

УДК 622.276

**МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГИДРОСИСТЕМОЙ
ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА РЕГУЛИРОВОЧНЫХ КРИВЫХ**

**METHOD OF ANALYSIS BY DESIGN HYDROSYSTEM CONTROL
CURVE**

Стрекалов В.Е., Стрекалов А.В., Хусаинов А.Т.

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

г. Тюмень, Российская Федерация

V.E. Strekalov, A.V. Strekalov, A.T. Khusainov

FSBEI NPE Tyumen state oil and gas university, Tyumen, Russian Federation

e-mail: iq-tyumen@mail.ru

Аннотация. Под оптимизацией технических систем вообще понимается комплексный подбор изменяемых (технических) показателей системы для достижения наивыгоднейших, с точки зрения ее функционирования, факторов. По сути, оптимизация является целью, объединяющей процессы контроля и управления, задачи которых в отношении технических гидросистем были рассмотрены в первой главе. Предлагаемая модель помимо расчета потокораспределения, позволяющего контролировать, регулировать и проектировать системы поддержания пластового давления (ППД), дает возможность, некоторым образом ее оптимизировать. Как известно, функционирование системы в целом определяется ее эксплуатационными и целевыми показателями.

Как правило, оптимизация систем поддержания пластового давления начинается с этапа проектирования в процессе подбора эксплуатационных свойств объектов и структуры транспортной гидравлической системы (ТГС). Эксплуатационные свойства подбираются, в первую очередь, исходя из соответствия режимов закачки установленным проектом

разработки нормам; во вторую очередь, исходя из минимума капитальных затрат на реализацию структуры; и в третью, из минимума затрат на эксплуатацию отдельных объектов и системы в целом.

Оптимизация систем поддержания пластового давления посредством изменения структурной схемы возлагается на умственный аппарат человека. Т.е. на данный момент автоматизировать этот процесс довольно сложно, так как при выборе и построении того или иного варианта структурной схемы необходимо руководствоваться множеством исходных и выходных данных. При этом каждый вариант должен быть четко «продуман» (проанализирован) с учетом не только параметров моделируемой системы, но и множества других, ограничивающих факторов. Естественно, что для автоматизации процесса структурной оптимизации следует решить задачу «искусственного интеллекта», а это на данном этапе не представляется возможным. Поэтому здесь мы коснемся лишь аспектов оптимизации состояния системы путем изменения эксплуатационных свойств отдельных наиболее значимых для управления элементов.

Abstract. Under the optimization of technical systems generally understood comprehensive selection variable (technical) indicators system to achieve the most advantageous in terms of its functioning, factors. In fact, optimization is the aim of uniting the processes of monitoring and control tasks are for technical hydraulic systems were considered in the first chapter. Proposed model for the calculation of the flow distribution in addition, allows you to control, manage and design systems for reservoir pressure maintenance (RPM), makes it possible to optimize it in some way. As is known, the whole system operation is determined and its operational targets.

Typically, the optimization of reservoir pressure maintenance systems begins with the design phase in the selection process of operational properties of objects and structures transport hydraulic system (THS). Performance properties are selected primarily on the basis of compliance with the established regimes

injection project to develop standards; secondarily, on the basis of minimum capital costs of the structure, and the third, from the minimum operating costs of individual objects, and the system as a whole.

Optimization of reservoir pressure maintenance systems by changing the structural scheme rests on the mental apparatus of man. It is currently quite difficult to automate this process, as in the selection and construction of one or another variant of the block diagram should be guided by a plurality of source and output data. In addition, each option should be clearly "thought" (analyzed), taking into account not only the parameters of the simulated system, but also a variety of other limiting factors. Naturally, to automate the process of structural optimization should solve the problem of "artificial intelligence", and that at this stage it is not possible. So here we touch only aspects of the optimization state of the system by changing the performance of the individual to control the most important elements.

Ключевые слова: гидросистема сетевой структуры, регулирование, нестационарный режим, моделирования, амплитуда колебаний.

Keywords: hydraulic network structure, regulation, transient mode, modeling, amplitude of oscillation.

