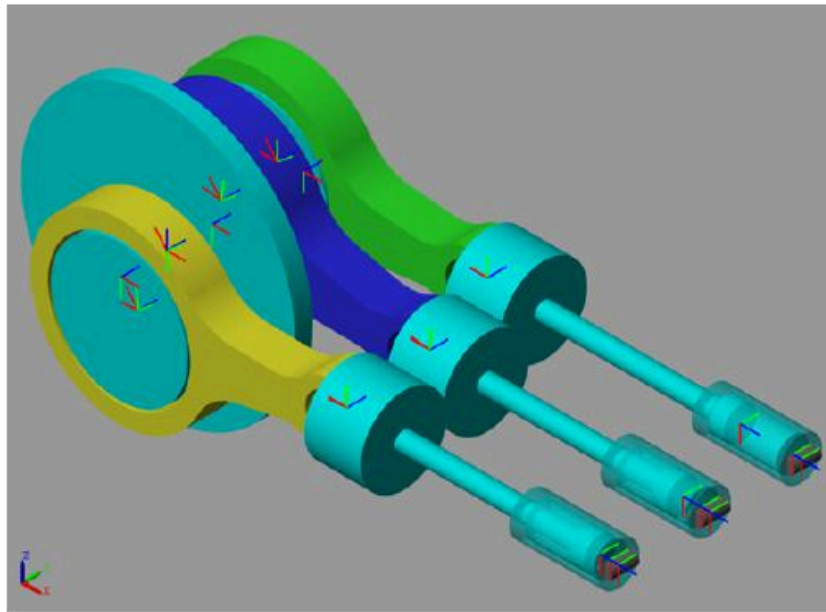


Рис. 3. Модель трехпоршневой группы

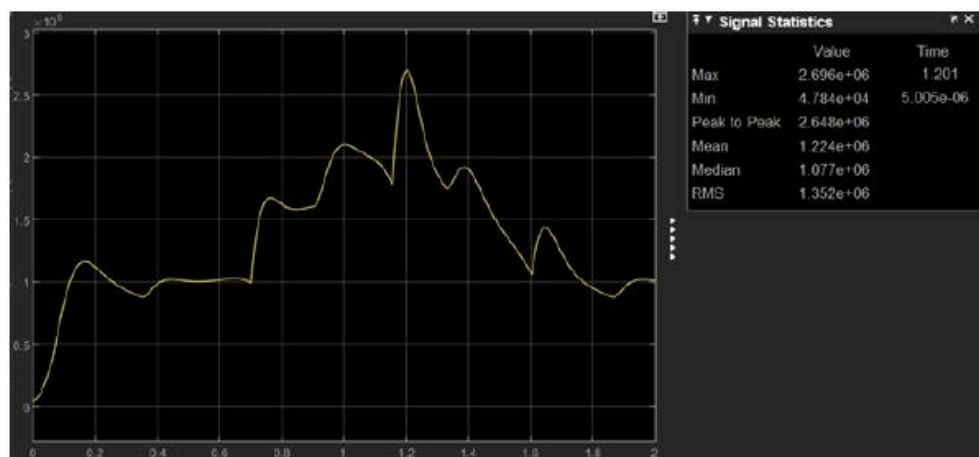
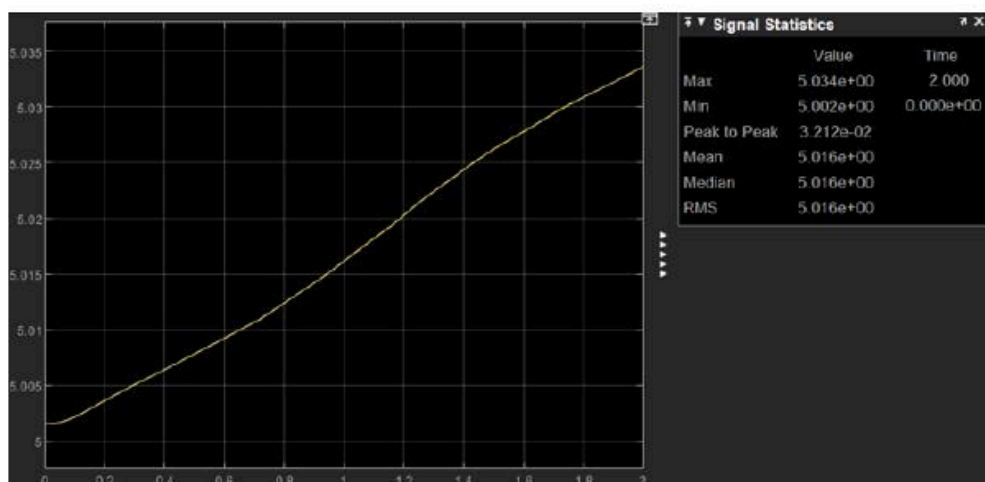


