

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА

Макарова Дарья Сергеевна

*студент, кафедра водопользования и экологии,
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет,*

РФ, г. Санкт-Петербург

Федоров Святослав Викторович

*канд. тех. наук, доц., Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,*

РФ, г. Санкт-Петербург

COMPARISON OF GRAVITY AND VACUUM INTERNAL ROOF DRAINAGE SYSTEMS

Daria Makarova

*student, Department of Water Use and Environment,
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, Saint Petersburg*

Svyatoslav Fedorov

*Candidate of Technical Sciences,
associate professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering,
Russia, Saint Petersburg*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена методика оценки долговечности самотечных трубопроводов шахтных вод с учётом абразивного и химического воздействия. Представлен состав сточных вод двух рудников горнодобывающего комплекса. Выполнен расчёт фактического срока службы труб из полиэтилена ПЭ100 по ГОСТ Р 70628.3-2023. Для двух вариантов трассировки сети, протяжённой по склону и каскадной с перепадными колодцами, определены коэффициенты абразивного износа и химической стойкости.

ABSTRACT

The article presents a methodology for assessing the durability of gravity mine water pipelines considering abrasive and chemical impacts. The composition of wastewater from two mines of a mining complex is analyzed. The actual service life of PE100 polyethylene pipes according to GOST R 70628.3-2023 is calculated. For two routing options, slope-following and cascade with drop manholes, abrasive wear coefficients and chemical resistance coefficients are determined.

Ключевые слова: шахтные воды, износ трубопровода, абразивный износ, химическая стойкость, срок службы, полиэтиленовая труба, скорость потока.

Keywords: mine water, pipeline wear, abrasive wear, chemical resistance, service life, polyethylene pipe, flow velocity.

Проектируемая площадка находится в М. области. Рельеф горный, территория относится к горнодобывающему комплексу. Зимы здесь долгие, снежный покров ложится неустойчиво, грунты промерзают глубоко. В пределах промплощадки работают два источника шахтных вод — рудник К. и рудник Р. Они стоят на разных высотах. Рудник К. располагается выше очистных сооружений, а рудник Р. — ближе к нижним отметкам, в самой низкой части промзоны. Очищенную воду сбрасывают в ручей обычными подземными магистральями. И находиться они за границами санитарно-защитной зоны.

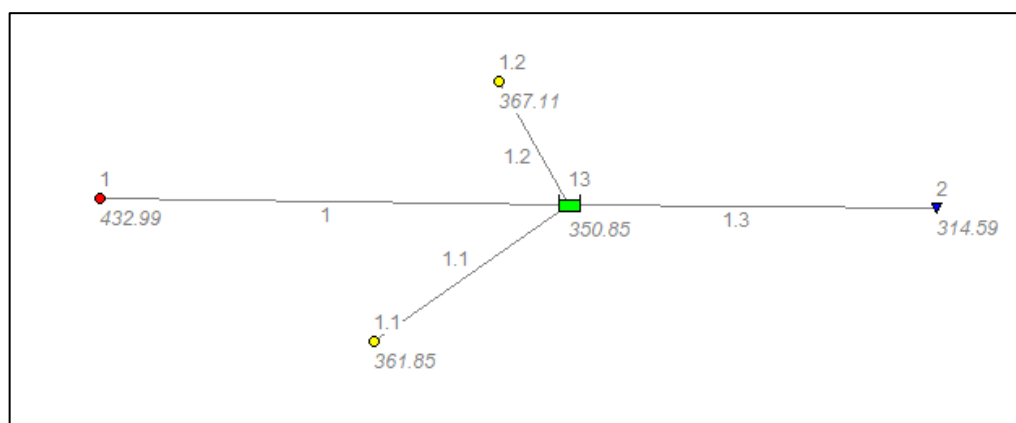


Рисунок 1.1 – Схема водоотведения проектируемого объекта.

По проекту грязные воды идут на очистку, а чистые уже на сброс. Схема раздельная: есть подающие трубопроводы и отводящие. От рудников до очистных тянут три нитки. От рудника К. — одна, от рудника Р. — две. Все три встречаются в переключающем узле прямо перед входом на очистные. После очистки тоже уложено три линии. Они одинаковые по конструкции, идут параллельно до самого выпуска в ручей. Я рассматриваю только одну из этих

трёх отводящих веток. Три нитки сделали не просто так — если на одной ремонт или авария, две другие продолжают работать.

Для оценки долговечности проектируемых трубопроводов необходимо определить интенсивность износа внутренней поверхности труб под воздействием транспортируемой среды. Выполнен расчёт срока службы трубопроводов по первому и второму вариантам трассировки сети с учётом абразивного и коррозионного воздействия.

Приведу в пример рисунок 1.2 засорившегося трубопровода



Рисунок 1.2 – Пример зарастаний и отложений в трубах.

Для рудника К. состав сточных вод составляет:

Таблица 1.1 – Состав сточных вод от рудника К.

№п/п	Наименование показателя	Максимальные значения, мг/л
1	Взвешенные вещества	3200
2	Общая минерализация	938
3	ХПК	32
4	БПК	11,8
5	Фтор	21,25
6	Сульфаты	230
7	Хлориды	80,04
8	Фосфаты	7
9	Нитраты	161,46
10	Нитраты по азоту	36,45
11	Нитриты	35,2
12	Нитриты по азоту	10,73
13	Аммиак	14,89
14	Аммиак по азоту	11,54
15	Азот	45,38
16	Нефтепродукты	4,5

17	СПАВ	3,25
18	Молибден	0,34
19	Алюминий	3,6
20	рН	11,73

Для рудника Р. состав сточных вод составляет:

Таблица 1.2 – Состав сточных вод от рудника Р.

№п/п	Наименование показателя	Максимальные значение, мг/л
1	Взвешенные вещества	9638
2	Общая минерализация	10900
3	ХПК	49,8
4	БПК	14,7
5	Фтор	661,35
6	Сульфаты	2650
7	Хлориды	182
8	Фосфаты	117,73
9	Нитраты	713,5
10	Нитраты по азоту	161,06
11	Нитриты	21,25
12	Нитриты по азоту	6,48
13	Аммиак	14,39
14	Аммиак по азоту	11,16
15	Азот	162,61
16	Нефтепродукты	66,4
17	СПАВ	0,87
18	Молибден	0,78
19	Алюминий	3,91
20	рН	10,48

Нормативный срок службы трубы ПЭ по ГОСТ Р 70628.3-2023 составляет 100 лет. Рассчитываю прогнозируемый срок службы:

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{норм}} \times K_{\text{абр}} \times K_{\text{хим}} \times K_{\text{гидр}}, \text{ где [2]} \quad [1]$$

$T_{\text{факт}}$ - прогнозируемый срок службы, лет;

$T_{\text{норм}}$ - номинальный срок службы трубопровода при скорости 0,7-1,2 м/с.

$T_{\text{норм}} = 100$ лет;

$K_{\text{абр}}$ – коэффициент абразивного износа, зависит от скорости и концентрации песка/взвеси; [2]

$K_{\text{хим}}$ – коэффициент химической стойкости, зависит от рН и состава; [3], [3.1]

$K_{\text{гидр}}$ – коэффициент гидравлический, при самотечных трубопроводах $K_{\text{гидр}} = 1$.

Пример расчета трассировки сети.

Для расчета коэффициента абразивного износа используется следующая формула:

$$K_{\text{абр}} = \left(\frac{V_{\text{норм}}}{V_{\text{факт}}} \right)^m, \text{ где [2]} \quad [2]$$

$V_{\text{норм}}$ – безопасная скорость для воды 0,7 – 1,2 м/с. Примем 1 м/с;

$V_{\text{факт}}$ – расчетная скорость. Для 1 участка составляет 6,58 м/с;

m – эмпирический коэффициент, для ПЭ100 принимаем 2,5.

$$K_{\text{абр(уч.1)}} = \left(\frac{1,0}{6,58} \right)^{2,5} = 0,009$$

Коэффициент $K_{\text{хим}}$:

- Для чистой воды или нейтральных стоков $K_{\text{хим}} = 1$. Буду использовать для отводящих стоков

- Для агрессивного состава Рудника К.:

$$K_{\text{хим К.}} = 1 - (\delta_{\text{СПАВ}} + \delta_{\text{Нефт}} + \delta_{\text{рН}}), \text{ где [2]} \quad [3]$$

$\delta_{\text{СПАВ}}$ – потеря ресурса от СПАВ. При СПАВ = 3,25 мг/л → 7% потерь;

$\delta_{\text{Нефт}}$ – потеря ресурса от нефтепродуктов. При нефтепродуктах 4,5 мг/л → 5% потерь;

$\delta_{\text{рН}}$ – потеря ресурса от щелочной среды. При рН 11,73 → 3% потерь из-за усиления активности других агентов.

$$K_{\text{хим К.}} = 1 - (0,07 + 0,05 + 0,03) = 0,85.$$

- Для агрессивного состава Рудника Р.:

$$K_{\text{хим Р.}} = 1 - (\delta_{\text{СПАВ}} + \delta_{\text{Нефт}} + \delta_{\text{осмол}} + \delta_{\text{рН}}), \text{ где [2]} \quad [3.1]$$

