

УДК 621.65

# НЕФТЯНЫЕ МАГИСТРАЛЬНЫЕ НАСОСЫ: ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ИЛИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ НА НПС?

*Ключевые слова: нефтяные магистральные насосы, параллельное, последовательное включение.*

**В статье излагаются результаты анализа работы НПС с последовательным или параллельным соединением насосов в системе магистрального нефтепровода при разных стадиях его развития, разных режимах перекачки, различном рельефе трассы нефтепровода. Приводятся рекомендации по выбору типа соединения насосов на стадии проектирования нефтепровода.**

**М**агистральные нефтепроводы, предназначенные для транспортировки нефти и нефтепродуктов на большие расстояния, рассчитываются на длительные сроки эксплуатации, а их строительство сопряжено с огромными затратами. При проектировании нефтепроводов решаются сложные задачи оптимизации как капитальных, так и эксплуатационных затрат [1]. Важными вопросами при создании нефтепроводов являются: выбор типов насосов, схем их включения в сеть, расстановки нефтеперекачивающих станций (НПС) по трассе и другие. В этой статье остановимся более подробно на таком актуальном вопросе, как выбор последова-

тельной или параллельной схемы включения насосов на НПС, который часто не находит достаточного освещения в специализированных научно-технических изданиях и статьях.

Как правило, магистральные нефтепроводы разделяют на так называемые эксплуатационные участки протяженностью 400–600 км, состоящие из 3–6 перегонов, разделенных нефтеперекачивающими станциями, работающими в режиме «из насоса в насос». НПС устанавливаются на таких расстояниях по трассе трубопровода, чтобы дифференциальный напор НПС соответствовал потерям в трубопроводе с учетом разности высот расположения НПС. Кроме того, из условия прочности давле-

**И.Б. Твердохлеб**  
к.т.н., доцент, директор  
дирекции НИОКР  
ООО «УК «Группа ГМС»,  
г. Москва  
e-mail: TIB@HMS.ru



**Г.В. Визенков**  
начальник отдела дирекции  
НИОКР ООО «УК «Группа ГМС»,  
г. Москва  
e-mail: Vizenkov@HMS.ru



**А.И. Бирюков**  
к.т.н., главный специалист  
ООО «УК «Группа ГМС»,  
г. Москва  
e-mail: BAI@HMS.ru



**Л.М. Беккер**  
главный технолог  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
e-mail: BekkerLM@GTP.Transneft.ru



ние на выходе НПС не должно превышать предельное давление в трубопроводе, а также должен быть обеспечен необходимый подпор на следующей НПС для безкавитационной работы магистральных насосов. На первой НПС (с резервуарным парком) подпор для магистральных насосов обеспечивается подпорными насосами. На рис. 1 показана схема участка нефтепровода с промежуточными НПС для различных стадий развития.

Для поддержания устойчивой перекачки с учетом различных ситуаций на НПС устанавливается обычно три рабочих и один резервный насос. При этом на практике применяются две схемы включения насосов – последовательная и параллельная.

При **последовательном** включении насосов подача принимается равной проектному расходу по трубопроводу, а напор – 1/3 необходимого напора НПС.

Рис. 1. Схема участка нефтепровода

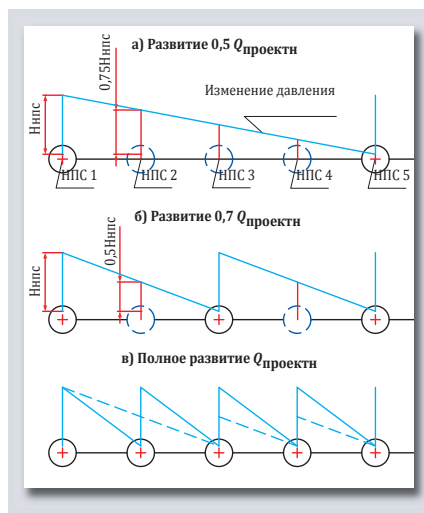


Рис. 2. Характеристики сети и НПС при последовательном включении насосов

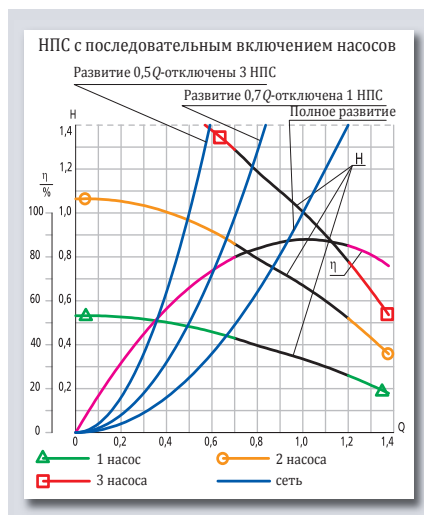


Рис. 3. Характеристики сети и НПС при параллельном включении насосов



При **параллельном** включении насосов они должны иметь полный напор НПС, а подачу – 1/3 проектного расхода трубопровода.