Эксплуатационные показатели технических систем определяют ее внутреннее состояние, а целевые – обеспечение ею параметров внешних (т.е. стоящих на ступени выше) систем. Разделение целевых и эксплуатационных показателей вытекает из их физической и категориальной разобщенности. Иначе говоря, некоторая система может работать с наиболее выгодными эксплуатационными показателями (низкое энергопотребление, надежность устройств, чистые рабочие агенты и т.д.) и при этом совершенно не обеспечивать целевые параметры (нормы отдачи мощности, плавность пуска, заданные силу тока и напряжение, заданные

величины давлений, температур, расходов и т.п.). Т.е. здесь имеют место два различных подхода (два взгляда) на рассматриваемую систему:

- изнутри, т.е. с точки зрения эксплуатации системы;
- снаружи, т.е. из системы, частью которой является рассматриваемая система.

Например, для ТГС бурения скважин эксплуатационными показателями можно считать структуру ТГС, количество и свойства элементов, а целевыми – заданные величины расхода и давления бурового раствора, необходимые для выноса разбуренной породы, и приведение в действие турбобура. Если продолжить анализ такой ТГС, внедряясь в параметры отдельных объектов, например, поршневого насоса, то становится ясным, что для обеспечения этим объектом эксплуатационных параметров данной ТГС существуют внутренние эксплуатационные показатели самого объекта, которыми достигаются его целевые параметры.

Таким образом, в данном случае образуется иерархическая цепочка: от эксплуатационных параметров объекта (насоса) к его целевым параметрам (производительность), затем к эксплуатационным ТГС (расход и давление в различных точках), затем к целевым ТГС (обеспечение выноса породы и приведение в действие турбобура) и т.д. до последней рассматриваемой системы. Все это справедливо и для гидросистем ППД, о факторах оптимизации которой далее пойдет речь.[1]

Как правило, оптимизация систем ППД начинается с этапа проектирования в процессе подбора эксплуатационных свойств объектов и структуры ТГС. Эксплуатационные свойства подбираются, в первую очередь, исходя из соответствия режимов закачки установленным проектом разработки нормам; во вторую очередь, исходя из минимума капитальных затрат на реализацию структуры; и в третью, из минимума затрат на эксплуатацию отдельных объектов и системы в целом. Таким образом, основными целями оптимизации систем ППД на стадии проектирования являются сведение к минимуму затрат на:

1. Реализацию данной структуры, включающих:
 - а) стоимость всех объектов (устройств) системы;
 - б) стоимость работ по монтажу объектов в единую систему;
2. Эксплуатацию, включающих:
 - а) затраты на энергию, необходимую для функционирования системы;
 - б) затраты на текущие и капитальные ремонты объектов системы;
 - в) затраты на поддержание технологических режимов (целевых показателей).

Так как в этой работе в основном затрагиваются вопросы эксплуатации существующих систем ППД, то наиболее интересным здесь является второй пункт, определяющий эксплуатационную оптимизацию. Как видно, цели оптимизации, соответствующие второму пункту, выходят за пределы проекта и преследуются в течение всего срока эксплуатации систем ППД.

Из приведенных целей вытекают, по крайней мере, две задачи, которые приходится решать при «эксплуатационной оптимизации» данных систем.

1. Оптимизация структуры путем изменения порядка соединения или добавления объектов, т.е. преобразование ее схемы.

2. Оптимизация комплексного режима системы путем изменения свойств отдельных элементов.

Рассмотрим кратко используемые на данный момент методы оптимизации систем ППД.

Оптимизация систем ППД посредством изменения структурной схемы возлагается на умственный аппарат человека. Т.е. на данный момент автоматизировать этот процесс довольно сложно, так как при выборе и построении того или иного варианта структурной схемы необходимо руководствоваться множеством исходных и выходных данных. При этом каждый вариант должен быть четко «продуман» (проанализирован) с учетом не только параметров моделируемой системы, но и множества других, ограничивающих факторов. Естественно, что для автоматизации процесса структурной оптимизации следует решить задачу

«искусственного интеллекта», а это на данном этапе не представляется возможным. Поэтому здесь мы коснемся лишь аспектов оптимизации состояния системы путем изменения эксплуатационных свойств отдельных наиболее значимых для управления элементов.

