

УДК 62-137

Проектирование гидравлического стенда для натурных испытаний высокотемпературного судового насоса

***Юнусова М.Ю.**, студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика»*

***Стюфляев С.С.**, студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика»*

*Научный руководитель: **Петров А.И.**, к.т.н, доцент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика»*

lomakin@bmstu.ru

В настоящее время в рамках программы импортозамещения в нашей стране разрабатывается большое количество различного насосного оборудования, в том числе и для работы в сложных условиях. В частности, на кафедре Э-10 был на основе современных технологий методом параметрической оптимизации [6, 8] разработан насос тип КВС [7] для перекачки высокотемпературного теплоносителя на морских судах и буровых платформах. Задача испытаний такого насоса в условиях, приближенных к реальным, очень сложна, так как требует использования стендов на рабочих жидкостях с температурами свыше 200 °С. В данной статье рассматривается задача расчета и модернизации такого стенда.

Целью данной работы является модернизация испытательного стенда, разработанного для натурных испытаний насосов типа КВС всего типоразмерного ряда, разрабатываемых в рамках Государственного контракта от 13.03.2013 г. № 13411.1007499.09.051.

Данный стенд (здесь и далее) КВС-1 позволяет проводить все виды испытаний, перечисленные в техническом задании и обеспечивает возможность (при необходимости) осуществлять внешнее охлаждение и фильтрацию жидкости в стенде.

Исходные данные:

Подача испытываемых насосов – от 0 до 550 м³/час.

Напор испытываемых насосов – до 150 м (при нулевой подаче), от 80 до 100 м (в оптимальном режиме).

Мощность приводного электродвигателя – до 150 кВт

Частота вращения вала электродвигателя – от 0 до 3000 об/мин

Рабочая жидкость – синтетический теплоноситель Therminol-59, температура жидкости от 0 до 250 °С.

Планируемые виды испытаний – нормальные, кавитационные, сертификационные.

Замеряемые в ходе испытаний параметры:

- а) давление на входе в насосный агрегат, Па;
 - б) давления на выходе из насосного агрегата, Па;
 - в) подача насосного агрегата, м³/ч;
 - г) частота вращения вала насосного агрегата, об/мин;
 - д) мощность, потребляемая насосным агрегатом, Вт (или момент на валу, Нм);
 - е) температура рабочей жидкости (Therminol-59) в стенде перед входом в насосный агрегат, °С;
 - ж) температура рабочей жидкости в стенде после выхода из насосного агрегата, °С;
 - з) утечка через торцовые уплотнения вала насосного агрегата, м³/с;
 - и) температура подшипниковых узлов насосного агрегата, °С;
 - к) параметры, относящиеся к электродвигателю (температура обмоток, вибрации и проч. – при необходимости).
 - л) температура в контуре охлаждения, °С;
- Также могут дополнительно измеряться:
- м) расход жидкости, подводимой к двойным торцовым уплотнениям;
 - н) величина вакуума в баке, Па;
 - о) другие параметры, по требованию заказчика.

Точность измерения должна быть не хуже установленной требованиями ГОСТ 6134-2007. В частности, погрешность определения КПД насоса (которая является определяющей, т.к. складывается из всех погрешностей определения основных параметров) не должна превышать 2%.

В данном случае имеем закрытую схему стенда с герметичным баком-расширителем, имеющим азотную подушку для предотвращения окисления теплоносителя, контуром охлаждения жидкости для вывода насоса на заданный тепловой режим работы, контуром поддержания постоянного давления в баке-расширителе при тепловом расширении/сжатии жидкости.

Схема станда КВС-1 приведена на рис. 1. Ниже содержится ее описание и характеристики составных элементов станда.