Способы регулирования расхода, работа НПС при аварийных ситуациях достаточно подробно рассмотрены в [1].

В данной статье мы рассмотрим лишь некоторые моменты, которые влияют на выбор схемы включения насосов.

Установленные на НПС насосы должны обеспечивать перекачку с высоким КПД на всех стадиях развития системы. Обычно в начале эксплуатации расход по трубопроводу составляет лишь часть от проектного и увеличивается по мере освоения месторождений. При этом линейная часть трубопровода строится сразу на полный проектный объем перекачки нефти, размещение НПС и насосы также выбираются из этих условий, но строятся сначала не все запроектированные НПС, а только необходимые для данной стадии развития нефтепровода. Так, к примеру, для развития с расходом 0,5 проектного вводятся в эксплуатацию НПС через 3 от проектного, а для развития 0,7 – вводятся 2 НПС, работающие через одну по отношению к НПС полного развития, и только при полном развитии вводятся в эксплуатацию все НПС (см. рис. 1).

Рассмотрим, как обеспечивается работа нефтепровода при параллельной и последовательной схемах включения насосов. Сначала примем, что отличие уровней установки рассматриваемой НПС и следующей незначительно («равнинное» расположение). На рис. 2 показаны характеристики при последовательном включении насосов, а на рис. 3 – при параллельном. На этих рисунках характеристики насосов показаны толстой линией в допустимом диапазоне подач, который обычно принимается для таких насосов (0,7...1,2)  $Q_{ном}$  [2].

Следует понимать, что все дальнейшие количественные показатели работы насосов в разных условиях зависят от крутизны напорных характеристик насосов, но качественная картина будет одинакова.

При полном развитии трубопровода и проектном расходе в обеих схемах включения насосы работают

в области максимальных КПД. Однако следует отметить, что абсолютные значения КПД насосов для этих двух схем различны вследствие различных их конструкций. Обычно в последовательных схемах применяются насосы двойного входа, которые имеют на 3–5 % выше КПД при оптимальной подаче, чем многоступенчатые полнонапорные насосы, применяемые в параллельной схеме.

При последовательной схеме включения насосов согласование работы НПС с характеристикой сети при расходах, меньших проектного, можно осуществлять дросселированием избыточного напора (что фактически запрещается регламентами транспортирующей нефть организацией), но можно – отключением одного или двух насосов этой НПС, чтобы обеспечить эффективную перекачку расходов до 0,67  $Q_{ном}$ . Примерно так же обеспечивается этот режим и без отключения насосов, но отключением следующей НПС, однако в этом случае ограничением может стать предельное давление, допустимое для трубопровода.

При параллельной схеме отключение одного или двух насосов с целью снижения расхода неприемлемо, так как рабочая точка смещается на подачи, значительно превышающие допустимый диапазон подачи насоса. Поддержать баланс потерь в системе и напора НПС можно только дросселированием (регулирование частоты вращения в рамках данной статьи не рассматривается).

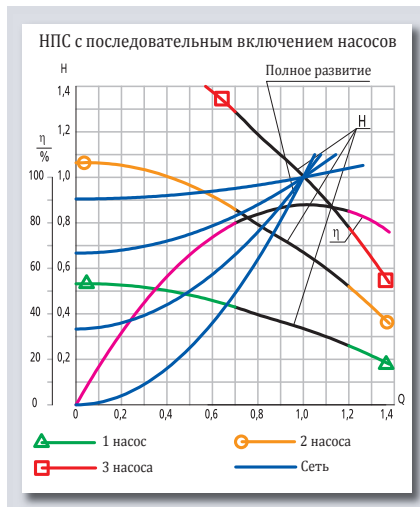
Посмотрим на эту задачу в другой плоскости. Возникает аварийная ситуация с отключением одного или двух насосов и невозможностью включения резервного. Какой расход в трубопроводе можно обеспечить?

При последовательной схеме один рабочий насос обеспечит приблизительно 0,7  $Q_{ном}$ , два рабочих насоса – до 0,9  $Q_{ном}$ . Однако нужно учесть, что предыдущая НПС работает в нормальном режиме и можно рассмотреть уже работу двух НПС на трубопровод с двойным сопротивлением (происходит перераспределение напора между двумя НПС с учетом передачи давления). Характеристики для такого случая приведены на рис. 4.