Таковыми элементами в системах ППД обычно являются АСГ и УУ. Причем в уже созданной и эксплуатируемой системе к таким объектам можно отнести, пожалуй, только УУ и в особенности УП. В качестве устройств по изменению параметров потока в гидросистемах ППД применяются различного рода дросселирующая арматура, необходимая для создания дополнительного гидравлического сопротивления на определенных участках схемы с целью управления распределением гидравлических и тепловых параметров рабочей жидкости в системе. Их применение позволяет управлять потокораспределение таким образом, чтобы обеспечить определенные уровни закачки в нагнетательных скважинах, и тем самым добиться технологических целей ППД. Наиболее простой и часто используемой дросселирующей арматурой являются штуцеры. Штуцеры могут устанавливаться как на гребенках при лучевой схеме ТГС, так и непосредственно на скважинах при кольцевой или смешанной схеме, а также непосредственно на КНС (в основном в виде управляемой запорной арматуры). Основным тех-показателем штуцера, оказывающим сильное энергетическое влияние на поток жидкости, является диаметр – d_0 (см. раздел 4.5, «Модели устройств по управлению потоком текучей среды»), в дальнейшем просто – d (код *Diameter*).[2]

При регулировании целевых показателей систем ППД (уровней приемистостей и давлений нагнетания) в основном опираются на подбор и смену штуцеров, а точнее, на изменение их тех-показателя – d . Причем предпочтение тому или иному размеру отдается исходя из накопленного опыта, либо по номограммам и приближенным формулам. Опыт показывает, что смена режима скважины посредством сжатия потока штуцером **недостаточно** предсказуема, и влияет на потокораспределение

всей системы. И ни интуитивный подход, ни приближенный расчет не дает представления об изменении гидравлических параметров всей ТГС, особенно, когда речь идет о комплексном подборе штуцеров, дающем наилучший результат: установление заданных технологией заводнения режимов закачки в фонд нагнетательных скважин.

В общем, для дросселирования можно применять и клапанную запорную арматуру, которая позволяет более плавно (не дискретно) воздействовать на потокораспределение ТГС. Наиболее интересно с научной и практической точки зрения оценить характер влияния технических показателей одного или групп устройств на потокораспределение гидросистемы, а также на ее общеэнергетические показатели. Технические показатели элементов ТГС, которые будут подвергаться изменению, будем называть «тех-показателями» (например тех-показатель – d), а гидравлические параметры системы, в которых прослеживаются гидравлические характеристики потока, будем называть «гидропараметры» (например гидропараметр – q , код Qc). Функции, которые отражают между ними (тех-показателями и гидропараметрами) взаимосвязь для конкретной модели ТГС будем называть «регулируемыми кривыми».[3]

Естественно для управления ТГС, тех-показателями могут быть только технические свойства устройств, например, диаметры труб, штуцеров, характеристики АСГ и т.д. Гидропараметрами могут быть характеристики потока в какой-либо части системы: массовые расходы – M , объемные расходы – Qc , давления – H , температуры – T и общеэнергетические характеристики ТГС: к.п.д. сети, к.п.д. гидросистемы, суммарные гидравлические мощности АСГ и т.п.

В связи с тем, что изменение хотя бы одного (любого) тех-показателя элемента, входящего в гидросистему, влечет изменение потокораспределения, а значит и гидропараметров всех элементов. Далее

регулирующие кривые, получаемые по результатам вычислительного эксперимента над моделью ТГС, будем описывать следующим образом.

Регулирующая кривая (РК) это зависимость между гидропараметром “А” звена номер Y и тех-показателем “В” звена номер X .

Что касается регулирующих кривых от двух и более аргументов, то их далее будем обозначать сокращенно РК $Qc_{34}(d_{13}, d_{14}, \dots)$. Для математической записи в уравнениях последнее будет описываться в виде $Qc_{34}(d_{13}, d_{14}, \dots)$ без префикса «РК». Естественно, тех-показатели, выступающие в роли аргументов могут быть и не однотипными, например, диаметр штуцера – звена № 13, длина трубы – звена № 34 и т.д.[4]

Опишем все тех-показатели и гидропараметры, которыми мы будем далее оперировать (таблица 1, таблица 2).