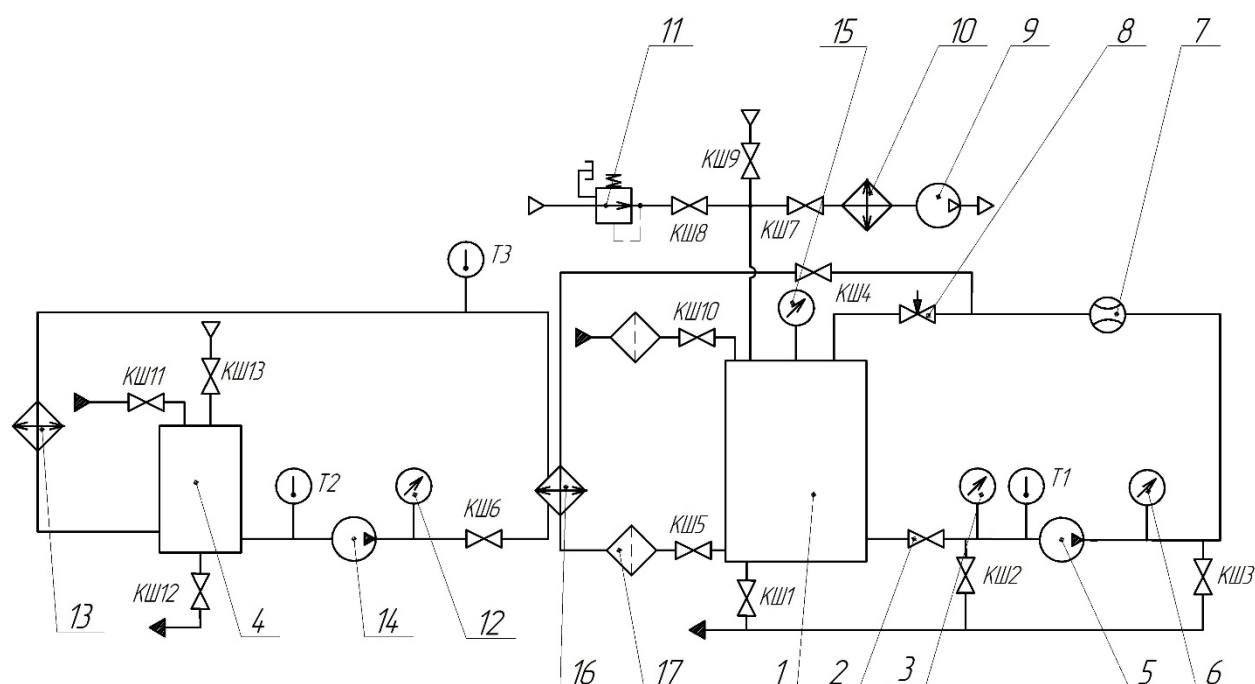


Рис. 1. Гидравлическая схема станда КВС-1: 1,4-баки; 2-кран шаровой; 3,6,12,15-манометры; 5-испытываемый насос; 7-расходомер; 8-дрессель; 9-вакуумный насос; 10,13,16-теплообменники; 14-циркуляционный насос; 17-фильтр

Постоянная температура в стенде, при достижении заданного температурного режима, обеспечивается контуром охлаждения (КШ4). Контур охлаждения состоит из двух участков - «Контур 1» и «Контур 2», выделенных красной линией (рис. 2).

