

УДК 681.532.63

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

**Ключевые слова:** магистральный нефтепровод, узел регулирования давления, пропускная способность узла.

По результатам измерения расхода и давлений построена действительная пропускная характеристика узла регулирования давления, подключенного параллельно линейной задвижке на магистральном нефтепроводе DN1200. Пропускная способность узла регулирования в 93,5 % случаев меньше пропускной способности регулятора давления. Наибольшие отличия наблюдаются при ходе затвора до 50 %. Общий тренд изменения пропускной характеристики узла регулирования по сравнению с пропускной способностью регулятора – уменьшение от -13,3 % до -24,5 % при уменьшении хода затвора от 100 % до 10 %. Коэффициент местного сопротивления узла регулирования при отключенных регуляторах давления составляет 37, что в 18 раз больше, чем его расчетное значение с учетом всех входящих в состав узла сопротивлений.

Для выполнения гидравлических расчетов трубопроводных систем, содержащих узлы регулирования давления, необходимо знать их действительную (ГОСТ Р 52720-2007) пропускную характеристику. Изготовители регулирующей арматуры представляют эту характеристику только поставляемой арматуре. Однако кроме регулирующей арматуры в состав узла регулирования входит ряд других элементов, создающих определенные гидравличес-

кие сопротивления (задвижки, тройники, изменения диаметра трубной обвязки и др.). Поэтому пропускные характеристики регулирующей арматуры не могут служить единственной основой для гидравлического расчета.

Для сравнения действительной пропускной характеристики узла регулирования давления с пропускной характеристикой регулирующей арматуры были обработаны результаты фактических измерений на одном из узлов регулирования давления в

**Е.В. Вязунов**

к.т.н., с.н.с., главный специалист  
отдела математического моделирования  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
VyazunovEV@gtp.transneft.ru

**К.А. Евтух**

главный специалист  
отдела математического моделирования  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
EvtukhKA@gtp.transneft.ru

**С.В. Путин**

инженер 1-й категории  
отдела математического моделирования  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
PutinSV@gtp.transneft.ru



системе ВСТО-1 и на их основе получены эмпирические значения пропускной способности узла регулирования.

В качестве регулирующей арматуры используются регуляторы давления типа ПТ99098 с дисковыми затворами. Узел регулирования содержит две пары регуляторов (рис. 1), подсоединенных параллельно линейной задвижке на магистральном нефтепроводе DN1200. Каждая пара состоит из соединенных параллельно регуляторов DN500 и DN350 и соединена трубопроводами DN800 со шлейфами DN1200 от магистрального нефтепровода. Для работы используется только одна из пар, другая является резервной. При работе узла линейная задвижка находится в положении «закрыто». Если необходимость в регулировании давления отсутствует, эта задвижка открыта, а регуляторы отсечены от трубопровода с помощью задвижек DN800.

Эмпирические значения пропускной способности узла регулирования определялись по формуле

$$K_{V_{уз}} = 0,0099 Q \sqrt{\frac{\rho}{dP}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $Q$  – расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $dP$  – перепад давления на узле, МПа, определяется как разность давлений  $P_{in}$  на входе и  $P_{out}$  на выходе узла. Для расчета по приведенной формуле использовались усредненные за 10-секундные интервалы значения измеряемых параметров  $Q$ ,  $\rho$ ,  $P_{in}$  и  $P_{out}$ , определялись также средние значения хода затворов для каждого интервала времени.

Давление измеряется преобразователями давления EJX430A Yokogawa на давление до 16 МПа, основная погрешность 0,0064 МПа (0,04 % от верхнего предела измерения). Погрешность измерителя расхода в рабочем диапазоне измерений – 60  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

На рис. 2 приведены результаты расчета величины

$$dK_{V_{уз}} = \frac{K_{V_{уз}} - K_{V_{пер}}}{K_{пер}} 100 \%,$$

Эта величина показывает, на сколько процентов пропускная способность узла регулирования больше (положительное значение) или меньше (отрицательное значение) пропускной способности регулятора  $K_{V_{пер}}$ , определяемой по пропускной характеристике производителя. Расчеты были выполнены для таких интервалов, в течение которых на узле регулирования был в работе только один регулятор DN350. Затвор регулятора DN500 при этом закрыт, а другая пара регуляторов отсечена от магистрально-го трубопровода задвижками DN800.

Поток нефти от точки измерения давления перед узлом регулирования до точки измерения давления после узла проходит через:

- 70,5 м труб, в том числе 48,2 м труб DN1200; 15,1 м – DN800 и 7,2 м – DN3500;
- две задвижки DN800;
- восемь тройников;

