

# Оценка потерь давления в термозапорных клапанах типа КТЗ 001

*Термозапорные клапаны КТЗ должны автоматически прекращать подачу газа к газопотребляющим приборам при возникновении пожара с целью облегчения борьбы с огнем, предупреждения взрыва газа, снижения тяжести последствий пожара, травматизма пожарных расчетов и персонала предприятия.*

**Т.С. Романенко,**  
к.т.н., генеральный директор ЗАО «АРМГАЗ-НТ»  
**Ю.С. Романович, П.С. Гончаров, А. М. Филипчик,**  
ЗАО «АРМГАЗ-НТ»

На рис. 2 показан рост температуры от времени при пожаре в модельном помещении. Как видно, в течение 10 мин. температура может превысить значения 650°C. Именно в этот период должен быть автоматически и надежно прекращен выход газа из трубопровода и начато пожаротушение. Термозапорные клапаны выполняют данное требование, гарантируют невозможность возникновения газового пожара.

Установку термозапорных клапанов предписывают Правила пожарной безопасности (ППБ 01-03, пункт 84) и ГОСТ Р 52316-2005, Группа Г88, в которых говорится, что в соответствии с указанными выше правилами «трубопроводы, подводящие газ к бытовым и промышленным приборам для его сжигания, на вводимых в эксплуатацию после завершения строительства, капитального ремонта, реконструкции и (или) технического перевооружения объектах должны быть оборудованы термочувствительными запорными устройствами (термозапорными клапанами), автоматически перекрывающими газовую магистраль при достижении температуры среды в помещении при пожаре 100°C». Указанные клапаны должны устанавливаться в помещении непосредственно перед краном на газовой магистрали.

Аналогичную позицию по обязательному применению термозапорных клапанов занимает и Федеральная служба по

техническому надзору (Госгортехнадзор РФ), что выражено в циркулярном письме (исх. №03-04-01/81 от 26.07.2004 г.), и МЧС РФ (письмо №18/3/320 от 03.12.2003 г.).

Термозапорные клапаны должны быть устроены так, что вплоть до температуры 650°C на протяжении не менее 30 минут они пропускают не более 30 л/ч, измеряемые как протекаемый или истекаемый расход воздуха.

Высокая конкуренция на рынке, насыщенном однотипной продукцией, послужила основанием для дальнейшего развития конструкций термозапорных клапанов «АРМГАЗ-НТ», особенно межфланцевых как представителей наиболее перспективной линейки в имеющемся ассортименте и пока еще не представленной у других производителей. Несмотря на свои выигрышные позиции в вопросах цены, веса изделия и трудоемкости изготовления по отношению к фланцевым клапанам, межфланцевые имели один конструктивный недостаток – они обладали меньшим проходным сечением, что вызывало потери давления несколько больше, чем у фланцевых клапанов. Невзирая на то что потери давления уже входили в рамки ГОСТ, компания понимала, что термозапорный клапан – в первую очередь безопасность, поэтому было принято решение вести работу по усовершенствованию конструкций для достижения минимальных потерь давления. Встал всего один вопрос – как?

В настоящее время аналитические методы исследования движения потока внутри регулирующей арматуры не могут использоваться для расчетов сложной геометрии внутренних полостей клапанов по следующим причинам:

- отсутствуют или только находятся в разработке точные решения уравнений гидродинамики потока для сложных геометрических примитивов клапана и исполнительного органа (ИО), которые входят в состав арматуры
- данная задача отличается сложностью математического описания, необходимостью корректировки граничных условий, поэтому ее решение вручную практически невозможно
- существуют технические и математические сложности решения уравнений гидродинамики для трехмерных 3D-объектов, что осложняется отсутствием точных экспериментальных результатов
- в аналитических решениях не учитываются пульсации, закрученности и форма потока

Отсутствие точных экспериментальных данных по этому направлению объясняется высокой стоимостью экспериментов, большой трудоемкостью проведения натурных испытаний на образцах (модернизируемых, эксплуатируемых и особенно новых), невозможностью размещения измерительных датчиков в нужных сечениях и внутренних полостях.