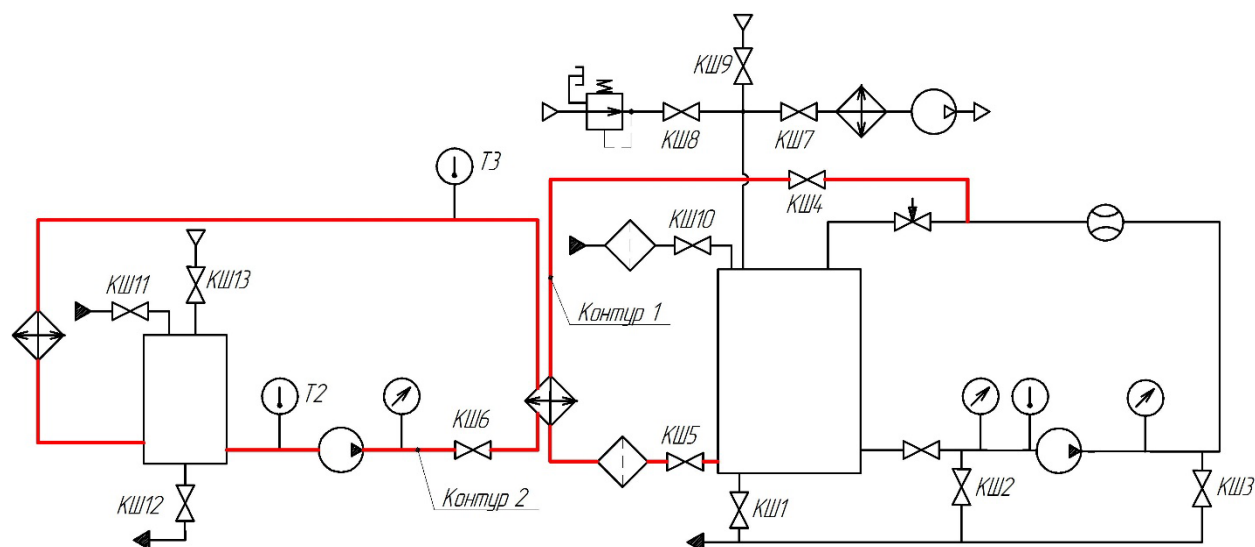


Рис. 2. Контур охлаждения станда

В контуре 1 установлен теплообменник (16) типа жидкость/жидкость. После теплообменника (16), охлаждённая жидкость поступает в бак. Поддержание постоянной температуры рабочей жидкости осуществляется как за счет внешней теплоотдачи стенда, так и с помощью внешнего контура охлаждения 2, в котором циркулирует охлаждающая жидкость (Тосол-40).

Схема соответствует предъявляемым требованиям, но распределение подачи между линиями охлаждения и нагрева с учетом требуемой температуры РЖ в контуре сложно осуществить из-за необходимости ручной настройки дросселей, поэтому было предложено решение:

1. Ввести отдельный контур охлаждения вместо линии отбора жидкости из основного контура.
2. В контур охлаждения включить циркуляционный насос с частотным преобразователем для точного регулирования температуры в стенде (обратная связь по температуре с датчика Т1).
3. Предусмотреть возможность полного отключения всего контура охлаждения в целях экономии энергии на этапе нагрева РЖ (перекрываем кран и закручиваем дроссель).
4. Осуществить байпасирование фильтров в контурах охлаждения.

На рис. 3 приведена модернизированная схема стенда КВС-1, здесь и далее именуемая КВС-2.