Рис. 4. Давление в трехпоршневой модели

Рис. 5. Объем бака в трехпоршневой модели, м^3

Результаты моделирования показали, что по сравнению с моделью с одним поршнем, трехпоршневая система с валом и пневмокомпенсатором, демонстрирует более стабильные графики давления и увеличение объема жидкости в баке. Максимальное давление достигло 2,5 МПа, его величина определяется параметрами дросселя, втулки и угловой скорости, которые в дальнейшем планируется откалибровать. Объем подачи составил 0,034 м³ (34 литра), при этом подача жидкости в бак стала более равномерной. Вместе с тем сохраняются недостатки: полученный график (рис. 4) пока не выглядит правдоподобно [4], что связано с отсутствием зубчатой передачи и полноценного привода насоса, а также с неопределенностью параметров оптимального трения поршня и втулки и значений инерции, что требует дальнейшего совершенствования и доработки модели.

Обсуждение полученных результатов. Результаты показывают, что включение коленчатого вала оказывает стабилизирующее влияние на работу математической модели бурового насоса. Подача угловой скорости через вал приближает модель к реальной конструкции. Недостатки модели объясняются отсутствием ряда компонентов (зубчатая передача и привода), настройки параметров трения и инерции, дросселя, которые планируется включить на следующих этапах исследования. Также для будущей настройки и проектирования системы управления насоса рассмотрена статья [5], в ней представлено моделирование нагрузочных режимов бурового насоса используя MATLAB Simulink Simscape, но в статье отсутствуют методы построения многодельного моделирования Multibody. При совмещении двух методов, открывается перспектива построения цифрового двойника. Также в качестве перспектив обозначено использование ИИ для расчета параметров клапанной группы.

Заключение. Модель с тремя КШМ и валом приближена к конструкции реального насоса УНБТ-1180. Демонстрируется улучшение характеристик подачи и давления. В дальнейшем планируется дополнение модели зубчатой передачей и приводом, а также более точная настройка параметров согласно паспортным данным и реальным параметрам.

Список

- [1] Петров С.Е. Математическое моделирование кривошипно-шатунного механизма бурового насоса УНБТ-1180. *Инженерный журнал*, 2025, № 12 (345), с. 15–21.
- [2] *Буровые насосы*. URL: <https://www.uralmash-ngo.com/shop/burovye-nasosy/> (дата обращения 01.08.2025).
- [3] *Насос буровой трехпоршневой УНБТ-1180L1. Каталог деталей и сборочных единиц*. Буланаш, ОАО «Буланашский машиностроительный завод», 2013, 58 с.
- [4] Балденко Ф.Д. *Расчеты бурового оборудования*. Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2012, 428 с.
- [5] Худорожков С.И. Моделирование нагрузочных режимов силового привода бурового насоса. *Пром-Инжиниринг. VI Всерос. науч.-технич. конф.: тр.* Челябинск, Издательский центр ЮУрГУ, 2020, с. 91–97.