

УДК 621.6.057

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПОГРУЖНОГО НАСОСА СПГ С КРИОГЕННЫМ ГИДРОПРИВОДОМ

Давыденко М.И. (Национальный исследовательский университет ИТМО)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Баранов А.Ю

(Национальный исследовательский университет ИТМО)

Введение. Погружные насосы сжиженного природного газа (далее – ПНСПГ) являются наиболее критичным узлом технологического блока накопления-выдачи СПГ. Существенным недостатком существующей конструкции ПНСПГ является то, что при работе насоса данного типа примерно 30% энергии, затраченной электроприводом, рассеивается в криогенной жидкости, что приводит к возникновению дополнительных потерь СПГ [1]. В опубликованных ранее исследованиях [2] была проанализирована возможность модернизации конструкции ПНСПГ в целях снижения эксплуатационных издержек, связанных с наличием в конструкции электропривода, а также увеличения общей энергоэффективности системы. Согласно полученным результатам, для модернизации конструкции была выбрана замена электропривода на гидротурбину, соосно размещаемую с рабочим колесом центробежного насоса и использующую в качестве рабочей жидкости продукционный СПГ. Поток СПГ, поступающий в гидротурбину, имеет высокое давление магистрального газопровода (7 МПа) и температуру около 111 К, т.е. находится недогретом состоянии, его свойства сходны со свойствами любой традиционной жидкости. При направлении данного потока гидротурбину, потенциальная энергия потока преобразуется в энергию вращения рабочего колеса турбины, затрачиваемую на вращение рабочего колеса насоса.

Основная часть. Учитывая соосное размещение рабочего колеса гидротурбины и центробежного насоса и использование в качестве рабочей жидкости продукционного СПГ, необходимо рассчитать режимы работы агрегата, а также процесс запуска агрегата в работу из состояния покоя с учетом характера процесса открытия запирающего вентиля на подающем трубопроводе СПГ. В качестве уравнений, примененных для моделирования процесса отгрузки СПГ из крупнотоннажных хранилищ, использовались основные уравнения гидравлики, а также дифференциальные уравнения момента. При отгрузке СПГ из крупнотоннажных хранилищ возможны два варианта организации данного процесса возможны 2 варианта отгрузки о из крупнотоннажных емкостей: выдача при постоянном или переменном расхода СПГ в линии выдачи. Для каждого режима работы были получены системы уравнений, определяющие основные параметры работы (расход рабочей жидкости, выдача, мощность агрегата). При постоянном расходе СПГ средний расход подачи насоса составил 159,94 кг/с. В условиях переменного расхода СПГ на гидротурбине подача насоса составила 119,87 кг/с. В обоих случаях значения соответствуют номинальным значениям для аналогичных систем отгрузки СПГ [3, 4]. Следует отменить снижение расчетного значения частоты вращения рабочего колеса насоса при высоких уровнях СПГ в резервуаре. Частота вращения рабочего колеса а зависит от уровня жидкости он накопительную емкость. Погружённый насос по определению аппарат периодического действия поэтому важнейшее значение играет процесс запуска и остановки погружённого агрегата поэтому необходимо отдельно исследовать эти вспомогательные технологический режим. Для моделирования процесса запуска агрегата в работу и ускорения рабочего колеса гидротурбины из состояния покоя используется дифференциальное уравнение момента. В результате преобразования дифференциального уравнения момента было получено уравнение (1) – линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка, решение которого представляет собой решение задач Коши при заданном начальном условии:

$$\omega' + \omega \frac{B}{A} = \frac{K}{A}, \quad (1)$$

где А, И – численные коэффициенты уравнения.

На основании существующих методик решения неоднородных дифференциальных уравнений, было получено уравнение, описывающее процесс запуска в работу соосно установленных гидротурбины и насоса:

$$\omega_{\text{агрегата}}(t) = K_4(1 - e^{-K_3 t}) \quad (2)$$

Уравнение (2) было использовано для расчета частоты вращения агрегата в процессе запуска в работу системы отгрузки. Установившаяся угловая скорость вращения вала турбины составляет 3241 об/мин, что соответствует допустимым режимам работы для выбранного агрегата в заданных условиях работы [5]. Стоит отметить, что стабилизация частот вращения наступает на 30-35 секунде после пуска агрегата. Быстрая стабилизация вращения способствует снижению вероятности возникновения кавитационных явления на лопастях гидротурбины и насоса, а также быстрому выходу на оптимальные режимы выдачи СПГ из резервуара хранения.

Вывод. Проведен расчетный анализ работы гидравлической турбины привода центробежного ПНСПГ. Рассмотрены основные режимы работы погружного насоса СПГ. Составлены системы уравнение, описывающие режимы работы насосного агрегата в процессе отгрузки. Составлены системы уравнений для режима работы для двух вариантов эксплуатации ПНСПГ: для постоянного или переменного уровня подачи СПГ на рабочее колесо гидротурбины. Исследован процесс пуска агрегата из состояния покоя. Разработаны математические модели процесса запуска агрегата для различных вариантов открытия запорного органа на подающем трубопроводе СПГ. Уравнения верифицированы путем численного моделирования всех процессов на основании известных действующих параметров работы системы отгрузки и устанавливаемых на производствах погружных насосов.

Список использованных источников:

1. Соколов Е.В., Клюквин О.Н. Отчет о патентных исследованиях по ОКР «Разработка насосного оборудования для систем перекачивания сжиженного природного газа» ОАО «ЛГМ». 2012.
2. Давыденко М.И., Баранов А.Ю. Применение гидротурбины в качестве привода погружного центробежного насоса для отгрузки сжиженного природного газа из крупнотоннажных хранилищ // Материалы IX Международной научно-технической конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке". – 2019. – Т. I. – С. 193-198
3. Teregulov R.K. Perfection of technologies for production and storage of liquefied natural gas: Candidate thesis (engineering) // Ufa State Petroleum Technological University, 2009.
4. Zhu B., Wang X., Tan L. Optimization design of a reversible pump–turbine runner with high efficiency and stability // Renew. Energy. 2015. С. 366–376
5. Coyle D., Patel V. Processes and pump services in the LMG industry // Renew. Energy. – 2016. – С.179-185.

Давыденко М.И. (автор)

Баранов А.Ю. (научный руководитель)