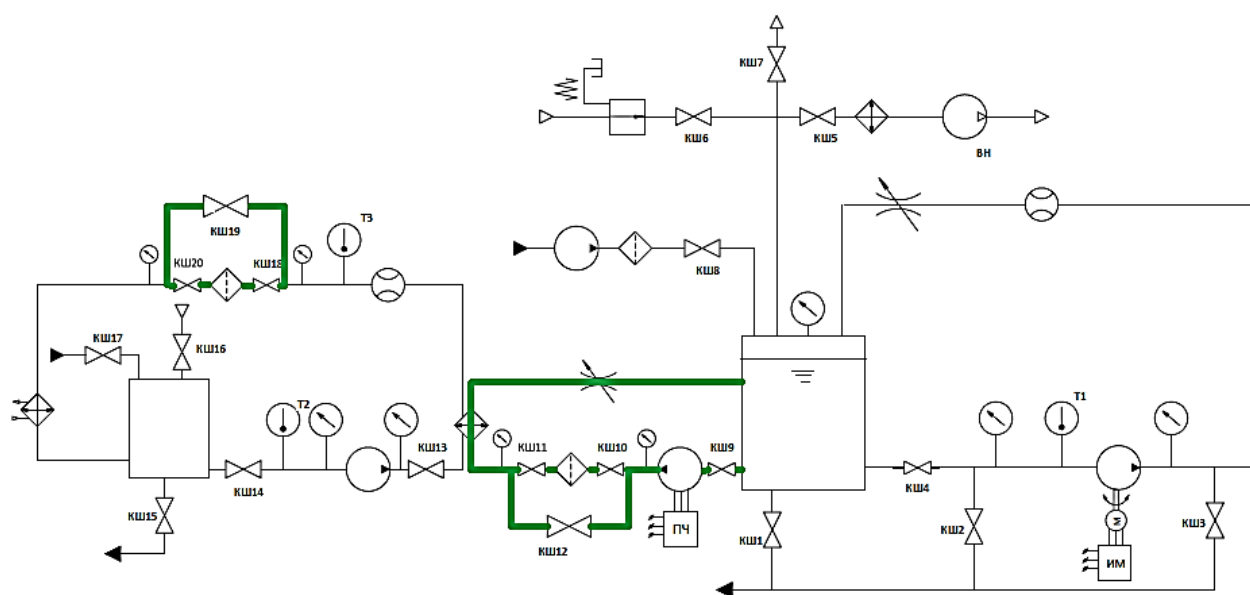


Рис. 3. Гидравлическая схема стенда КВС-2

Рассчитаем мощность тепловыделения при работе испытуемого насоса в оптимальном режиме. В данном случае было принято, что исходная температура жидкости в стенде составляет 20 °С, а нагреть её нужно до 200 °С. Исходя из этого принималось допустимое повышение температуры 180 °С, время, за которое рабочая жидкость в стенде достигнет требуемой температуры – 8 часов.

Мощность тепловыделения определялась как полезная мощность насоса, переходящая в тепло при дросселировании на задвижке, тепловыделение от элементов стенда в атмосферу не учитывалось, т.к. предполагалось, что стенд имеет хорошую теплоизоляцию и тепловыделение в атмосферу относительно мало.

Исходные данные для расчета:

$Q=400 \text{ м}^3/\text{ч}$ - подача насоса;

$H=80 \text{ м}$ - напор насоса;

$l=13 \text{ м}$ - суммарная длина труб;

$d_{\text{тр}}=200 \text{ мм}$ - диаметр труб;

$\rho_{\text{тос}}=1100 \text{ кг/м}^3$ - плотность охлаждающей жидкости (Тосол-40) при 100 °С;

$C_{\text{в-тос}}=3250 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ - удельная теплоемкость Тосол-40 при 100 °С;

$\rho=974 \text{ кг/м}^3$ - плотность теплоносителя (Therminol-59) при 20 °С;

$\Delta T=180 \text{ °С}$ - максимально возможный нагрев теплоносителя, по условиям проведения эксперимента;

$C_{\text{в}}=1680 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ - удельная теплоемкость Therminol-59 при 20 °С.

Мощность тепловыделения: $N = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q = 84,9 \text{ кВт}$.

Далее необходимо провести тепловой и гидравлический расчеты в обоих контурах охлаждения для определения требуемого расхода и потерь напора в каждом контуре для теплосъема при пиковой нагрузке: $N_{\text{т}} = 150 \text{ кВт}$.

Первый контур охлаждения:

$\nu=4,04 \text{ мм}^2/\text{с}$ - вязкость теплоносителя (Therminol-59) при 200 °С;

$\Delta T=20 \text{ °С}$ - принятый перепад температур на теплообменнике .

Расход в первом контуре охлаждения: $Q = \frac{N_{\text{т}}}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} = 16,5 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$

Потери напора (с учетом потерь на трение, поворот потока, дросселирование, потерь на элементах стенда и т.д.): $H=21,64 \text{ м}$.

Второй контур охлаждения:

$\nu=4,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ - вязкость теплоносителя (Тосол-40) при 100 °С;

$\Delta T=20 \text{ °С}$ - принятый перепад температур на теплообменнике.

$$\text{Расход во втором контуре охлаждения: } Q = \frac{N_T}{\rho_{\text{тос}} \cdot c_{\text{в-тос}} \cdot \Delta T} = 3,02 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Потери напора (с учетом потерь на трение, поворот потока, дросселирование, потерь на элементах стенда и т.д.): $H=4,06$ м.

После проведения расчетов можем подобрать основное оборудование для контуров охлаждения: циркуляционные насосы, теплообменники и частотный преобразователь.

Циркуляционные насосы в первом и втором контурах охлаждения соответственно: герметичные насосы отечественного производства Villina ГНГЦ 65-50-160В ($Q=21,3 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=23,1$ м) и Villina ГНГЦ 65-50-160В ($Q=3,4 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=7,1$ м). Частотный преобразователь выбрали из серии Мини с однофазным входным напряжением 220В (ООО «Лидер»).

