

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА В ПРОГРАММЕ SWMM**

**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 рассматриваются вопросы проектирования самотечной системы водоотведения шахтных вод на территории со сложным горным рельефом. Представлено описание объекта проектирования, включающего два рудника - К. и Р., очистные сооружения и выпуск очищенных вод в поверхностный водоток. Приведены исходные данные: высотная схема, расходы сточных вод, материал и диаметры трубопроводов, глубина промерзания грунтов. Выполнена сравнительная оценка двух вариантов трассировки сети.

## ABSTRACT

The article discusses the design issues of a gravity sewerage system for mine water in an area with complex mountainous terrain. A description of the design object is presented, including two mines — K. and R., treatment facilities, and the discharge of treated water into a surface watercourse. The initial data are provided: elevation scheme, wastewater flow rates, pipe material and diameters, and soil freezing depth. A comparative assessment of two network routing options is performed.

**Ключевые слова:** водоотведение, шахтные воды, горный рельеф, самотечные трубопроводы, гидравлическое моделирование.

**Keywords:** sewerage, mine water, mountainous terrain, gravity pipelines, hydraulic modeling.

Объект проектирования расположен в пределах М. области, в зоне горного рельефа в горнодобывающем комплексе. Климатические условия характеризуются продолжительной зимой, неустойчивым снежным покровом и глубоким сезонным промерзанием грунтов. В границах производственной площадки находятся два основных источника формирования шахтных вод: рудник К. и рудник Р., расположенные на разных гипсометрических уровнях. Рудник К. занимает более высокое положение относительно уровня очистных сооружений, рудник Р. тяготеет к нижним отметкам промышленной зоны. Выпуск очищенных вод организован в ручей — поверхностный водоток за границей санитарно-защитной зоны.

Проектом предусмотрена подача неочищенных вод на очистку и отведение очищенных вод в водный объект. Схема водоотведения включает падающие магистрали и отводящие магистрали. Подающие магистрали от рудников к очистным сооружениям представлены тремя нитками: одна магистраль принимает сток от рудника К., две — от рудника Р. Все три потока сходятся в узле переключения перед входом на очистные сооружения. Отводящие магистрали после очистных сооружений также уложены в количестве трех ниток, конструктивно идентичных, следующих параллельно до места выпуска в ручей. В данной работе рассматриваю только одну из трех отводящих магистралей. Наличие трех ниток обеспечивает надежность сброса при ремонтных или аварийных ситуациях.

Для проверки корректности работы программы SWMM и убеждения в том, что его можно использовать для дальнейшего проектирования, был создан пробный участок сети. Сначала был выполнен расчет в среде SWMM на основе введенных параметров, а затем полученные результаты сравнили с гидравлической таблицей 2.2, посчитанной по формуле Шези из таблицы Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы широко применяются для расчета самотечных трубопроводов систем водоотведения. [2]

Ниже в табл. 1.1 представлены параметры, заданные в качестве входных данных для проверки программы.

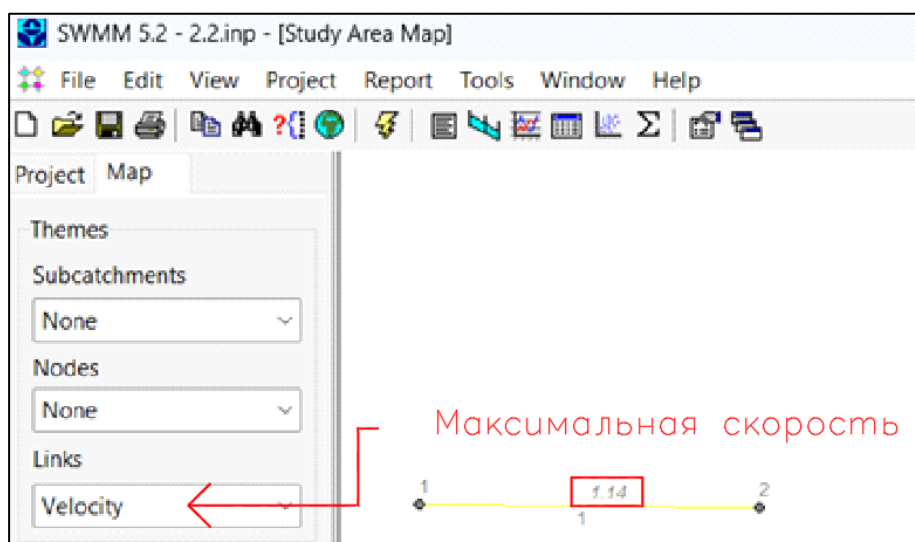
**Таблица 1.1 – Исходные данные для пробного участка сети.**