Таблица 1. Тех-показатели ТГС

№	Описание тех-показателя	Условное обозначение тех-показателя
1	Диаметр труб, штуцеров	d (<i>Diameter</i>)
2	Длина труб	L (<i>Length</i>)
3	Коэффициент растяжения характеристики АСГ по оси расхода	kQ
4	Коэффициент растяжения характеристики АСГ по оси давления	kdP

Таблица 2. Важные гидропараметры ТГС

№	Описание гидропараметра	Условное обозначение гидропараметра
1	Давление в узле, МПа	H
2	Объемный расход в звене, м ³ /сут	Q_c
3	Массовый расход в звене, т/сут	M
4	Перепад давления, обусловленный внутренними свойствами звена – $f(q)$, МПа	dP
5	Температура ТС в узле начала звена, °С	T_{begin}
6	Температура ТС в узле конца звена, °С	T_{end}
7	Коэффициент полезного действия сети, %	K_c
8	Коэффициент полезного действия гидросистемы, %	$K_{гс}$
9	Полный коэффициент полезного действия гидросистемы, %	$K_{ф}$
10	Гидравлическая мощность вырабатываемая всеми АСГ, кВт	$N_{г.н.}$
11	Гидравлическая мощность затрачиваемая на сопротивление в трубах, запорной арматуре, узлах, штуцерах и т.п., кВт	N_r
12	Целевая гидравлическая энергия в ед. времени, поступающая в ЗВС, кВт	$N_{ц}$
13	Среднее относительное отклонение от требуемых по технологии режимов, %	$S_{в}$
14	Коэффициент эффективности системы, д.е.	$K_{эфф}$
15	Суммарная закачка в нагнетательные скважины, тыс.м ³ /сут	ΣQ

Вид данных функций может быть получен при расчетах потокораспределения при изменении перед расчетом потокораспределения тех-показателей, соответствующих звеньев. Рассмотрим примеры и способы получения регулировочных кривых и основанный на их использовании метод оптимизации гидросистем для управления комплексным режимом закачки. Для начала рассмотрим общую схему влияния изменений тех-показателей произвольных элементов ТГС на ее потокораспределение. Для этого в определенной модели ТГС выберем звенья с изменяемыми тех-показателями и интересующие нас гидропараметры.[5]

Общая схема метода построения (получения) РК выглядит следующим образом. Изначально определяются звенья с изменяемыми тех-показателями, затем выбираются сами тех-показатели (четвертая колонка), соответствующие типу звена (третья колонка) и наконец, дискретные множества, принимаемых ими значений (пятая колонка).

Причем, как видно из таблицы 3 возможны варианты, когда у одного звена выбирается два и более тех-показателя, являющиеся аргументами регулировочных кривых. Единицы измерения тех-показателей должны соответствовать подразумеваемым в модели.

Таким образом, задавшись набором тех-показателей и множеством принимаемых ими значений, моделируются все возможные комбинации изменений тех-показателей гидросистемы в выделенных звеньях модели. В результате моделирования таких комбинаций имеем массив результатов расчетного потокораспределения: гидропараметров потоков жидкости во всех интересующих звеньях: насосах, нагнетательных скважинах, трубах, задвижках и т.п.

Комбинации состояния гидросистемы, соответствующие принимаемым значениям тех-показателей необходимо моделировать только для *n*-мерных регулировочных кривых.

Таблица 3. Пример множества выбранных тех-показателей, выступающих в роли аргументов для РК

№ т/п	№ звена	Тип	Общее название тех-показателя	Принимаемые значения
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	3	«штуцер»	d (<i>Diameter</i>)	0,005 м 0,010 м 0,015 м 0,020 м 0,025 м
2	1	«труба»	L (<i>Length</i>)	100м 200 м 300 м
3	0	«насос»	kQ (коэффициент растяжения полной гидравлической характеристики по оси расхода)	0,1 0,5 1,0 1,5
4	0	«насос»	kdP (коэффициент растяжения полной гидравлической характеристики по оси давлений)	0,1 0,5 1,0 1,5

Проще говоря, это делается так (на примере множества тех-показателей в таблице 3): в первой комбинации все тех-показатели принимают первое значение из последней колонки, затем в данном состоянии гидросистемы рассчитывается потокораспределение, на следующей комбинации первый тех-показатель принимает следующее значение, и состояние гидросистемы рассчитывается, и так до тех пор, пока не исчерпаются все значения

первого тех-показателя, далее второй тех-показатель принимает второе значение, а первый – первое значение.

