

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО РАБОТЕ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «САПФИР»

К.В. Шехин

*Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А4-46*

Научный руководитель: А.С. Зайцев, к.ф.-м.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова

Насосное оборудование широко применяется в энергетике, промышленности, строительстве и коммунальном хозяйстве. При групповой установке насосов применяются два способа их соединения для совместной работы: параллельное и последовательное. Возможно их комбинированное соединение. Нормальная работа тепловых и атомных электростанций невозможна без перемещения большого количества жидкости с различными свойствами и параметрами. Перемещение жидкостей осуществляется в основном центробежными и осевыми лопастными насосами. Насосы, используемые на электростанциях, имеют более двадцати назначений [1].

Инженеру-энергетику важно знать основные принципы работы насосов для обеспечения эффективной работы энергетических систем. Например, параллельное соединение насосов позволяет равномерно распределять нагрузку, снижая износ и повышая надежность системы, в то время как последовательное соединение эффективно для преодоления больших высот или длин трубопроводов.

Для повышения эффективности системы подготовки студентов вузов в целом целесообразно использовать специализированные программные комплексы, позволяющие создавать В данной статье рассматриваются возможности программного комплекса САПФИР в части моделирования гидравлики насосного оборудования.

САПФИР – графическая среда сквозного проектирования крупных расчетных комплексов. Объединяет в себе инструменты, позволяющие вести разработку не только математических моделей промышленных объектов, но и интегрировать их с необходимым оборудованием: исполнительными механизмами, системами АСУТП, включая щиты управления, шкафы [3].

Для моделирования параллельной и последовательной работы насосного оборудования в программном комплексе САПФИР была реализована имитационная модель для стенда, представленного на рис. 1 математические модели элементов различных технологических систем [2].

Принципиальная схема включает в себя открытый бак с необходимым объемом воды для нормального режима работы насоса, три одинаковых поверхностных вихревых насоса QВ 70, отсечные шаровые краны и регулирующие вентили, а также датчики давления, расхода, температуры и мощности.

Для сравнения показателей на лабораторном стенде и математической модели реализована расходно-напорная характеристика одного рабочего насоса, которая представлена на рис. 2.

Приближение к необходимым экспериментальным значениям, в заданных точках измерения, достигается путем изменения коэффициента проводимости или работой органов управления. Отклонение показателей имитационной модели составило не более 2 % для режима с одним работающим насосом при 100 % частоте вращения.



Рис. 1. Лабораторный стенд

Данные эксперимента на лабораторном стенде и математической модели оказались практически идентичными, что свидетельствует о высокой степени согласованности между теоретическими положениями и фактическими измерениями.

Это не только подтверждает корректность данной математической модели, но и свидетельствует о её применимости в дальнейших исследованиях по работе насосного оборудования в различных режимах. Благодаря высокой точности модели можно будет эффективно анализировать и оптимизировать эксплуатацию насосов как в стандартных, так и в аварийных режимах работы. В связи с этим реализована имитационная модель для параллельной и последовательной работы насосов в ПО «САПФИР». Схема модели представлена на рис. 3.

