

**Рисунок 6. Взаимосвязь влажности пропаренного комбикорма и температуры в камере смесителя пресс-гранулятора**

лирования возможно при подборе оптимальных параметров процесса, т.е. при оптимальной влажности пропаренного комбикорма для данного рецепта и при оптимальной температуре пропаренного комбикорма. На основании многочисленных опытов были получены оптимальные параметры процесса гранулирования

для рецепта КД-П-5:  $t_{КАМ} = 80$  °C;  $t_{ПР} = 75-78$  °C;  $W_{ПР} = 14-14,5$  %. При данных параметрах процесса гранулирования достигается самая низкая удельная энергоёмкость процесса и максимальная производительность пресс-гранулятора. Удельная энергоёмкость составила 14,2 кВт ч/т.

На снижение энергоёмкости при производстве комбикорма КД-П-5 влияют: загрузка электродвигателя, влажность и температура пропаренного комбикорма. При поддержании данных параметров в оптимальных пределах достигается минимальная энергоёмкость процесса гранулирования комбикорма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шаповаленко, О.И. Пути улучшения качества комбикормов/ О.И. Шаповаленко, В.А. Новикова, Б.И. Пикус. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР; сер. Комбикормовая промышленность. – 1985. – Вып. – 4. – С.1-7.

УДК 699. 86: 621. 643 (075. 8)

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 2.03. 2009

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ГОФРОВ ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБ КАСАФЛЕКС НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ

**В.А. Коротинский, канд. техн. наук, доцент, Н.К. Зайцева, канд. техн. наук, доцент, С.И. Синица, ассистент, Н.В. Рехтик, Н.П. Воробей, студенты (УО БГАТУ)**

### Аннотация

*Прокладка труб КАСАФЛЕКС обеспечивает надежность, долговечность, экологическую безопасность, высокие теплотехнические свойства изоляции, срок службы более 50 лет при повышенных параметрах теплоносителя. Целью данной работы является исследование влияния размеров гофров гибких предизолированных труб КАСАФЛЕКС на гидравлические режимы. На основании исследований выявлено, что данные размеры гофров создают дополнительное гидравлическое сопротивление по сравнению с гладкими ПИ-трубами. Изменение размеров гофров могло бы создать такие режимы, когда уменьшается или разрушается пограничный слой, который оказывает основное гидравлическое сопротивление, и, тем самым, добиться уменьшения потерь давления.*

### Введение

Качество трубопроводов тепловых сетей, их надежность, долговечность, ремонтпригодность, экологическая безопасность и энергоэффективность во многом зависят от выбора материала труб и тепловой изоляции, наличия нормативно-технической документации, применения новых современных технологий монтажа.

Большинство разводящих внутриквартальных тепловых сетей систем отопления и горячего водоснабжения построены из стальных труб с изоляцией из минераловатных изделий, которые подвержены наружной, внутренней коррозии и находятся в аварийном состоянии.

Следствием неудовлетворительного технического состояния тепловых сетей являются растущие потери воды и тепла, которые составляют [1] 30-40 % от общей выработки.

Решение вопроса повышения коррозионной стойкости и качества систем является сложным и дорогостоящим.

В Республике Беларусь принята Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования собственных топливно-энергетических ресурсов на 2006-2010 гг., одним из основных пунктов которой является внедрение современных новейших технологий в строительство систем теплоснабжения.

Применение гибких гофрированных металлических труб Касафлекс относится к внедрению современных новейших технологий и позволяет в кратчайший срок произвести монтаж в стесненных условиях, обеспечивая надежность, безопасность и повышенные сроки эксплуатации тепловых сетей с низкими теплопотерями.

### Основная часть

Касафлекс – гибкая труба для тепловых сетей. Она предназначена для использования в отопительных сетях и сетях горячего водоснабжения.

Труба Касафлекс имеет гофрированную напорную трубу, изготовленную из нержавеющей стали (X5 CrNi 18-10).

Теплоизоляция изготовлена из экологически чистого, вспененного, с применением бесфреоновой технологии, полиуретана, обладающего высокими теплоизоляционными свойствами. Внутри теплоизолирующего слоя проходит сигнальный кабель для подключения системы оперативного дистанционного контроля (ОДК). Кроме того, труба имеет гидроизолирующую оболочку из полиэтилена.

Гибкость материала дает возможность легкого приспособления труб Касафлекс к практически любой геометрии трассы.

Труба для теплотрасс Касафлекс (рис. 1) позволяет выбрать наикратчайший маршрут прокладки, независимо от сооружения традиционного трубопровода. Существующие магистральные трубопроводы можно пересекать либо над, либо под ними, преграды можно просто обходить.