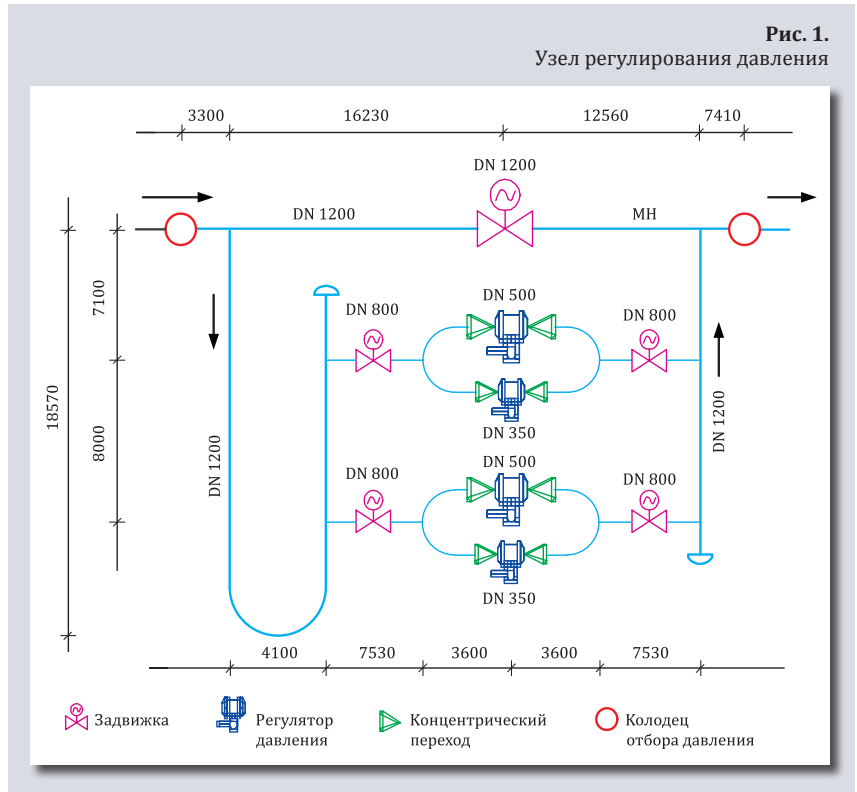


Рис. 1. Узел регулирования давления

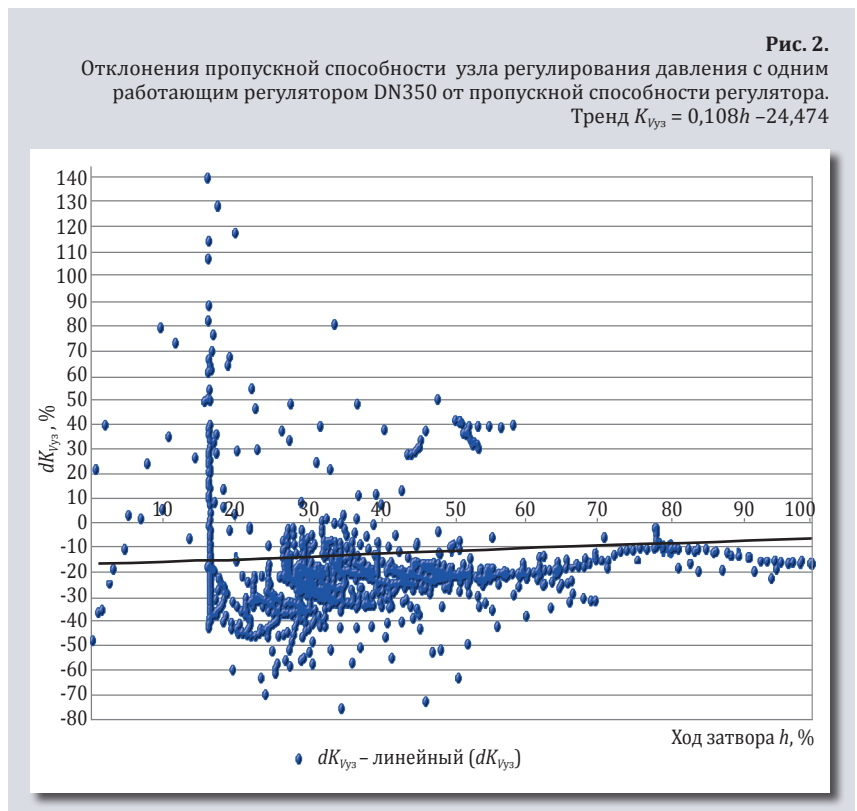
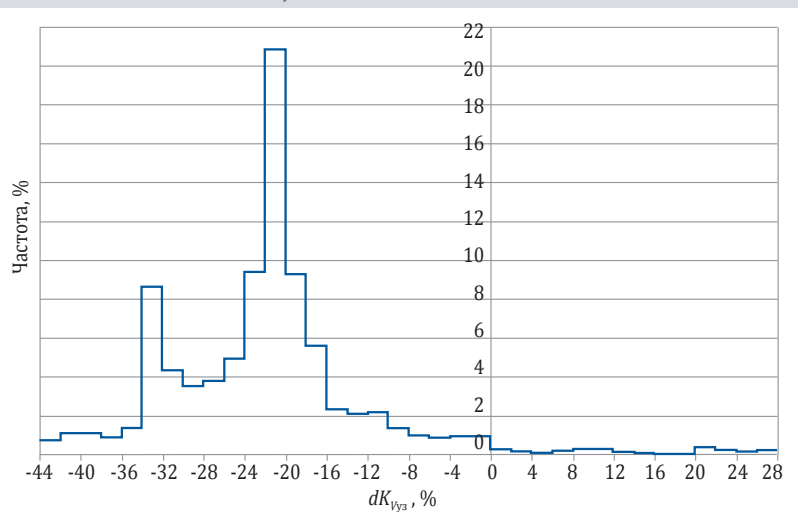