Данные сложности в аналитических и экспериментальных исследованиях поднятой проблемы объясняют стремление исследователей к использованию приближенных численных методов расчета. Появление и широкое распространение метода конечных разностей и метода конечных элементов (МКЭ) позволяют успешно преодолеть эти трудности.

Решение было найдено в применении современных CAE-систем (Computer Aided Engineering – системах инженерного анализа). Для работы был выбран наиболее мощный и зарекомендовавший себя в данной области программный продукт – ANSYS / FLOTRAN. Кроме того, правильность выбора программы расчета и анализа проверена продувкой фланцевого клапана в лаборатории ЦАГИ, расчетами профессора Н.Т. Романенко, расчетом в FS-DESIGN и расчетом в ANSYS. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Анализ гидравлического сопротивления клапанов осуществлялся с помощью ANSYS CFX – комплекса вычислительной гидродинамики общего назначения, который позволяет решать широкий спектр задач вычислительной газовой гидродинамики.

Для этого были построены геометрические модели проточных частей клапанов – резьбовых DN 15-50; фланцевых DN 50-200 и межфланцевых DN 50-600 с подсоединенными трубопроводами общей длиной 30 диаметров. Длина входного участка составляла 10 диаметров, выходного – 20.

Неструктурированная тетраэдрическая сетка конечных элементов (см. рис. 4, 5 и 6), построенная на проточных частях клапанов, имела следующими параметрами:

- минимальный размер элемента на поверхности (min face size) – 0,005DN
- максимальный размер элемента на поверхности (max face size) – 0,05DN

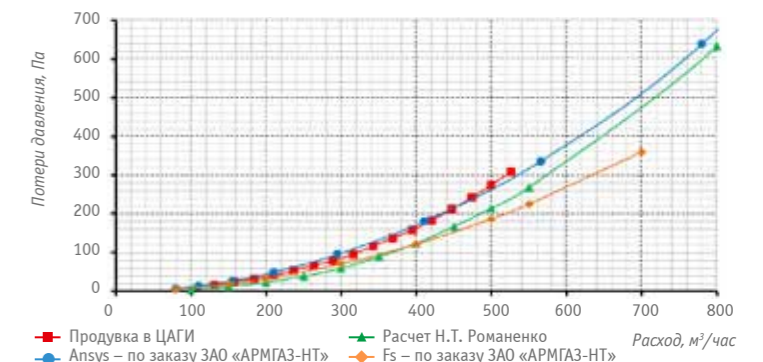


Рис. 3 – Сравнительная диаграмма потерь давления в термозапорном клапане КТЗ 001-100Ф производства ЗАО «АРМГАЗ-НТ» (газ = воздух;  $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ ;  $T = 293,15 \text{ K (20}^\circ\text{C)}$ ;  $P_{\text{абс}} = 101325 \text{ Па}$ )

- максимальный размер объемного элемента (max tetra size) – 0,1DN
- коэффициент роста размера элемента (growth rate) – 1,2

На поверхностях были построены два-три слоя призматических элементов с коэффициентом роста толщины равным 1,2. В качестве рабочего тела выступал метан, подчиняющийся законам идеального газа. Все расчеты выполнялись при следующих условиях:

- температура среды – 20°C (293,15K)
- абсолютное давление – 101325 Па
- процесс течения газа считался изотермическим

Задачи решались в стационарной постановке. На входе в расчетную область задавалась скорость потока, пересчитанная через объемный расход и номинальный диаметр клапана, а на выходе – относительное давление, равное нулю. На остальных поверхностях расчетной области автоматически было задано условие гидравлически гладкой изотермической стенки. Турбулентность моделировалась стандартной k-ε моделью с автоматическими функциями стенки.