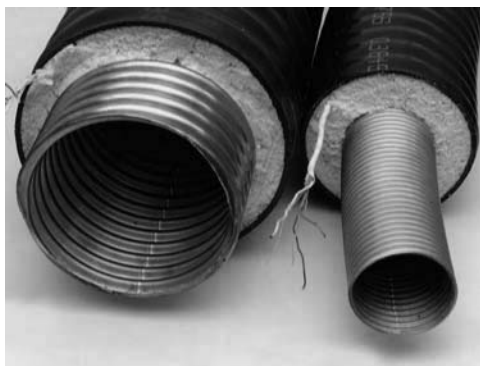


Рисунок 1. Конструкция труб Касафлекс

Труба Касафлекс [2] поставляется на объекты длинномерными отрезками требуемой длины (обычно в бухтах), что дает возможность обойтись минимальным количеством точек соединения.

Если учесть сокращение времени на прокладку труб, то применение труб Касафлекс [3] является не только идеальным с технической точки зрения решением, но и ключом к сокращению времени монтажа и производственных затрат. Укладка этих труб может быть произведена быстро и просто.

Физические свойства гофрированной напорной трубы позволяют производить их укладку без учета теплового расширения, отсутствует необходимость установки компенсаторов и неподвижных опор.

Монтаж соединительных деталей крайне прост. Они монтируются быстро и надежно с помощью обычных инструментов.

Достоинства предизолированных труб Касафлекс – это надежность работы, долговечность, экологическая безопасность, высокие теплотехнические свойства изоляции и большой срок службы при повышенных параметрах теплоносителя.

Технические данные труб Касафлекс приведены в табл. 1.

Разработана серийная технология накатки гофров. При этой технологии при обкатке тонкостенных трубок винтовыми роликами по наружной поверхности сразу образовывались периодические, расположенные с заданным шагом  $t$  канавки и плавно очерченные выступы заданной высоты внутри трубок (рис. 2).

Рассмотрим, как влияют накатанные гофры на удельные потери давления трубы Касафлекс.

Удельные потери давления  $R$ , Па/м зависят от диаметра трубы  $d$ , скорости (гидравлического режима)  $\vartheta$  и коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  [3].

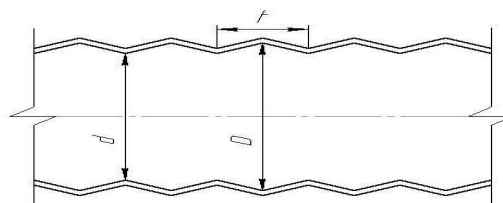


Рисунок 2. Продольный разрез трубы с поперечными накатанными винтообразными канавками на наружной стороне и выступами внутри

Таблица 1.

### Технические данные труб Касафлекс

$d_{\text{вн}} / D_{\text{об}}$	$d \times S$ , мм	шаг гофра $t$ , мм	$D_{\text{об}} \times \delta$ , мм	высота гофра $h$ , мм	толщина ППУ, мм	$\frac{d}{D}$	$\frac{t}{D}$	$\frac{t}{h}$
55/110	48,5×0,5	6,35	110×2,4	1,0	20	0,965	6,35	8
66/125	60×0,5	6,85	125×2,7	1,0	20	0,97	6,85	8
86/140	75×0,6	10,0	140×3,0	1,0	18	0,977	10	8
109/160	98×0,8	11,8	160×3,2	2,0	17	0,965	5,9	8
143/20	127×0,8	16,8	200×3,4	2,0	17	0,973	8,4	8,1

$$R = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2}$$

где  $l$  - длина участка равная 1 м;  
 $\rho$  - удельная плотность теплоносителя.

Сравним удельные потери гофрированной трубы Касафлекс и голой трубы при равных гидравлических режимах ( $v$ ,  $\rho = 971,88 \text{ кг/м}^3$  при температуре 80 °С).

Тепловые сети, как правило, работают при переходном и турбулентном режимах.

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  определяется по формуле А.Д. Альтшуля [4]

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{K_3}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}$$

где  $K_3$  - эквивалентная шероховатость, для водяных сетей  $K_3 = 0,5 \text{ мм}$ .

Определим коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  для голой металлической трубы в зависимости от  $v$ . Результаты расчета сведем в табл. 2.

Как видно из таблицы 2, при переходе с переходного режима в турбулентный значение  $\lambda$  снижается. Это явление объясняется тем, что при малых скоростях на коэффициент гидравлического трения воздействует пограничный слой, который с ростом скорости начинает разрушаться и преобладающим становится осевой поток теплоносителя.