Рис. 2. Отклонения пропускной способности узла регулирования давления с одним работающим регулятором DN350 от пропускной способности регулятора. Тренд  $K_{V_{уз}} = 0,108h - 24,474$

- шесть отводов 90° (колен);
  - два концентрических перехода (конфузор и диффузор) с DN800 на DN350 и наоборот.
  - число замеров – 1855;
  - диапазон расходов – 500 ÷ 5130  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;
  - диапазон перепада давлений на узле – 0,20 ÷ 2,29 МПа.
- Массив обрабатываемых данных характеризуется следующими данными:
- На рис. 3 дано эмпирическое распределение величины  $dK_{V_{уз}}$ .

Рис. 3.  
Распределение величины  $dK_{уз}$



Наибольшие и наименьшие крайние значения  $dK_{уз}$  в количестве менее 6 % от общего числа замеров на рисунке не показаны. Медиана распределения находится между значениями  $dK_{уз}$  от -20 до -22 %.

Анализ приведенных результатов показывает следующее.

1. Пропускная способность узла регулирования может быть и меньше и больше пропускной способности регулятора давления.

2. Количество замеров, в которых  $dK_{уз} < 0$ , т.е. пропускная способность узла регулирования меньше пропускной способности регулятора давления, составляет 1735 (93,5 % от общего количества замеров). Количество замеров с  $dK_{уз} \geq 0$  составляет 120 (6,5 %). Таким образом, можно предположить, что увеличение пропускной способности узла регулирования по сравнению с пропускной способностью регулятора является следствием грубых ошибок измерения.

3. Наименьшее отличие пропускной способности узла регулирования от пропускной способности регулятора наблюдается при большом ходе затвора (80÷90 %), а наибольшее отличие (до -76 % и до +140 %) – при ходе затвора до 50 %.

4. В диапазоне 60÷100 % хода затвора наблюдается только уменьшение (до -38 %) пропускной способности узла регулиро-

вания по сравнению с пропускной способностью регулятора.

5. В диапазоне 10÷60 % хода затвора уменьшение пропускной способности достигает -76 %.

6. Общий тренд изменения пропускной характеристики – уменьшение  $dK_{уз}$  от -13,3 до -23,4 % при уменьшении хода затвора от 100 до 10 %.

Значительные отличия (уменьшение до -76 %) пропускной способности узла регулирования от пропускной способности регулятора не может полностью объясняться наличием дополнительных (к регуляторам давления) сопротивлений и погрешностями измерения параметров. Это явление может объясняться рядом причин, в том числе:

- интерференцией местных сопротивлений [1];
- гистерезисом затвора (различные его положения при одинаковом управляющем сигнале, но при разном направлении хода);
- протечкой через закрытые задвижки и через закрытый затвор регулятора давления, подключенный параллельно работающему регулятору. В пользу этого предположения говорят особенно большие положительные значения  $dK_{уз}$  при малых значениях (до 20 %) хода затвора, поскольку протечка, если она имеет место, оказывает большее влияние на значение  $dK_{уз}$  при малых значениях хода затвора расхода, чем при большом ходе;

- неправильной установкой датчиков давления и расхода.

Для количественной оценки влияния указанных факторов необходимы специальные дополнительные исследования.

Поскольку значительное время узел регулирования может не работать (задвижки DN800 закрыты, а линейная задвижка DN1200 открыта), то представляет интерес значение пропускной способности узла регулирования при отключенных регуляторах давления. Для определения пропускной способности и коэффициента местного сопротивления узла регулирования при отключенных регуляторах использовались 579 замеров. Расход при этом изменялся в диапазоне 4326÷4341 м<sup>3</sup>/ч, число Рейнольдса – 10<sup>5</sup>. По результатам этих измерений среднее значение пропускной способности узла составило  $K_v = 9331$  м<sup>3</sup>/ч. Соответствующее значение коэффициента местного сопротивления, приведенного к номинальному диаметру нефтепровода, составляет 37. При этом расчетные значения коэффициентов местного сопротивления составляют [2]:

- трубопровода DN1200 длиной 39,5 м между преобразователями давления – 0,0006;
- открытой задвижки DN1200 – 0,15;
- двух тройников DN1200 при отсутствии потока через регуляторы – не более 2.

Таким образом, эмпирическое значение эквивалентного коэффициента местного сопротивления узла регулирования при отключенных регуляторах в 18 раз превосходит сумму расчетных значений коэффициентов всех входящих в узел сопротивлений. Причины этого явления могут быть те же, что указаны выше, за исключением протечки через закрытые задвижки (они уменьшают сопротивление узла) и гистерезиса затвора (поскольку он не перемещается).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1970.
2. РД - 75.180.00-КТН-198-09. Унифицированные технологические расчеты объектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.