В процессе расчета получены:

- перепады давления ( $dp_i$ , Па) и коэффициенты потерь ( $\zeta_i$ ) для системы, состоящей из клапана и трубопроводов длиной 10 диаметров на входе и 20 диаметров на выходе
- перепады давления ( $dp_{2i}$ , Па) и коэффициенты потерь ( $\zeta_{2i}$ ) для трубопровода длиной 30 диаметров

Перепад давления на клапане и его коэффициент потерь вычислялись следующим образом:

$$dp_{\text{кл}} = dp_{21} - dp_{11}, \quad \zeta_{\text{кл}} = \zeta_{21} - \zeta_{22}, \quad \zeta_{21} = \frac{2 \cdot v_{p1}}{\rho \cdot v_{cp}^2}, \quad i = 1, 2$$

Для определения средней скорости потока через клапан были построены n характерных поперечных сечений, для каждого из которых определялась средняя скорость  $v_s$



Рис. 1 – Внешний вид термозапорных клапанов

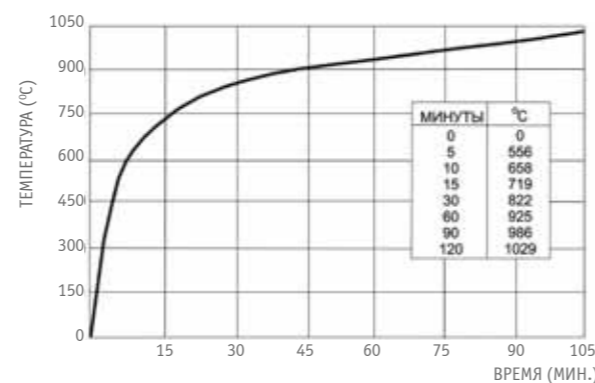


Рис. 2 – Рост температуры от времени при пожаре



Рис. 4 – Конечно-элементная сетка проточной части резьбового клапана КТЗ-15 с шариковым затвором, состоящая из 537 441 узла и 1 936 424 элементов



Рис. 5 – Конечно-элементная сетка проточной части фланцевого клапана КТЗ-50Ф, состоящая из 537 441 узла и 1 936 424 элементов

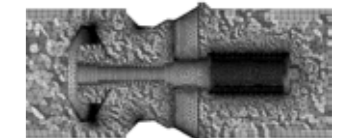


Рис. 6 – Неструктурированная тетраэдрическая сетка проточной части межфланцевого клапана КТЗ-50МФ



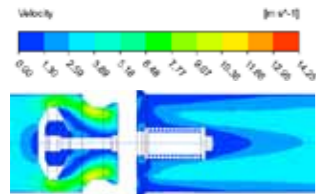


Рис. 7 – Поле скоростей через клапан КТЗ-100МФ (вертикальная плоскость, Q=92 м³/ч)

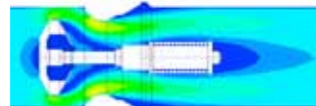


Рис. 8 – Поле скоростей через клапан КТЗ-100МФ (горизонтальная плоскость, Q=92 м³/ч)

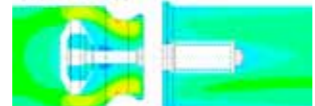


Рис. 9 – Поле продольных скоростей через клапан КТЗ-100МФ (вертикальная плоскость, Q=92 м³/ч)

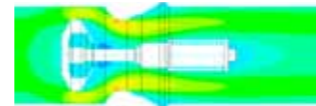


Рис. 10 – Поле продольных скоростей через клапан КТЗ-100МФ (горизонтальная плоскость, Q=92 м³/ч)

на этапе обработки результатов. Затем находилась средняя скорость для всех сечений:

$$v_{cp} = \frac{\sum v_s}{n}$$

Для снижения размерности модели для клапанов 80Ф–200Ф рассматривалась четверть конструкции без пружины, поскольку последняя скрыта в полости и не оказывает значительного влияния на течение потока. Для разрешения пограничного слоя были выполнены три призматических слоя элементов с коэффициентом роста 1,2.