Комбинации состояний гидросистемы и значений тех-показателей перебираются по принципу аналогичному электросчетчику с той лишь разницей, что каждое множество, принимаемых тех-показателем значений, состоит из различного количества чисел.

Здесь следует так же оговорить несколько важных моментов: общее количество комбинаций C – состояний гидросистемы определяется количеством выбранных (изменяемых) тех-показателей и количеством значений, каждый из которых может принимать. Если обозначить количество выбранных тех-показателей как N , а количество дискретных значений, принимаемых тех-показателем k , обозначить n_k , то имеет место зависимость[6]

$$C = n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_k \cdot \dots \cdot n_N.$$

Отсюда следует, что количество моделируемых вариантов – C имеет степенную зависимость от количества изменяемых тех-показателей.

В нашем примере $C = 5 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4 = 240$.

Рассмотрим наиболее общие аспекты выбора множеств значений тех-показателей. В наиболее простой схеме это можно сделать, отградуировав шкалу значений, между пределами слева, и справа равными интервалами.

На примере тех-показателя – d (диаметра штуцеров, труб) это выглядит так, как показано на рисунке 1

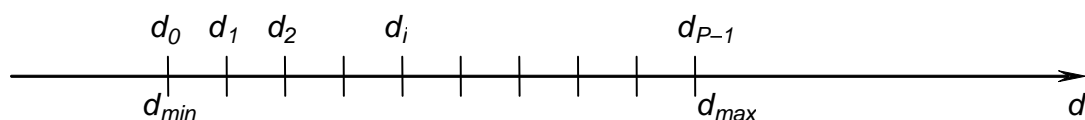


Рисунок 1. Схема выбора количества значений n тех-показателя d

На рисунке 1 изображена числовая ось тех-показателя d . Количество дискретных значений P определяет плотность сетки в соответствии с постоянством величин d_{min} и d_{max} , определяющих интервал перебора

значений d для соответствующего звена. Величины d_{min} и d_{max} определяются техническими ограничениями например, минимальным и максимальным диаметрами штуцеров или труб, имеющихся в наличии. Величина P может быть подобрана таким образом, чтобы каждое значение d_i соответствовало реальным величинам. Однако зачастую типоразмеры имеют нелинейный ряд. В связи с этим для конкретных технических решений следует использовать реальные значения, принимаемые тех-показателями. Что касается штуцеров, то здесь следует отметить, что не стоит расширять пределы d_{min} и d_{max} за области «разумного», например, так, что диаметр штуцера больше чем, диаметр трубопровода.[7]