$\delta_{\text{СПАВ}}$ – потеря ресурса от СПАВ. При СПАВ = 0,87 мг/л → 0,02% потерь;

$\delta_{\text{Нефт}}$ – потеря ресурса от нефтепродуктов. При нефтепродуктах 66,4 мг/л → 0,18% потерь;

$\delta_{\text{осмол}}$ – потеря ресурса от нефтепродуктов. При общей минерализации + фтор 10900+661 мг/л=11561 → 0,05% потерь;

$\delta_{\text{рН}}$ – потеря ресурса от щелочной среды. При рН 10,48 → 0,02% потерь из-за усиления активности других агентов.

$$K_{\text{хим Р.}} = 1 - (0,02 + 0,18 + 0,05 + 0,02) = 0,73.$$

Таким образом:

$$T_{\text{факт(уч.1)}} = 100 \times 0,009 \times 0,85 \times 1 = 0,38 \text{ года.} \quad [1]$$

Результаты расчета 1 и 2 варианта трассировки сети по каждой ветки приведены в табл. 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3 – Результат расчета времени износа трубопроводов 1 варианта трассировки сети.

Номер участка 1 ветки	$T_{\text{факт 1 ветки, год}}$	Номер участка 2 ветки	$T_{\text{факт 2 ветки, год}}$	Номер участка 3 ветки	$T_{\text{факт 3 ветки, год}}$	Номер участка отводящей	$T_{\text{факт отводящей}}$
-----------------------	--------------------------------	-----------------------	--------------------------------	-----------------------	--------------------------------	-------------------------	-----------------------------

1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,77	1,1	69,47	1,2	1,46	1,3	0,04
2	0,06	2,1	49,30	2,2	0,18	2,3	0,40
3	0,32	3,1	76,78	3,2	0,58	3,3	3,65
4	0,54	4,1	60,22	4,2	0,34	4,3	3,33

Продолжение таблицы 1.3 – Результат расчета времени износа трубопроводов 1 варианта трассировки сети.

5	0,19	5,1	49,30	5,2	21,19	5,3	43,12
6	1,00	6,1	11,84			6,3	73,67
7	0,19	7,1	53,78			7,3	15,28
8	43,28	8,8	1,94			8,3	14,42
9	62,62	9,1	1,86			9,3	16,22
10	34,76	10,1	50,37			10,3	14,42
11	1,63	11,1	64,62			11,3	15,65
12	0,76	12,1	48,26			12,3	13,47
13	0,30	13,1	60,22			13,3	15,46
14	0,79	14,1	51,47			14,3	63,39
15	0,71	15,1	61,64			15,3	53,95
16	0,71	16,1	0,37			16,3	56,11
17	0,58	17,1	4,49			17,3	2,34
18	55,02	18,1	4,42			18,3	77,04
19	44,11					19,3	9,92
20	45,86					20,3	2,61
21	65,48					21,3	18,13
22	1,55					22,3	56,11
23	0,26					23,3	7,10
24	1,03					24,3	58,40
25	0,38					25,3	64,73
26	0,24					26,3	77,04
27	48,66					27,3	40,19
28	100,00					28,3	0,25
29	40,14					29,3	2,75
30	40,89					30,3	59,60
31	51,70					31,3	0,14
32	65,48					32,3	0,28
33	6,42					33,3	58,40
34	44,11						
35	0,96						
36	0,97						
37	44,11						

38	50,66						
39	48,66						
40	0,18						
41	2,24						
42	2,34						

Окончание таблицы 1.3 – Результат расчета времени износа трубопроводов 1 варианта трассировки сети.

Таблица 1.4 – Результат расчета времени износа трубопроводов 2 варианта трассировки сети.