На рис. 7-10 на примере клапана КТЗ-100МФ представлены поля абсолютных скоростей потока через клапан.

Наличие вихревых зон (зон обратного тока) выявляется при рассмотрении поля продольных скоростей потока.

С целью уменьшения потерь давления в клапанах на основе полученных результатов проведена оптимизация геометрии клапанов, описанной в параметрическом виде. Результаты расчетов на примере межфланцевых клапанов представлены ниже.

В результате работы получены для всех типоразмеров термозапорных клапанов потери давления и коэффициент потерь в зависимости от расхода газа. Расчеты показали, что все термозапорные клапаны производства ЗАО «АРМГАЗ-НТ» соответствуют ГОСТу.

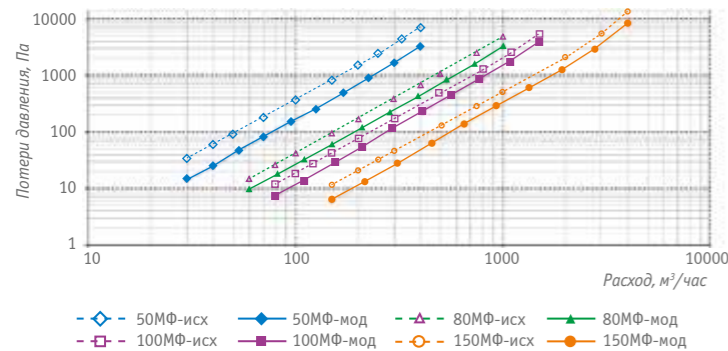


Рис. 11 – Диаграмма потерь давления в межфланцевых термозапорных клапанах КТЗ 001-МФ производства ЗАО «АРМГАЗ-НТ» (газ-метан; ρ=0,6668 кг/м³; T=293,15K (20°C); Рабс=101325Па) --- исходное исполнение, — оптимизированные

Соответствие ГОСТу Р 52316-2005 (газ – воздух; T=293,15K (20°C); Рабс=101325Па)

Тип	Q, м³/ч	Vвх, м/с	ΔP, Па		ΔP, Па по ГОСТу
			Исходный	Модернизир,	
50МФ	36	6,508	98,917	36,412	≤100
80МФ	51	2,818	18,720	12,683	
100МФ	92	3,254	27,920	17,366	
150МФ	189	2,971	31,915	17,627	≤20

Также была проведена работа по сравнению термозапорных клапанов типа КТЗ 001 различных производителей. Результаты работы представлены на рис. 12-14.

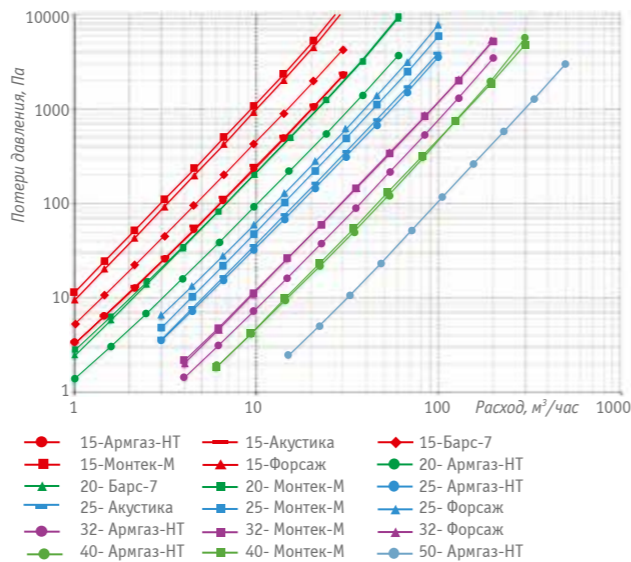


Рис. 12 – Сравнительная диаграмма потерь давления в резьбовых термозапорных клапанах КТЗ 001 (газ-метан; ρ=0,6668 кг/м³; T=293,15 K (20°C); Рабс=101325 Па)