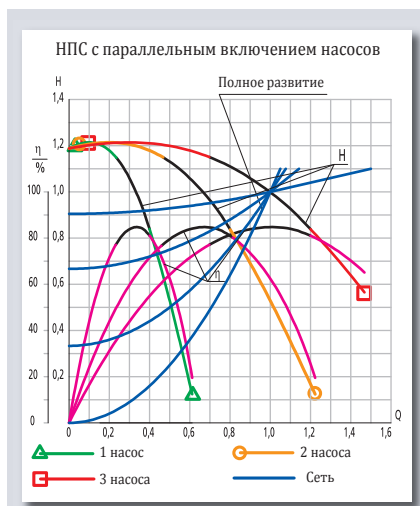
**Рис. 4.**  
Характеристики сети двух перегонов и НПС при последовательном включении насосов



**Рис. 5.**  
Характеристики сети со статической составляющей и НПС при последовательном включении насосов



**Рис. 6.**  
Характеристики сети со статической составляющей и НПС при параллельном включении насосов



Условно полагаем, что работает последовательно четыре насоса на сеть с двойным сопротивлением. В данном случае не имеет значения, что насосы расположены на значительном расстоянии. При таком подходе обеспечивается расход в трубопроводе с одним работающим насосом на аварийной НПС до  $0,87 Q_{ном}$ .

При параллельной схеме, дроселируя значительную часть напора, чтобы сохранить рабочую точку в пределах допустимой рабочей зоны подачи, с одним работающим насосом можно обеспечить прокачивание всего  $0,36 Q_{ном}$  и до  $0,7 Q_{ном}$  – при двух работающих насосах.

При аварийном обесточивании следующей НПС в обеих схемах можно поддержать расход до  $0,75 Q_{ном}$  (рис. 2 и 3), при этом придется также снизить напоры всех НПС цепочки, как показано на рис. 1в (пунктирные линии).

Рассматривая регулирование расхода, следует также иметь в виду, что возможность «передать» давление на следующую НПС ограничивается принятой схемой раскладки трубопровода. Если трубопровод равнопрочный на всей длине участка, то ограничений в передаче давления нет. Но поскольку стоимость линейной части составляет до 80 % стоимости всего нефтепровода [1], то имеется тенденция уменьшать толщины стенки трубы в конце участка. В таком случае при отключении промежуточной НПС необходимо дроселировать часть напора НПС, что существенно уменьшает максимальную величину расхода в трубопроводе при различных аварийных ситуациях. Отметим, что при развитии  $0,5 Q_{ном}$  обеспечить эффективную работу насосов в обеих схемах включения можно только применяя сменные проточные части. То же относится к схеме с последовательным включением и при развитии  $0,7 Q_{ном}$ . При параллельной схеме в этом случае приемлема работа двумя насосами.

При расположении следующей НПС на более высокой отметке, т.е. в горных условиях, сеть имеет некоторую статическую составляющую, а сопротивление сети должно быть меньше на величину этой статической части напора. На рис. 5 показаны характеристики при последовательном включении

насосов, а на рис. 6 – параллельном при работе на трубопровод с различной величиной статика – 0,33, 0,66, 0,9 от расчетного напора НПС. При последовательной схеме, в случае значительной статической составляющей, возможность работы при расходах меньших проектного ограничена, а при возникновении аварийных ситуаций с отключением одного или двух насосов прокачка нефти невозможна при превышении сопротивления сети величины напора насоса.

При параллельной схеме имеется возможность отключением одного или двух насосов обеспечивать перекачку уменьшенных расходов. Аварийное отключение насосов не останавливает полностью работу трубопровода, а рабочая точка обеспечивается некоторым дроселированием части напора.

Таким образом, в горных условиях на участке трубопровода, где сопротивление сети превышает напор одного работающего последовательно насоса, более целесообразной является параллельная схема.

**Выводы:**

- Для равнинного расположения НПС предпочтительным является последовательное соединение насосов как вследствие более гибкой и эффективной организации процесса перекачки по нефтепроводу, так и более высокого КПД насосов для такой схемы соединения;
- на НПС перед участками с большим статическим перепадом высот следует устанавливать насосы полнонапорные, работающие параллельно, так как они обеспечивают более надежную эксплуатацию нефтепровода;
- в случае применения регулирования частоты вращения необходимо выполнить дополнительный анализ для каждой схемы включения насосов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Р. А. Алиев [и др.] М.: Недра, 1988. 368 с.
2. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. ANSI/API Standard 610, Tenth Edition, October 2004 ISO 13709: 2003, (Identical) Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries.