

УДК 621.643.03; 624.042

А. С. ПАВЛЮЧЕНКО^а, Н. И. ГРИГОРЕНКО^б^а ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ», ^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

РАССТАНОВКА НЕПОДВИЖНЫХ ОПОР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ НА ЭСТАКАДАХ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос расстановки неподвижных опор при надземной прокладке трубопроводов водоснабжения и канализации. Ввиду отсутствия рекомендаций для проектирования водоводов на эстакадах выполнен сравнительный расчет с надземными теплотрассами. Полученные данные показывают необходимость проведения дальнейших исследований для рекомендации норм и правил проектирования надземных трубопроводов систем ВК.

Ключевые слова: надземная прокладка трубопроводов, эстакады, неподвижные опоры, проектирование систем ВК в особых условиях.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

В особых условиях напорные трубопроводы водоснабжения и водоотведения (ВК) рекомендуется прокладывать на эстакадах [3]. Для эффективного проектирования водоводов на эстакаде важно не только назначить маршрут и выбрать ее конфигурацию, но также решить вопрос расстановки опор под трубопроводы. Особое влияние на работу трубопроводов, а также на подбор сортамента металлоконструкций имеет расстановка неподвижных опор. Неподвижные опоры являются одним из важнейших конструктивных элементов сетей, лежащих на эстакаде. Они разделяют водоводы на отдельные участки, независимые друг от друга в восприятии различного вида усилий и размещаются между компенсаторами или участками трубопроводов с естественной компенсацией температурных удлинений [4, 8]. При их грамотной расстановке можно правильно распределить усилия в местах фиксации, возникающие в результате температурных деформаций и внутреннего давления, а также создать оптимальный режим работы трубопровода, при котором будут полностью отсутствовать аварии, вызванные температурными удлинениями.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время очень мало сведений по прокладке трубопроводов водоснабжения и водоотведения на эстакаде, поэтому при их проектировании инженеры зачастую используют литературу и рекомендации для прокладки трубопроводов теплоснабжения. Практика показывает, что это не совсем корректно, потому что возникающие усилия при температурных деформациях трубопроводов для водоводов и теплотрассы имеют существенные различия.

Исключительно важное значение при проектировании стальных трубопроводов имеет компенсация температурных деформаций. Если она отсутствует, то при сильном нагревании в стенке трубопровода могут возникнуть большие разрушающие напряжения [2]. Значения этих напряжений может быть рассчитано по закону Гука.

$$\sigma = E \cdot i, \quad (1)$$

где E – модуль продольной упругости, кПа (для стали $E = 2 \cdot 10^8$ кПа);
 i – относительная деформация.

Если участок трубопровода заземлен (без компенсаторов), то при повышении температуры он не удлиняется. При этом напряжение сжатия, возникающее в стальной трубе при нагреве прямолинейного заземленного участка трубопровода:

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного удлинения, 1/К (для стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/К);
 Δt – разность температуры, К.

Как видно из формулы (2), напряжение сжатия, возникающее в заземленном состоянии, зависит только от материала трубопровода (модуля упругости, коэффициента линейного удлинения) и перепада температур [2]. Следовательно, можно предположить, что при одинаковом материале труб напряжения, возникающие в трубопроводах ВК, будут меньше, чем в сетях теплоснабжения, т. е. разница температур Δt перекачиваемых сред для систем водоснабжения всегда меньше. При меньших напряжениях количество компенсаторов уменьшается, а участки между ними увеличиваются и применение рекомендаций для проектирования сетей теплоснабжения при прокладке трубопроводов ВК влечет за собой нерациональное использование ресурсов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Сравнить расстояние между неподвижными опорами сетей водоснабжения и теплоснабжения при одинаковых условиях прокладки. Расчетом показать важность и необходимость проведения исследований для рекомендации норм и правил проектирования надземных трубопроводов систем ВК.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Неподвижные опоры предусматривают на трубопроводах при всех способах прокладки тепловых сетей. При проектировании трубопроводов теплоснабжения температура перекачиваемой среды может достигать $t = 100 \dots 150$ °С [1]. Для сетей водоснабжения, а также большинства трубопроводов канализации, такая температура не является рабочей, поэтому расчеты произведены для $t = 5 \dots 20$ °С.

Для расчета были приняты аналогичные материал и размеры компенсатора для трубопроводов теплоснабжения (Т) и водоснабжения и канализации (ВК). Материал трубы – сталь 09Г2С, толщина стенки трубопровода при $\varnothing 89$ мм – 4 мм, при $\varnothing 108$ мм – 4 мм, при $\varnothing 159$ мм – 5 мм, при $\varnothing 219$ мм – 6 мм.

Для расчета трубопроводов в данной статье была использована программа СТАРТ (ООО «НТП Трубопровод», г. Москва). В указанной программе рассчитываются как самокомпенсирующиеся трубопроводы, в которых компенсация температурных расширений обеспечивается гибкостью самой трубопроводной трассы, так и трубопроводы со специальными компенсирующими устройствами, выполненными в виде сильфонных, линзовых, сальниковых и других видов компенсаторов [5, 6].

В ПО СТАРТ выполнен расчет участка с компенсатором для теплотрассы и водоводов с целью сравнения и уточнения допустимого расстояния между неподвижными опорами. Сравнение предлагается проводить по нескольким критериям: силы, возникающей вдоль глобальных осей, напряжения от всех воздействий в рабочем состоянии и перемещения самого трубопровода. Для систем теплоснабжения расстояния между неподвижными опорами рекомендованы в справочной литературе [1], а для систем водоснабжения оптимальные расстояния будут приняты по результатам расчета в ПО СТАРТ. Расчет сил, действующих вдоль глобальных осей, для различных диаметров трубопровода приведены в таблице 1.

По данным, приведенным в таблице 1, оптимальные расстояния между неподвижными опорами приняты в результате сравнения сил, действующих вдоль глобальных осей, в трубопроводах водоснабжения и теплоснабжения. Оптимальными для сети водоснабжения приняты расстояния, для которых значения действующих сил одинаковы или близки по значению с силами аналогичного участка сети теплоснабжения. Схема расчетного участка приведена на рисунке.

Также в ПО СТАРТ проверены расчетные напряжения от всех воздействий в рабочем состоянии трубопровода для выбранных длин участков. Расчет приведен в таблице 2.

Расчет перемещений трубопровода вдоль глобальной оси для выбранных расстояний между неподвижными опорами приведен в таблице 3.

Сравнение расстояний между неподвижными опорами для различных диаметров трубопроводов теплоснабжения и водоснабжения приведены в таблице 4.

Таблица 1 – Расчет сил, действующих на неподвижную опору и расстояния между ними

Участок сети	Силы вдоль глобальных осей (кгс)max			Моменты вокруг глобальных осей (кгс·см)max			Расстояние между неподвижными опорами, L (м)
	x	y	z	x	y	z	
Неподвижная опора 1–2(Т)Ø89	563,3	0,2	78,1	0,13	7 808,61	14,52	77
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø89	500,1	0	78,1	0,1	7 809,81	0,06	101
Неподвижная опора 1–2(ВК)Ø89	550,3	0	78,1	38,56	7 809,97	0,08	110
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø89	560	0	78,1	0,09	7 809,93	0,06	113
Неподвижная опора 1–2(Т) Ø108	529,8	0,1	92,5	10,09	9 245,82	36,11	78
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø108	470,8	0	92,5	8,76	9 247,57	1,27	102
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø108	512,9	0	92,5	8,78	9 247,62	0,9	110
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø108	535,3	0	95,2	7,73	9 247,1	0,58	114
Неподвижная опора 1–2(Т) Ø159	1356	0,4	149,9	120,2	14 992,7	258,0	100
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø159	942,3	0	149,9	120,2	14 992,7	12,36	112
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø159	1 056	0	149,9	107,4	14 993,2	1,39	124
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø159	1 169	0	149,9	97,11	14 993,7	2,54	136
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø159	1 283,4	0	149,9	88,6	14 993,1	1,39	148
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø159	1 297	0	149,9	1,50	14 993,1	1,17	150
Неподвижная опора 1–2(ВК) Ø159	1 396,4	0	149,9	81,47	14 993,1	0,24	160

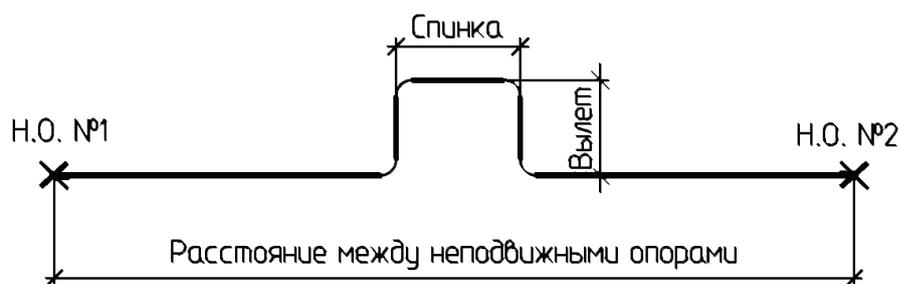


Рисунок – Расчетный участок с П-образным компенсатором: Н.О. № 1 – неподвижная опора № 1; Н.О. № 2 – неподвижная опора № 2.

Таблица 2 – Проверка напряжений для различных длин участков между неподвижными опорами

Элемент	Напряжения от всех воздействий в рабочем состоянии, (кгс/кв.см)		Размах напряжений	
	Расчетное max	Допустимое max	Расчетное max	Допустимое max
Трубопровод 1–2(Т) Ø89 (L= 77)	1 955,5	2 400	1 836,73	5 100
Трубопровод 1–2(ВК) Ø89 (L = 110)	901,11	2 700	825,73	5 400
Трубопровод 1–2(Т) Ø108 (L = 78)	1 121,1	2 400	1 067,14	5 100
Трубопровод 1–2(ВК) Ø108 (L = 110)	467,33	2 700	434,73	5 400
Трубопровод 1–2(Т) Ø159 (L = 100)	1 390,79	2 400	1 321,72	5 400
Трубопровод 1–2(ВК) Ø159 (L = 150)	629,48	2 700	585,45	5 400

Стоит отметить, что при одинаковых силах вдоль оси x перемещения трубопроводов водоснабжения на 50...60 % меньше. Это немаловажный фактор, который может повлиять на выбор расстояния между трубопроводами, которые прокладываются рядом.

Как видно из расчетов, расстояния между неподвижными опорами для трубопроводов водоснабжения и канализации можно принять в среднем на 30...50 % больше, чем для труб теплоснабжения. Увеличение расстояний между неподвижными опорами приводит к уменьшению количества компенсаторов на сети, а это влечет к экономии строительных материалов, количества фасонных частей и протяженности самого трубопровода. Уменьшение количества фасонных частей трубопровода и

Таблица 3 – Расчет перемещений вдоль глобальной оси для оптимальных расстояний между неподвижными опорами

Участок сети	Перемещения вдоль глобальной оси, мм max			Расстояние между неподвижными опорами L, (м)
	x	y	z	
Неподвижная опора 1(Т)89	86,3	77,1	0	77
Опора скользящая на участке 1–2 (ВК)89	37,4	15	0,5	110
Неподвижная опора 1–2(Т)108	86,9	46,3	0	78
Неподвижная опора 1–2(ВК)108	33,2	10,4	0	110
Неподвижная опора 1–2(Т)159	111,4	77,6	0	100
Неподвижная опора 1–2(ВК)159	46,8	20,8	0	150

Таблица 4 – Сравнение расстояний между неподвижными опорами сетей тепло- и водоснабжения при использовании П-образных компенсаторов (серия 4.904-66)

Условный проход труб Ду в мм	Расстояния между неподвижными опорами в м при параметрах теплоносителя: $P_{\text{раб}}$ в кгс/см ² , t в С	
	Трубопроводы теплоснабжения в диапазоне $P_{\text{раб}} = 8$ атм, t = 100 °С, $P_{\text{раб}} = 16$ атм, t = 150 °С	Трубопроводы водоснабжения в диапазоне $P_{\text{раб}} = 8$ атм, t = 5 °С, $P_{\text{раб}} = 16$ атм, t = 20 °С
80	80	110
100	80	110
150	100	150

его протяженности снижает гидравлическое сопротивление сети, что, несомненно, повлияет на подбор насосного агрегата меньшей мощности.

При совместной прокладке на эстакаде трубопроводов различного назначения расстояние между неподвижными опорами принимается по самому невыгодному случаю и обычно назначается меньшим, чем рекомендуется в данной работе. В таких условиях можно предложить использование меньших размеров компенсаторов, благодаря этому на общих эстакадах трубы ВК можно укладывать в первую очередь, чтобы другие трубопроводы описывали их. Так как другие трубопроводы будут описывать трубы ВК, полка компенсатора у них будет больше, следовательно нагрузка на неподвижные опоры будет меньше. В некоторых случаях это может поспособствовать уменьшению вылета компенсатора.