Соответствие ГОСТу Р 52316-2005 (газ-воздух; T=293,15K (20°C); Рабс=101325 Па)

Тип Фирма	Q, м³/ч	Vвх, м/с	Дркл, Па	ζкл	ΔP, Па по ГОСТу
15-ЗАО «Армгаз-НТ»	3,100	4,87	45,01	3,36	≤ 100
15-000 «Акустика»			46,00	4,11	
15-000 «Барс»			80,59	6,54	
15-000 «Монтек-М»	7,100	6,28	196,31	9,44	
15-000 «Форсаж»			165,05	8,75	
20- ЗАО «Армгаз-НТ»			88,14	3,48	
20- 000 «Барс»	11,300	6,40	193,99	6,85	
20- 000 «Монтек-М»			194,40	6,55	
25- ЗАО «Армгаз-НТ»			77,64	2,82	
25- 000 «Акустика»	19,100	6,60	84,46	3,76	
25- 000 «Монтек-М»			115,27	4,52	
25- 000 «Форсаж»			141,62	4,50	
32- ЗАО «Армгаз-НТ»	28,300	6,26	47,41	1,83	
32- 000 «Монтек-М»			76,47	3,71	
32- 000 «Форсаж»			76,10	3,57	
40- ЗАО «Армгаз-НТ»	36,010	5,10	61,83	2,21	
40- 000 «Монтек-М»			67,02	3,25	
50- ЗАО «Армгаз-НТ»			23,44	1,48	

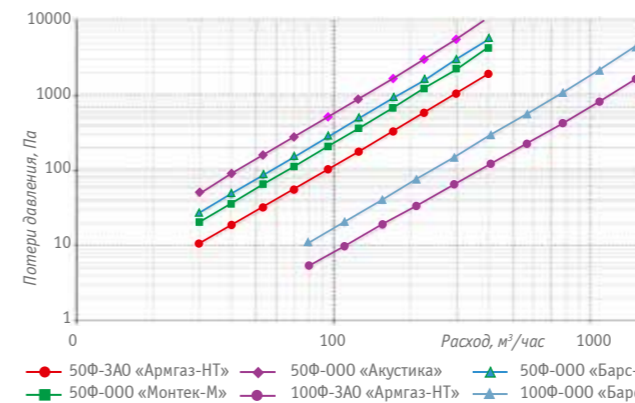


Рис.13 – Сравнительная диаграмма потерь давления в фланцевых термозапорных клапанах КТЗ 001-Ф (газ-метан; ρ=0,6668 кг/м³; T=293,15 K (20°C); Рабс=101325 Па)

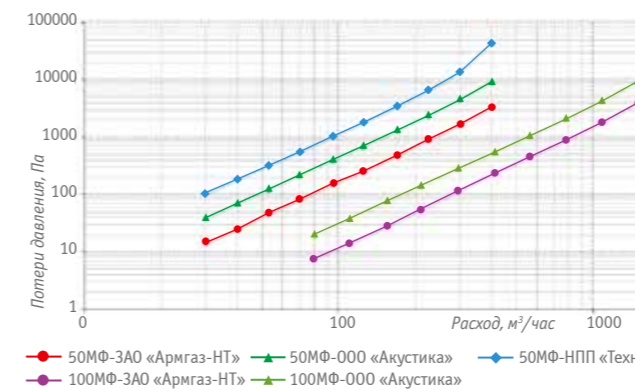


Рис.14 – Сравнительная диаграмма потерь давления в межфланцевых термозапорных клапанах КТЗ 001-МФ (газ-метан; ρ=0,6668 кг/м³; T=293,15K (20°C); Рабс=101325 Па)

Результаты, полученные в процессе расчетов, показывают, что при сравнении потерь давления в клапанах, производимых ЗАО «АРМГАЗ-НТ», и аналогов других фирм-производителей можно обнаружить, что для одних и тех же диаметров клапанов потери давления отличаются более чем на 400%.