**Таблица 2.**

**Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  для голой трубы**

$v$ , м/с	$d$ , мм	Re				
		48	60	75	98	127
0,1		0,03887	0,03675	0,03478	0,03253	0,03049
0,2		0,03718	0,03511	0,03324	0,03108	0,02914
0,3		0,03654	0,03451	0,03267	0,03055	0,02864
0,4		0,03620	0,03420	0,03237	0,03027	0,02838
0,5		0,03599	0,03400	0,03219	0,03010	0,02822
0,6		0,03585	0,03387	0,03207	0,02999	0,02811
0,7		0,03574	0,03378	0,03198	0,02991	0,02804
0,8		0,03566	0,03371	0,03191	0,02984	0,02798
0,9		0,03561	0,03365	0,03186	0,02980	0,02793
1,0		0,03556	0,03361	0,03182	0,02976	0,02790
$\lambda_{\text{ср}}$		0,03632	0,03432	0,03249	0,02738	0,02848

Удельные потери давления голой трубы  $R$  зависят от величины  $\lambda$ . Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Гибкие трубы Касафлекс имеют гофры, которые создают дополнительную шероховатость, влияющую на гидравлические режимы.

Используя номограмму [3], определяем удельные потери давления для гофрированных труб Касафлекс при тех же гидравлических режимах, что и для голой трубы.

**Таблица 3.**

**Удельные потери давления голой трубы**

$v$ , м/с	$d$ , мм	$R$ , Па/м				
		48	60	75	98	127
0,1		4,0	3,0	2,2	1,6	1,1
0,2		15,0	11,4	8,6	6,2	4,5
0,3		33,3	25,2	19,1	13,6	9,9
0,4		58,6	44,3	33,6	24,0	17,4
0,5		89,3	68,8	52,1	37,3	27,0
0,6		130,6	98,8	74,8	53,5	38,7
0,7		177,1	134,1	101,3	72,7	52,6
0,8		231,0	174,7	132,3	94,7	68,5
0,9		292,0	220,8	167,2	119,7	86,6
1,0		360	272,2	206,2	147,6	106,7

Удельные потери давления труб Касафлекс в зависимости от скорости для вышеуказанных диаметров приведены в табл. 4.

**Таблица 4.**

**Удельные потери давления труб Касафлекс [1]**

$v$ , м/с	$d$ , мм	$R_{\text{кас}}$ , Па/м				
		48	60	75	98	127
0,1		6,0	4,7	3,9	3,0	2,3
0,2		27,0	22,0	17,0	13,0	9,5
0,3		65,0	50,0	40,0	29,0	22,0
0,4		120,0	92,0	73,0	55,0	42,0
0,5		180,0	150,0	120,0	88,0	70,0
0,6		268,0	217,0	180,0	130,0	100,0
0,7		372,0	296,0	240,0	180,0	140,0
0,8		500,0	384,0	320,0	230,0	190,0
0,9		640,0	480,0	400,0	300,0	243,0
1,0		790,0	600,0	500,0	380,0	300,0

Данные сравнения удельных потерь давления голой трубы и трубы Касафлекс для одинаковых гидравлических режимов приведены в табл. 5.

**Таблица 5.**

**Сравнение  $R$  голой трубы и трубы Касафлекс**

$v$ , м/с	$d$ , мм	$\frac{R_{\text{кас}}}{R} = A$				
		48	60	75	98	127
0,1		1,5	1,56	1,77	1,9	2,1
0,2		1,8	1,92	1,97	2,1	2,2
0,3		1,95	1,98	2,10	2,1	2,2
0,4		2,05	2,06	2,2	2,3	2,4
0,5		2,0	2,2	2,3	2,4	2,6
0,6		2,05	2,2	2,4	2,42	2,6
0,7		2,10	2,2	2,4	2,47	2,7
0,8		2,16	2,2	2,4	2,4	2,8
0,9		2,19	2,2	2,4	2,5	2,8
1,0		2,2	2,2	2,4	2,57	2,8

Из табл.5 видно, что удельные потери давления Касафлекс выше, чем голой трубы и зависят от диаметра трубы и режима движения теплоносителя.

Это объясняется тем, что гофры создают дополнительное трение, и коэффициент  $\lambda$  трубы Касафлекс меняется в зависимости от скорости, диаметра, высоты гофра и шага [5].

Таблица 6.

**Коэффициент гидравлического трения  
трубы Касафлекс**

$g, \text{ м/с}$	$\lambda_{\text{КАС}}$				
	48	60	75	98	127
$d, \text{ мм}$	$D/d$ 1,036	1,03	1,024	1,036	1,028
0,1	0,0604	0,0590	0,063	0,064	0,066
0,2	0,0690	0,0694	0,067	0,0676	0,0659
0,3	0,0738	0,0704	0,0672	0,0665	0,0648
0,4	0,0769	0,0726	0,0729	0,0721	0,0700
0,5	0,0764	0,0722	0,0725	0,0717	0,0696
0,6	0,0761	0,0767	0,0788	0,0752	0,0751
0,7	0,0776	0,0765	0,0786	0,0765	0,0778
0,8	0,0798	0,0764	0,0784	0,0742	0,0805
0,9	0,0797	0,0763	0,0783	0,0741	0,0804
1,0	0,0810	0,0761	0,0782	0,0791	0,0803
$\lambda_{\text{СП}}$	0,0751	0,0726	0,0735	0,0721	0,0730