Дальнейшая разработка норм и рекомендаций по проектированию эстакад для систем водоснабжения и канализации поможет более рациональному использованию материалов, повышению энергоэффективности объектов, сокращению сроков проектирования и строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей [Текст] / Под ред. А. А. Николаева. – М. : [б. и.], 1965. – 359 с.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст] / Е. Я. Соколов. – М. : Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
3. Свод правил СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 [Текст]. – Введ. 2013-01-01 / ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИИЦ "Строительство"». – М. : Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 124 с.
4. Фридман, Я. Х. Неподвижные опоры как объекты надежности в системе теплоснабжения [Электронный ресурс] / Я. Х. Фридман // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 01(01). – Режим доступа : http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1485.
5. Методическое обеспечение расчета на прочность и назначенного ресурса трубопроводов [Текст] / В. А. Осипов, Д. А. Белов, Я. В. Логвин [и др.] // Наука вчера, сегодня, завтра : сб. ст. по матер. XXXI междунар. науч.-практ. конф. № 2(24). Часть II. – Новосибирск : СибАК, 2016. – С. 32–42.
6. Ванг, Р. Программа СТАРТ приходит на рынок Китая [Текст] / Р. Ванг // CADMASTER. – 2015. – № 3. – С. 76–77.
7. Qian, X. L. A survey of pipe routing design [Text] / X. L. Qian, T. Ren, C. E. Wang // Control and Decision Conference : Chinese IEEE. Yantai, Shandong, China, 2-4 July 2008. – PP. 3994–3998.
8. Simão, M. Design Criteria for Suspended Pipelines Based on Structural Analysis [Electronic resource] / M. Simão, J. Mora-Rodriguez, H. M. Ramo // Water. – 2016. – № 8(6), 256. – Access mode : <https://doi.org/10.3390/w8060256>.

Получено 10.10.2018

О. С. ПАВЛЮЧЕНКО ^a, Н. І. ГРИГОРЕНКО ^b
РОЗМІЩЕННЯ НЕРУХОМИХ ОПОР ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ
ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА КАНАЛІЗАЦІЇ НА ЕСТАКАДАХ

^a ПАТ «ЮЖНІІГІПРОГАЗ», ^b ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглянуто питання розміщення нерухомих опор при надземному прокладанні трубопроводів водопостачання та каналізації. При відсутності рекомендацій для проектування водоводів на естакадах виконано порівняльний розрахунок з надземними теплотрасами. Отримані дані свідчать про необхідність проведення подальших досліджень для рекомендації норм і правил проектування надземних трубопроводів систем ВК.

Ключові слова: надземне прокладання трубопроводів, естакади, нерухомі опори, проектування систем ВК в особливих умовах.

ALEKSANDR PAVLUCHENKO ^a, NADEZHDA GRIGORENKO ^b
ARRANGEMENT OF FIXED SUPPORTS DURING ABOVEGROUND
INSTALLATION OF THE WATER SUPPLY AND SEWAGE PIPELINES

^a PJSC «YUZHNIIGIPROGAZ», ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article deals with the issue of positioning of fixed supports in the above-ground laying of water supply and Sewerage pipelines. In view of the lack of recommendations for the design of water pipelines on the overpasses, a comparative calculation with above-ground heating mains was carried out. The data, which was obtained, show the need for further research to recommend the rules and regulations for the design of overhead pipelines of VC systems.

Key words: aboveground installation of pipelines, racks, fixed supports, designing of water supply and sewage systems in special conditions.

Павлюченко Александр Сергеевич – инженер-проектировщик II категории ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ». Научные интересы: проектирование систем водоснабжения и водоотведения, прокладка инженерных сетей на эстакаде, очистка сточных вод.

Григоренко Надежда Ивановна – доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование систем водоснабжения и водоотведения, очистка сточных вод.

Павлюченко Олександр Сергійович – інженер-проектувальник II категорії ПАТ «ЮЖНІІГІПРОГАЗ». Наукові інтереси: проектування систем водопостачання і водовідведення, прокладка інженерних мереж на естакаді, очищення стічних вод

Григоренко Надія Іванівна – доцент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування систем водопостачання і водовідведення, очищення стічних вод

Pavluchenko Aleksandr – Design Engineer Grade II at PJSC «YUZHNIIGIPROGAZ». Scientific interests: design of water supply and water disposal systems, routing of utility networks on racks, wastewater treatment.

Grigorenko Nadezhda – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of water supply and water disposal systems, wastewater treatment.