Общее правило устройства газопроводов сводится к снижению потерь давления газа как по длине (использование труб с гладкой внутренней поверхностью), так и на местных сопротивлениях (фитингах, отводах, запорно-регулирующей арматуре). Установка термозапорных клапанов с потерями давления, превышающими нормативные значения, недопустима и опасна, поскольку ведет к нестабильной работе или делает невозможной безопасную эксплуатацию послевоенного газового оборудования (котлы, колонки, плиты и т.д.), предполагающего обязательное наличие минимального входного давления газа. Особенно опасна установка термозапорных клапанов с высокими потерями давления в условиях сельской местности и загородной застройки, для которых характерны колебания давления в подводящих газовых сетях, особенно в зимний период. Копеечная экономия на важнейших элементах безопасности газовых сетей ведет к неожиданному срабатыванию систем котловой автоматики, остановке котлов с непредсказуемыми последствиями, неконтролируемым утечкам газа через включенные бытовые газовые приборы наиболее распространенных образцов (без контроля наличия пламени) и т.д. Газовым инспекциям на местах в рамках регулярных проверок газовых сетей и оборудования предписано запрещать дальнейшую эксплуатацию газовых систем, использующих элементы, в частности термозапорные клапаны, не соответствующие нормативным требованиям. ■

Соответствие ГОСТу Р 52316-2005 (газ – воздух; T=293,15K (20°C); Рабс=101325Па)

Тип Фирма	Q, м³/ч	Vвх, м/с	Дркл, Па	ζкл	ΔP, Па по ГОСТу
50Ф-ЗАО «Армгаз-НТ»	36	5,09	26,68	1,54	≤100
50Ф-000 «Акустика»			123,83	6,61	
50Ф-000 «Монтек-М»			52,14	2,09	
50Ф-000 «Барс-7»			69,21	3,13	
100Ф-ЗАО «Армгаз-НТ»	92	3,25	6,35	1,36	≤20
100Ф-000 «Барс-7»			23,43	1,84	

Соответствие ГОСТу Р 52316-2005 (газ – воздух; T=293,15K (20°C); Рабс=101325Па)

Тип	Q, м³/ч	Vвх, м/с	ΔP, Па	ΔP, Па по ГОСТу
50МФ-ЗАО «Армгаз-НТ»	36	6,51	36,41	≤100
50МФ-000 «ТД Акустика»			100,68	
50МФ-НПП «Техномаш»	36	5,09	266,16	≤20
100МФ-ЗАО «Армгаз-НТ»	92	3,25	17,37	
100МФ-000 «ТД Акустика»	92	3,25	46,36	

Резьбовые: КТЗ 001 - 15...40 (В-В) и (В-Н); PN = 0,6 МПа (6,0 кг/см²)  
 КТЗ 001 - 50 (В-В) и (В-Н); PN = 1,6 МПа (16,0 кг/см²)  
 Фланцевые: КТЗ 001 - 50...200 (Ф); PN = 1,6 МПа (16,0 кг/см²)  
 Межфланцевые: КТЗ 001 - 50...500 (МФ); PN = 1,6 МПа (16,0 кг/см²)

**Схема размещения клапана**

Газовая панель Газовая колонка Газовый котёл

Термозапорный клапан в газовых коллекторах

Топка



125080, Москва, а/я 41  
 Тел./факс: (499) 158-81-18  
 Тел./факс: (499) 158-69-59  
 e-mail: armgas@yandex.ru  
 www.armgas.ru