Частотный преобразователь будет осуществлять 3 режима регулирования:

1. При достижении жидкостью температуры 60°C насос1 выходит на минимальную подачу с частотой вращения 600 об/мин, чтобы прогреть первый контур охлаждения во избежание теплового удара в теплообменнике.

2. При достижении температуры 195°C частотный преобразователь выходит на режим поддержания, так как мы поддерживаем температуру равной $195\text{-}205^\circ\text{C}$, при этом насос выходит на рабочий режим с частотой вращения 1275 об/мин, подачей $9,35 \text{ м}^3/\text{ч}$ и мощностью теплосъема 85 кВт, которая будет при работе насоса с номинальными параметрами.

3. Последний режим для того, чтобы быстро остудить стенд после проведения испытаний.

Характеристика системы приведена на рис. 4

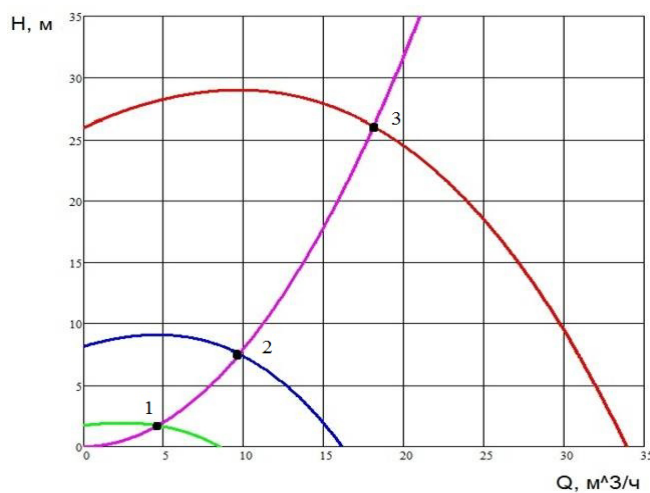


Рис. 4. Характеристика системы в 3 режимах регулирования:

1 точка ($n=600$ об/мин, $Q=4,4 \text{ м}^3/\text{ч}$); 2 точка ($n=1275$ об/мин, $Q=9,35 \text{ м}^3/\text{ч}$)

3 точка ($n=2900$ об/мин, $Q=18,23 \text{ м}^3/\text{ч}$)

Таким образом, предложенное схемное решение станда с регулированием частоты вращения циркуляционного насоса в первом контуре охлаждения в пределах 600-2900 об/мин позволяет осуществить достаточно точное регулирование температуры рабочей жидкости.

Частотное регулирование позволяет также повысить энергоэффективность станда за счет снижения количества потребляемой насосом контура охлаждения электроэнергии в большинстве режимов работы, при одновременном увеличении срока службы насоса.

Кроме того, новая схема станда имеет то преимущество, что замена блоков фильтров контуров охлаждения может осуществляться без слива жидкости из станда.

Список литературы

1. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Методы испытаний. Введ. 05-12-2007. М.: Издательство стандартов, 2007. 32 с.
2. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач / под ред. С.С. Руднева, Л.Г. Подвидза М.: Машиностроение, 1974. 245с.
3. Лопастные насосы: справочник / под ред. В.А. Зимницкого, В.А. Умова Л.: Машиностроение, 1986. 336 с.
4. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. М.: Машиностроение. 1977. 288 с.
5. Яременко О.В. Испытания насосов. М.: Машиностроение, 1976. 114 с.
6. Ломакин В.О., Артемов А.В., Петров А.И. Определение влияния основных геометрических параметров отвода насоса НМ 10000-210 на его характеристики // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 8. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/445666.html> (дата обращения: 30.04.2015). DOI: 10.7463/0812.0445666.
7. Ломакин В. О., Петров А. И., Кулешова М. С. Исследование двухфазного течения в осецентрированном колесе методами гидродинамического моделирования // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 9. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/725724.html> (дата обращения: 30.04.2015). DOI: 10.7463/0914.0725724.
8. Ломакин В.О., Щербачев П. В., Тарасов О.И., Покровский П.А., Семёнов С.Е., Петров А. И. Создание параметризованных 3D-моделей проточной части центробежных насосов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 4. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/354657.html> (дата обращения: 30.04.2015). DOI: 77-30569/354657.