Так как в расчетах приняты равные гидравлические режимы движения в голых и гофрированных трубах, справедливо уравнение:

$$A = \frac{R_{\text{КАС}}}{R} = \frac{\lambda_{\text{КАС}} g^2 \rho d^2}{d_{\text{КАС}} 2g^2 \rho \lambda} = \frac{\lambda_{\text{КАС}} d}{\lambda d_{\text{КАС}}};$$

$$A = \frac{d \lambda_{\text{КАС}}}{D \lambda}$$

$$\text{Откуда } \lambda_{\text{КАС}} = \frac{A \lambda D}{d}$$

Расчеты по определению  $\lambda_{\text{КАС}}$  сводим в табл. 6. По данным табл. 1, 2 и 6 построен график (рис. 3).

На рис. 3 дана зависимость  $S = \frac{\lambda_{\text{КАС}}}{\lambda}$  от скорости движения теплоносителя для рассматриваемых диаметров труб и величины гофров. Как видно из графика, с увеличением  $g$  сопротивление возрастает.

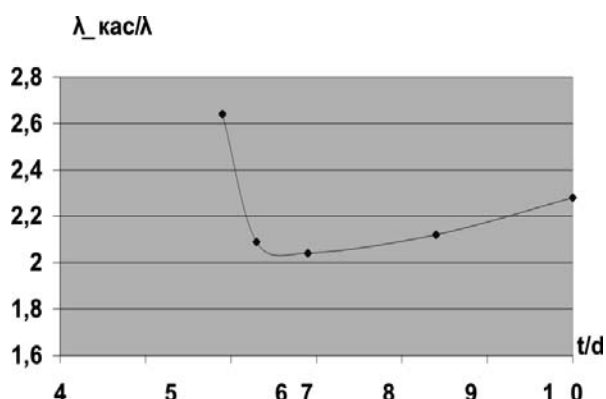


Рисунок 3. Влияние шага гофра на коэффициент гидравлического трения

При использовании гофрированных труб с обособленными размерами  $h, t, D, d$  при определенных числах Re можно уменьшить толщину или частично разрушить пограничный слой [5, 6], который оказывает основное гидравлическое сопротивление и тем самым добиться уменьшения потерь давления даже менее чем для голой трубы.

Основной задачей трубы Касафлекс было достичь с помощью гофров гибкости и компенсации температурных расширений металла. Это не привело к уменьшению гидравлического сопротивления, так как не были выдержаны размеры гофров и гидравлические режимы.

Изменение размеров  $h, t, D$  и  $d$  могло бы создать такие режимы, при которых уменьшается и разрушается пограничный слой и резко падает гидравлическое сопротивление.

Изменение размеров гофров труб Касафлекс влияет на гибкость, что требует дополнительных исследований.

**Заключение**

Несмотря на большие потери давления, применение предизолированных труб Касафлекс является технически оправданным в следующих случаях:

- при прокладке бесканальным способом тепловых сетей в стесненных условиях;
- при высоких температурах теплоносителя до 135 °С (кратковременно до 150 °С);
- при высоких давлениях в тепловых сетях (до 16 МПа);
- при транспортировании агрессивных сред.

Применение труб Касафлекс ведет к упрощению монтажных работ, значительному сокращению сроков строительства, увеличению надежной, безопасной работы тепловых сетей, уменьшению количества стыков и большому сроку службы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Александров, В. Тепло Евротрубопласта в Республике Беларусь /В. Александров, А. Хатенков// Полимерные трубы: спец. информац.-аналит. изд. – Москва, 2005. – 107 с.
2. Применение современных технологий при прокладке внутриквартальных тепловых сетей/ Н.К. Зайцева [и др.] // Перспективы и направления развития энергетики АПК: тез. докл. Материалы междунар. научно-технич. конф., посв. 50-летию АЭФ, Минск, БГАТУ, ноябрь 2007. – С. 225-228.
3. ЗАО «Завод АНД Газтрубопласт». Технические рекомендации на гибкие предизолированные трубы Касафлекс. – 8 с.
4. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – 5-е изд. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
5. Калинин, Э.К. Интенсификация теплообмена в каналах/ Э.К. Калинин, Г.К. Дрейцер, С.А. Ярхо. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1990. – 228 с.
6. Тепло- и массообмен: учеб. пособ. в 2-х ч. / Б.М. Хрусталев [и др.]. – Ч. 1. – Мн.: БНТУ, 2007. – 606 с.