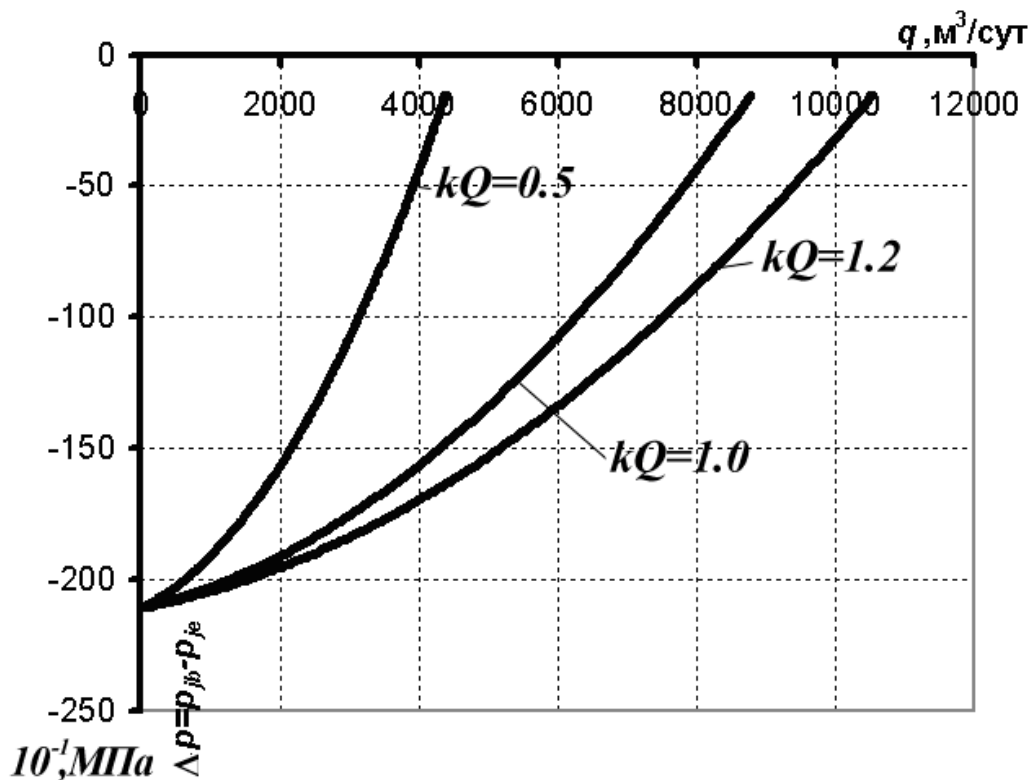


Рисунок 2. Действие коэффициента kQ на форму полной гидравлической характеристики насосного агрегата типа АСГ_{СТР}

Рассмотрим тех-показатель kQ , использование которого имеет решающее значение для решения задачи комплексной энергосберегающей оптимизации ТГС. Данный тех-показатель, как уже оговаривалось с математической точки зрения, является коэффициентом

растяжения/сжатия полной гидравлической характеристики насосного агрегата по оси расходов. Это означает, что значения расхода жидкости каждой точки характеристики $\Delta p = f_{АСГ}(q)$ умножается на kQ данного объекта.. На данный коэффициент также умножаются величины расхода точек зависимости коэффициента полезного действия АСГ от расхода жидкости. Это необходимо учитывать при дальнейшем прочтении. Такого рода прием является условным и необходим только для упрощения изложения. Физический смысл одновременного масштабирования функций $p = f_{АСГ}(q)$ и $\eta_{АСГ} = f_{\eta_{АСГ}}(q)$ заключается в том, что предполагается постоянство технических возможностей АСГ, т.е. данные зависимости по отношению друг-другу не изменяются при изменении коэффициента kQ . Данный постулат никак не снижает точности расчета и не отрывает поставленные задачи от реальности, а необходим для доступности построения регулирующих кривых.[8]

Физический смысл, который несет в себе данный коэффициент, состоит в том, что kQ безразмерно (т.е. условно) и безотносительно к состоянию гидросистемы определяет количество АСГ, с одинаковой гидравлической характеристикой, установленных в параллельном соединении. Данный коэффициент может «имитировать» установку/устранение (включение/отключение) насосных агрегатов, стоящих параллельно на кустовой насосной станции, при условии, когда выбранный АСГ несет в себе суть всей КНС, т.е. ее общей характеристики.

Следующим наиболее интересным тех-показателем является коэффициент kdP . Данный тех-показатель, с чисто математической стороны, является коэффициентом растяжения/сжатия полной гидравлической характеристики насосного агрегата по оси давлений. Т.е. значения перепада давления Δp каждой точки $\Delta p = f_{АСГ}(q)$ умножается на величину kdP , как показано на рисунок3.