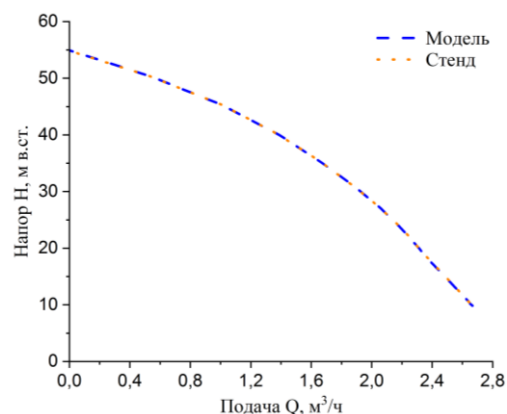


Рис. 2. Расходно-напорная характеристика насоса

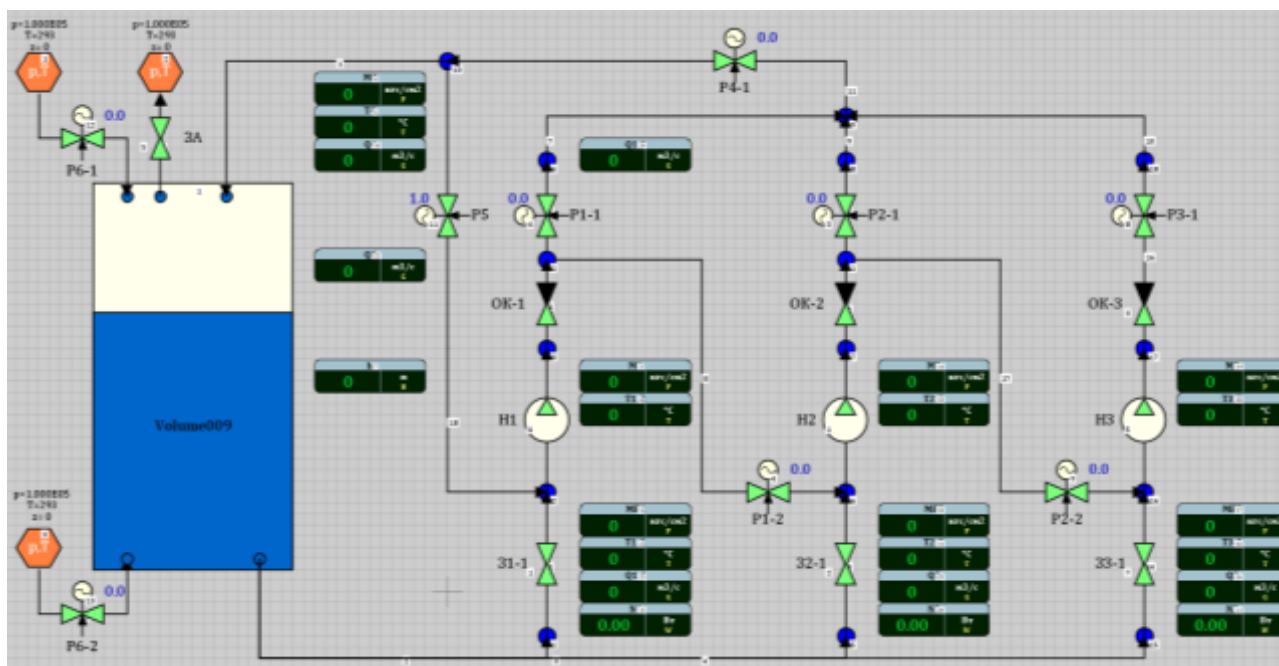


Рис. 3. Схема для исследования параллельной и последовательной работы насосов в ПО «САПФИР»

При параллельном соединении насосов полная подача группы представляется суммой подач отдельных насосов и выполняется так, чтобы имелась возможность выключения из работы любого насоса. При последовательном соединении выходное отверстие первого по ходу жидкости насоса соединяется трубопроводом с входом последующего насоса. В таком случае массовые подачи насосов, если нет утечек и отборов, одинаковы [1].

На рис. 4 представлены схемы положения арматуры для работы насосов в последовательном и параллельном режиме, а на рис. 5 представлены графики сравнения основных технических параметров при последовательном и параллельном режиме работы насосов.