№ Участка	Отм. лотка		Отм. Земли		Длина, м	Диаметр, мм	Расход, л/с
	В начале	В конце	В начале	В конце			
1	2	3	4	5	7	8	9
1	10	9,99	12,1	12,09	1	500	0,342

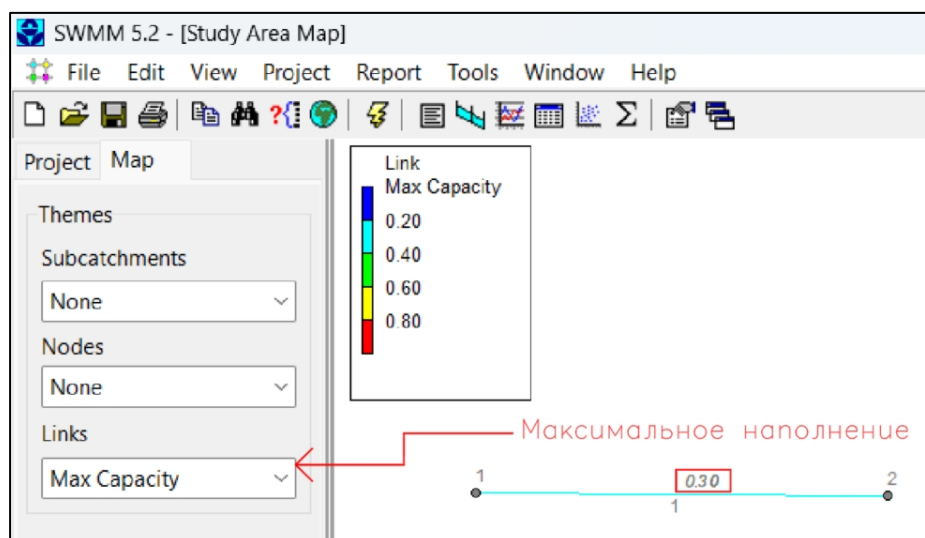
В результате гидравлического моделирования программа определила следующие значения, которые отображены на рис. 1.1, 1.2 и 1.3.

Есть два варианта отображения результатов расчета сети в данной программе.

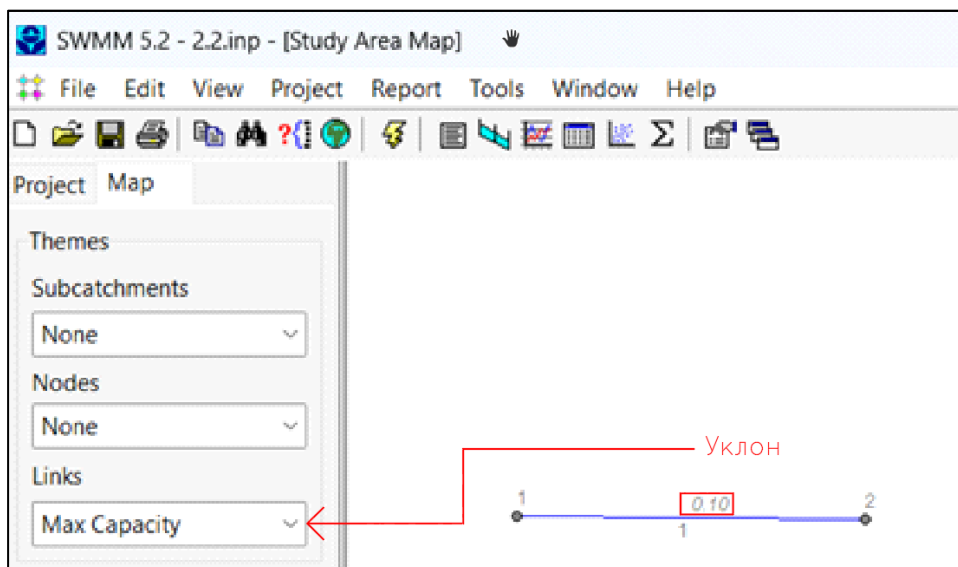
На пробном участке сети покажу отображение на самой панели трассировки, далее все расчеты будут располагаться в табличном формате.