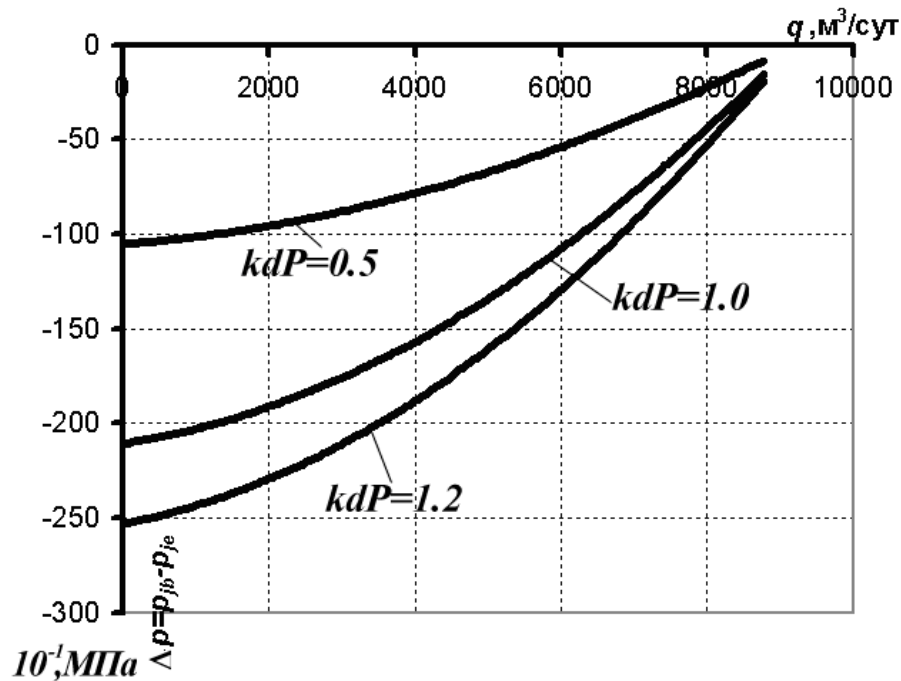


Рисунок 3.. Действие коэффициента kdP на форму полной гидравлической характеристики насосного агрегата типа АСГ_{СТР}

Физический смысл данного коэффициента состоит в том, что величина kdP безразмерна и безотносительно к состоянию гидросистемы определяет количество АСГ, с одинаковой гидравлической характеристикой, установленных в последовательном соединении. Т.е. данный коэффициент может «имитировать» установку/устранение (включение/отключение) насосных агрегатов, стоящих последовательно (т.е. выход одного идет вход другого) на кустовой насосной станции, при условии, когда выбранный АСГ несет в себе суть всей КНС, т.е. ее общей характеристики. Таким образом, данный коэффициент может также «имитировать» установку или удаление секций насосов типа АСГ_{СТР}. [9]

Коэффициенты kQ и kdP имеют физический смысл, а также имеет смысл их применение при условии, когда АСГ, используемые в гидросистеме, являются скоростными аппаратами по сообщению гидравлической энергии текущей среде.

Значение коэффициента $kQ=2$ означает установку дополнительного такого же АСГ (с исходной полной гидравлической характеристикой) параллельно, а значение $kdP=2$ последовательно.

Выводы

Из приведенного анализа видно, что форма зависимостей между диаметрами штуцеров и расходами при прочих равных параметрах объектов взаимосвязана со структурой и свойствами всех устройств, входящих в ТГС. Иначе говоря, приведенные зависимости могли бы иметь другие числовые выражения по оси расходов, если бы тех-показатели звеньев, неизменяемых в ходе расчета РК (прочих констант) имели другие значения, например, при изменении коэффициентов приемистостей скважин, стоящих по схеме за рассматриваемыми штуцерами, или при изменении структуры или характеристик АСГ на КНС (количества, типа и производительности АСГ) и т.д.[10]

Однако в ходе анализа выяснено, что одномерные функции, отражающие взаимосвязь между объемным расходом какого-либо звена и диаметром какого-либо штуцера, имеют схожую форму, а числовая ось на отрезке $0-d_{max}$ может быть разделена на три основные зоны по характеру влияния изменения диаметра. Эти одномерные функции и являются образующими при формировании поверхностей для случая изменения диаметров двух звеньев и для общего N -мерного случая. Как видно из рассмотренных примеров, зависимости расхода, перепада давления, температуры, к.п.д. и т.п. от диаметров штуцеров и коэффициентов kQ , kDP имеют сложный и практически непредсказуемый (без использования модели) характер. Изменяя диаметр хотя бы одного штуцера, мы видим, что изменяются расходы и давления по всей гидросистеме. И, наконец, зависимость расхода в штуцере, а следовательно, и в скважине от его диаметра имеет так же сложный характер, потому что включает в себя воздействие на него всей системы. Эти кривые отражают «мягкость» воздействия изменения тех-показателей на гидравлические параметры потока в элементах ТГС в целом и в частности на гидропараметры изменяемого элемента (звена).