Номер участка 1 ветки	Тфакт 1 ветки, год	Номер участка 2 ветки	Тфакт 2 ветки, год	Номер участка 3 ветки	Тфакт 3 ветки, год	Номер участка отводящей	Тфакт отводящей ветки, год
1	2	3	4	5	6	7	8
1	100,00	1,1	69,47	1,2	100,00	1,3	100,00
2	59,93	2,1	49,30	2,2	82,99	2,3	86,44
3,01	73,48	3,1	76,78	3,2	63,10	3,3	100,00
3,02	73,48	4,1	60,22	4,2,1	92,41	4,3	100,00
3,03	66,98	5,1	49,30	4,2,2	58,85	5,3	88,52
3,04	73,48	6,1	78,78	4,2,3	92,41	6,3	88,52
4	53,88	7,1	53,78	4,2,4	58,85	7,3	88,52
5,01	58,65	8,8	66,18	5,2	73,00	8,3	84,44
5,02	58,65	9,1	73,00			9,3	92,88
6,01	71,77	10,1	50,37			10,3	100,00
6,02	100,00	11,1	64,62			11,3	100,00
6,03	71,77	12,1	48,26			12,3	100,00
6,04	89,40	13,1	60,22			13,3	100,00
7,01	96,63	14,1	51,47			14,3	90,66
7,02	96,63	15,1	61,64			15,3	100,00
7,03	100,00	16,1	69,47			16,3	80,62
7,04	77,06	17,1	61,64			17,3	90,66
8	100,00	18,1	71,21			18,3	90,66
9	100,00					19,3	90,66
10	100,00					20,3	100,00
11	78,95					21,3	100,00
12	73,48					22,3	95,17
13	80,89					23,3	88,52
14,01	75,24					24,3	84,44
14,02	75,24					25,3	90,66

14,03	75,24					26,3	100,00
14,04	75,24					27,3	100,00
15	78,95					28,3,1	100,00
16	82,91					28,3,2	92,88
17	85,00					28,3,3	100,00
18	85,00					29,3	100,00
19	73,48					30,3	100,00
20	73,48					31,3,1	100,00
21	80,89					31,3,2	100,00
22	78,95					31,3,3	100,00
23,01	94,13					31,3,4	100,00

Продолжение таблицы 1.4 – Результат расчета времени износа трубопроводов 2 варианта трассировки сети.

23,02	94,13					32,3,1	100,00
23,03	75,24					32,3,2	100,00
24	89,40					32,3,3	100,00
25	91,73					32,3,4	100,00
26	77,06					33,3	84,44
27	73,48						
28	96,63						
29	99,22						
30	100,00						
31	85,00						
32	85,00						
33	87,16						
34	87,16						
35	96,63						
36	75,24						
37	100,00						
38	100,00						
39	68,53						
40	89,40						
41	64,03						
42	65,48						

Окончание таблицы 1.4 – Результат расчета времени износа трубопроводов 2 варианта трассировки сети.

Итоги результатов расчета занесены в табл. 1.5 и 1.6

Таблица 1.5 – МИН / МАКС время износа трубопровода 1 варианта трассировки сети.

№ магистрали	МИН время износа трубопровода, год	МАКС время износа трубопровода, год
1 подводящая	0,06	100,00
2 подводящая	0,37	76,78
3 подводящая	0,18	21,19
отводящая	0,04	77,04

Таблица 1.6 – МИН / МАКС время износа трубопровода 2 варианта трассировки сети.

№ магистрали	МИН время износа трубопровода, год	МАКС время износа трубопровода, год
1 подводящая	53,88	100,00
2 подводящая	48,26	78,78
3 подводящая	58,85	100,00
отводящая	80,62	100,00

По результатам расчёта времени износа трубопроводов установлено, что первый вариант трассировки характеризуется крайне низкой долговечностью. Минимальное время износа на отводящей магистрали составляет всего 0,04 года, на подводящих магистралях 1 и 3 – 0,06 и 0,18 года соответственно, что делает первый вариант эксплуатационно непригодным.

Второй вариант трассировки обеспечивает значительно более высокую долговечность трубопроводов. Минимальное время износа по всем магистралям составляет от 48,26 до 80,62 лет, а максимальное достигает 100 лет. Это соответствует нормативным срокам службы трубопроводных систем.

Таким образом, второй вариант трассировки является единственно приемлемым с точки зрения долговечности и надёжности сети.

Список литературы

- 1 СП32.13330.2018 «Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85» (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 25.12.2018 N 860/пр) (ред. от 01.03.2025)
- 2 Menon, E. S. Piping Calculations Manual / E. S. Menon. – New York : McGraw-Hill, 2005. – 666 p.

- 3 ГОСТ Р 70628.3–2023 (ИСО 4427-3:2019). Трубопроводы из пластмасс для водоснабжения, дренажа и напорной канализации. Полиэтилен (ПЭ). Часть 3. Фитинги: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: введен в действие 1 сентября 2024 г. – Москва: Российский институт стандартизации, 2023. – IV, 20
- 4 СП 399.1325800.2018 «Свод правил. Системы водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Правила проектирования и монтажа»
- 5 РД 39-00147105-003-97. Защита подземных трубопроводов от коррозии: Инструкция / Акционерная компания "Транснефть". – Уфа: ИПТЭР, 1997. – 60 с.