**Рисунок 1.1 – Показатели скорости.**



**Рисунок 1.2 – Показатели уклона.**



**Рисунок 1.3 – Показатели наполнения.**

Посчитаем по формуле Шези для труб материала ГОСТ Р 70628.3- 2023. [3]

**Таблица 1.2 – Результаты расчета по формуле Шези. [2]**

h/d	d	S/d <sup>2</sup>	S	R/d	R	n	i	C	Q, м <sup>3</sup> /с	v, м/с	Q <sub>0</sub> (л/с)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	0,5	0,0004	0,0001	0,149	0,0745	0,01	0,001	64,81	5,594	0,559	0,055
0,2	0,5	0,0008	0,0002	0,294	0,1470	0,01	0,001	72,60	0,0001	0,880	0,176
0,3	0,5	0,0012	0,0003	0,433	0,2165	0,01	0,001	77,45	0,0003	1,140	0,341
0,4	0,5	0,0016	0,0004	0,564	0,2820	0,01	0,001	80,94	0,0005	1,359	0,543
0,5	0,5	0,002	0,0005	0,683	0,3415	0,01	0,001	83,57	0,0007	1,544	0,772
0,6	0,5	0,0024	0,0006	0,787	0,3935	0,01	0,001	85,57	0,0010	1,698	1,018
0,7	0,5	0,0028	0,0007	0,873	0,4365	0,01	0,001	87,07	0,0012	1,819	1,273
0,8	0,5	0,0032	0,0008	0,937	0,4685	0,01	0,001	88,10	0,0015	1,907	1,525
0,9	0,5	0,0036	0,0009	0,979	0,4895	0,01	0,001	88,75	0,0017	1,964	1,767
1	0,5	0,004	0,001	1,000	0,5000	0,01	0,001	89,06	0,0019	1,992	1,991

1. h/d – Относительное заполнение;
2. d – Диаметр, м;
3. S/d<sup>2</sup> – Безразмерная площадь сечения;
4. S – Площадь сечения, м<sup>2</sup>;
5. R/d – Безразмерный гидравлический радиус;
6. R – Гидравлический радиус, м;
7. n – Коэффициент шероховатости;
8. i – Уклон;
9. C – Коэффициент Шези;  $C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$
10. Q – Расход, м<sup>3</sup>/с;  $Q = C \cdot S \cdot \sqrt{R \cdot i}$

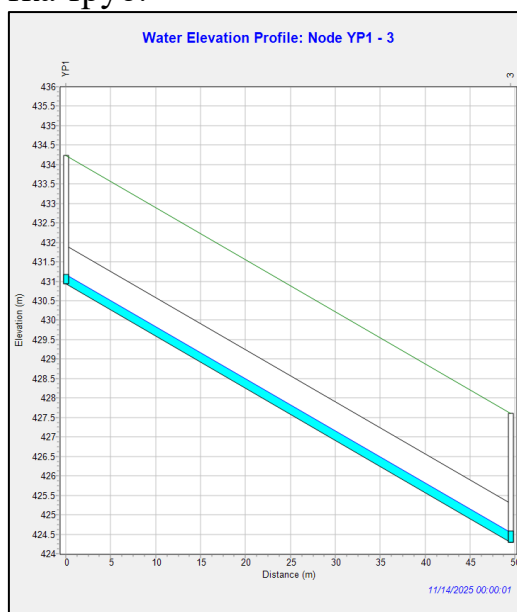
11.  $v$  – скорость, м/с;  $v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$

12.  $Q_0$  – Расход, л/с;  $Q = Q_0 \cdot 1000$

Таким образом, результаты моделирования пробного участка в программе SWMM полностью совпадают с данными, рассчитанными по формуле Шези из таблицы Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Это позволяет сделать вывод о том, что настройки модели заданы верно, а программа SWMM является надежным инструментом для выполнения гидравлических расчетов систем водоотведения на стадии проектирования.