Список используемых источников

- 1 Стрекалов А.В. Модель нестационарных процессов в гидравлических системах сетевой структуры / А.В. Стрекалов, В.Ю. Морозов // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 8. – С. 107–109.
- 2 Стрекалов А.В. Математические модели гидравлических систем для управления системами поддержания пластового давления. г.Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати». 2007. 586 с.
- 3 Крумм Л.А. Методы оптимизации при управлении электроэнергетическими системами. – Новосибирск: Наука, 1981, 320 с.
- 4 Cross Я, Analysis of flow in networks of conduits or conductors. Urbana, Illinois: Eng. Exp. Station of Univ. of Illinois, 1936, November. 29 p.
- 5 Wilson G.G., Kniebs D.V. Distribution system analysis with the electronic digital computer. – GAS (USA), 1956, vol. 32, N8, p. 37–44.
- 6 Курман А.В., Каганер В.М. Принцип экстремальности и метод расчета на ЭЦВМ сложных вентиляционных и гидравлических сетей. — В кн.: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. пользователей ЭВМ типа «Урал». Секция III. Математическое программирование. – Тарту: Тарт. ун-т, 1966, с. 47–53.
- 7 Леонас В.Л., Моцкус И.Б. Метод последовательного поиска для оптимизации производственных систем и сетей. – Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1965, №1, с. 18–25.
- 8 Maxwell J.C. A treatise of electricity and magnetism. – Oxford, 1873, vol. 1. chapt. 6.
- 9 Черри Е., Миллар У. Некоторые новые понятия и теоремы в области нелинейных систем. – В кн.: Автоматическое регулирование: Сб. материалов конф. в Кренфилде, 1951 / Под ред. М.З. Литвина-Седого. – М.: Изд-во иностр. лит., 1954, с. 261–273.
- 10 Деннис Дж. Б. Математическое программирование и электрические цепи. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961, 216 с.

References

- 1 Strekalov AV Model of transient processes in hydraulic systems of the network structure / AV Strekalov, VY Morozov // Oil industry. - 2010. - № 8. - 107-109 p. [in Russia]
- 2 Strekalov AV Mathematical models of hydraulic systems for control of reservoir pressure maintenance. Tyumen: OJSC "Tyumen Printing House", 2007. 586 s. [in Russia]
- 3 Krumm LA Optimization techniques in the management of Electrical Power -cal systems. - Novosibirsk: Nauka, 1981 , 320 p. [in Russia]
- 4 Cross I, Analysis of flow in networks of conduits or conductors. Urbana, Illinois: Eng. Exp. Station of Univ. of Illinois, 1936, November. 29 p. [in Germany]
- 5 Wilson G.G., Kniebs D.V. Distribution system analysis with the electronic digital computer. - GAS (USA), 1956, vol. 32, N8, p. 37-44. [in USA]
- 6 Kurman AV, VM Kaganer The extreme and the calculation method on a computer complex ventilation and hydraulic networks. - In the book.: Proc. of reports. V Proc. soveshch. computer users type "Ural". Section III. Mathematical Programming. - Tartu Tartu. University, 1966, p. 47-53. [in Russia]
- 7 Leonas VL, Mockus IB Sequential search method to optimize production systems and networks. - Math. USSR Academy of Sciences. Energy and Transport, 1965, № 1, p. 18-25. [in Russia]
- 8 Maxwell J.C. A treatise of electricity and magnetism. - Oxford, 1873, vol. 1. chapt. 6. [in England]
- 9 Cherry E. Millar W. Some new concepts and theorems in nonlinear systems. - In the book.: Automatic control: Sat Materials Conf. in Cranfield, 1951 / Ed. MZ Litvin - Gray . - Moscow: Izd .lit. , 1954, p. 261-273 .[in Russia]
- 10 JB Dennis, Mathematical Programming and electrical circuits. - Moscow: Izd .lit. , 1961, 216. [in Russia]

Сведения об авторах**Information about authors**

Стрекалов В.Е., канд. тех. наук., доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВПО ТГНГУ, г. Тюмень, Российская Федерация

V.E. Strekalov, Ph.D., Associate professor of «Development and exploitation of oil and gas fields», FSBEI HPE TSOGU, Tyumen, Russian Federation

Стрекалов А.В., д. тех. наук., проф. кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВПО ТГНГУ, г. Тюмень, Российская Федерация

A.V. Strekalov, Ph.D., Professor of «Development and exploitation of oil and gas fields», FSBEI HPE TSOGU, Tyumen, Russian Federation

Хусаинов А.Т., аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВПО ТГНГУ, г. Тюмень, Российская Федерация

A.T. Khusainov, postgraduate department of «Development and exploitation of oil and gas fields», FSBEI HPE TSOGU, Tyumen, Russian Federation

e-mail: iq-tyumen@mail.ru