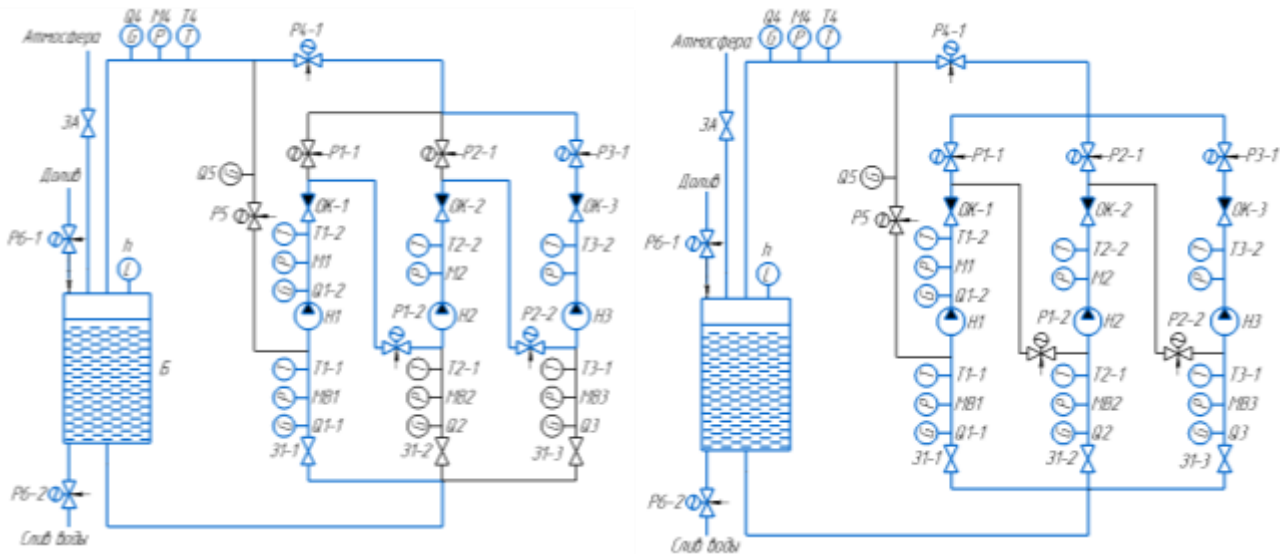


Рис. 4. Последовательное и параллельное соединение насосов

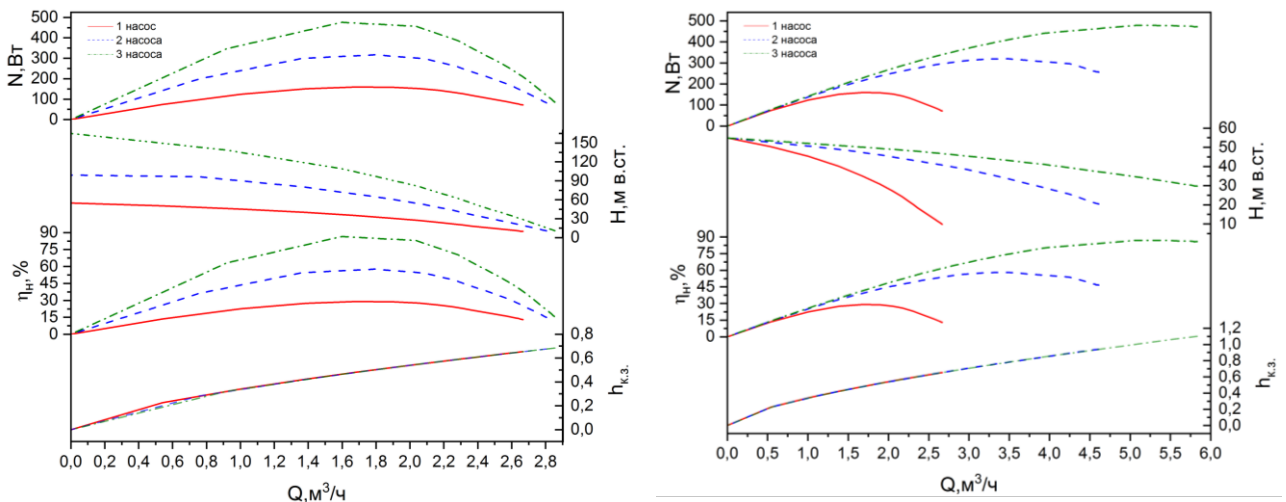


Рис. 5. Расходно-напорная характеристика насосов при последовательном и параллельном соединении насосов

Исходя из рис. 4 можно сделать вывод о том, что при последовательном режиме работы увеличение расхода воды приводит к увеличению кавитационного запаса, уменьшению напора, а мощность насосного оборудования, как и КПД, увеличивается и достигает экстремума, после чего снижается. Из рис. 5 видно, что при параллельном режиме работы насосов, как и при последовательном, увеличение подачи воды приводит к повышению показателя кавитационного запаса и уменьшению напора, а мощность и КПД имеют менее выраженный экстремум и впоследствии не приводит к настолько же значительному снижению данных показателей. Чем больше включённых в работу насосов, тем выше значения напора, мощности и КПД, а также увеличивается кавитационный запас при высоких показателях расхода воды.

Таким образом, выбор режима работы насосов (последовательный или параллельный) существенно влияет на их характеристики и эффективность. Анализ зависимости факторов помогает оптимизировать работу насосного оборудования и минимизировать риски, связанные с кавитацией и энергоэффективностью. Результаты исследования подчеркивают важность интеграции теоретических и эмпирических подходов, что способствует более глубокому пониманию исследуемых физических явлений.

Программный комплекс САПФИР позволяет моделировать различные сценарии работы насосного оборудования (регулирование задвижкой (дресселирование), регулирование с помощью байпаса, регулирование изменением частоты вращения насоса, а также реализация различных схем подключения), снимать расходно-напорную характеристику насосов и оптимизировать параметры подключения насосов. Важно также отметить, что САПФИР является отечественной разработкой. При этом программа обладает широким набором функций, инструментов и удобным графическим пользовательским интерфейсом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – 247 с.: ил.
2. Школа моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://get-sim.ru/>, свободный – (10.11.2024)
3. Программный комплекс САПФИР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://get-lab.ru/>, свободный – (10.11.2024)

## РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ИРТ-Т

**Д.В. Пасько**

*Томский политехнический университет, ИЯТШ, ОЯТЦ, группа ОАМЗ1*

Научный руководитель: А.Г. Наймушин, к.ф.-м.н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ

Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т – это реактор бассейнового типа с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты деминерализованной воды [1].

В бассейне реактора на глубине 6 м расположена активная зона ИРТ-Т, набранная из двадцати тепловыделяющих сборок (ТВС) типа ИРТ-3М. Конфигурация (компоновка) активной зоны выбирается так, чтобы обеспечивалась достаточная длительность кампании и может изменяться в соответствии с конкретной задачей на кампанию. Основная рабочая загрузка состоит из 11-ти восьмитрубных и 9-ти шеститрубных ТВС.

Металлический бериллий используется в качестве отражателя нейтронов, что позволяет обеспечить широкий (в пространстве) максимум плотности потока тепловых нейтронов и высокий уровень нейтронного потока в экспериментальных каналах.

Обоснование безопасности реакторной установки основывается на моделировании и исследований нейтронно-физических и гидравлических процессов с помощью прецизионных программных средств. Важно отметить, что модель должна обладать высокой точностью выходных данных, чтобы на её основе проводилась оценка условий эксплуатации оборудования и технологических систем реакторной установки.

Процессы гидродинамики описываются фундаментальной системой уравнений Навье-Стокса:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \\ \rho \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \nabla \tau + \rho \mathbf{g} + Q_m \\ \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + C_p \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} T) = \nabla \cdot \mathbf{q} + Q_\mu + Q_\epsilon \end{cases} \quad (1)$$