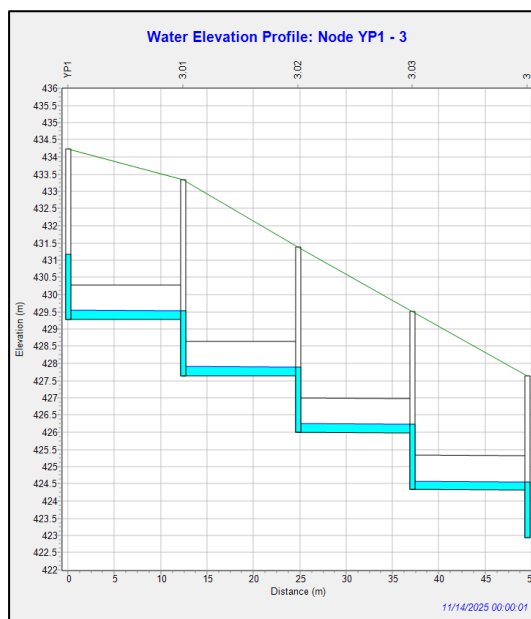
Запроектированы и рассмотрены два варианта трассировки сети в условиях горной местности с резким перепадом рельефа в программе SWMM.

**Первый вариант** предусматривает прокладку трубопроводов параллельно поверхности земли с максимальным приближением к естественным крутым уклонам. Особенностью являются критически высокие скорости движения сточных вод на значительных участках из-за больших перепадов отметок при относительно короткой длине коллектора. Трассировка выполняется без устройства дополнительных гасящих сооружений на каждом перепаде, что упрощает земляные работы, но создает риск гидравлических ударов и повышенного износа лотка труб.



**Рис. 1.4 – Пример 1 варианта трассировки сети.**

**Второй вариант** представляет собой каскадный метод трассировки: искусственное дробление одного участка на несколько участков с устройством перепадных колодцев в местах резкого изменения рельефа. Скорости контролируются наклоном трубопроводов на каждом отдельном каскаде, что позволяет поддерживать скорость в диапазоне незаиливающих 0,7–1,2 м/с.



**Рис. 1.5 – Пример 2 варианта трассировки сети.**

После внесения всех значений в программу SWMM собрала все полученные расчетные данные, далее их оформила в гидравлические таблицы. На основании полученных данных составлены таблицы итогов результата расчета по 1 и 2 варианту трассировки сети.

**Таблица 1.3 – МИН / МАКС скорость, заполнение, уклон трубопровода 1 варианта трассировки сети**

№ магистрали	МИН скорость V, м/с	МАКС скорость V, м/с	МИН заполнение h/D	МАКС заполнение h/D	МИН уклон i	МАКС уклон i
1 подводящая	0,39	18,07	0,16	0,76	0,0001	0,6667
2 подводящая	1,64	11,04	0,35	0,72	0,0010	0,1024
3 подводящая	0,98	8,30	0,16	0,80	0,0008	0,2427
отводящая	1,11	22,91	0,13	1,00	0,0008	0,8672

**Таблица 1.4 – МИН / МАКС скорость, заполнение, уклон трубопровода 2 варианта трассировки сети**

№ магистрали	МИН скорость V, м/с	МАКС скорость V, м/с	МИН заполнение h/D	МАКС заполнение h/D	МИН уклон i	МАКС уклон i
1 подводящая	0,81	1,30	0,46	0,68	0,0001	0,0726
2 подводящая	0,97	1,18	0,67	0,81	0,0001	0,0011
3 подводящая	0,81	1,09	0,40	0,50	0,0001	0,0012
отводящая	0,81	1,09	0,40	0,50	0,0001	0,0012

По результатам гидравлического расчета двух вариантов трассировки сети установлено, что первый вариант характеризуется неприемлемыми режимами работы: минимальные скорости опускаются до 0,39 м/с, что приводит к заиливанию труб, а максимальные скорости достигают 22,91 м/с, что вызывает

интенсивный износ трубопровода. Второй вариант обеспечивает стабильные скорости в диапазоне 0,81–1,30 м/с, а уклоны находятся в умеренных пределах. Таким образом, для дальнейшего проектирования рекомендуется второй вариант трассировки как обеспечивающий надежный и долговечный режим работы 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 Лукиных, А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. – 4-е изд., доп. – Москва: Стройиздат, 1974. – 156 с.
- 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 Яковлев С. В. Канализация: учебник для вузов / Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.