**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ТОННЕЛЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА ПРИ ПОЖАРЕ

Москва 2019

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 3
4 Общие положения 4
5 Рекомендации по расчету устойчивости воздушного потока в тоннелях метрополитена при пожаре 4
6 Требования пожарной безопасности к оборудованию систем противодымной защиты однопутных тоннелей (перегонов) 20
Приложение А 23
Приложение Б 25
Приложение В 27
Библиография 59

Введение

Настоящие методические рекомендации, разработанные в развитие положений подраздела 5.16.5 СП 120.133330.2012, предусматривают организацию и проведение разъяснительной работы по вопросам технического нормирования в сфере строительства в части расчета устойчивости воздушного потока в тоннелях метрополитена при пожаре.

Настоящими методическими рекомендациями регламентированы выбор исходных данных и порядок проведения расчетов устойчивости воздушного потока в тоннелях метрополитена при пожаре.

Настоящие методические рекомендации предназначены для использования в практической деятельности специалистами и руководителями проектно-изыскательских и строительных организаций, учреждениями и службами заказчика (инвестора), а также другими заинтересованными организациями.

Ряд положений, изложенных в настоящих методических рекомендациях, отсутствующих в нормативных и методических документах, но позволяющих, по мнению авторов, на более высоком уровне обеспечить безопасность людей при пожаре, а также оптимизировать число, состав и технические характеристики систем, принят по отечественным и зарубежным нормативным документам.

Методические рекомендации разработаны авторским коллективом ООО «НИЦ КБС» (руководитель организации-разработчика – *А.В. Цапулина*, руководитель разработки – *Г.Н. Кохало* (введение, раздел 6), *В.В. Цапулин* (разделы 1–5), канд. техн. наук *Д.Г. Пронин* (разделы 5, 6; приложения А–В), *С.А. Рыжков* (разделы 5, 6; приложения А–В)).

1 Область применения

Настоящие методические рекомендации разработаны в развитие положений подраздела 5.16.5 СП 120.13330.2012, в соответствии с требованиями которого параметры работы систем противодымной защиты (СПЗ) в аварийном режиме определяются на основании проведения инженерного анализа, включающего анализ динамики развития пожара в соответствии с принятыми сценариями, и характеристик воздушных потоков, рассчитанных с использованием допущенных к применению в порядке, установленном действующим законодательством Российской Федерации, программных средств.

Таким образом, применение настоящих методических рекомендаций дает механизм реализации требований по безопасности, заложенных в СП 120.13330.2012, для более грамотного и рационального проектирования, повышает качество выполняемых проектных работ за счет использования единых практических подходов к выполнению работ на основе унифицированных решений, типовых единых практических подходов к выполнению работ, а также может быть основой для проведения независимых экспертных оценок выполненных работ, что обеспечит снижение рисков возникновения аварийных ситуаций и повышение безопасной эксплуатации строительных объектов.

2 Нормативные ссылки

В настоящих методических рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 16523–97 Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия

ГОСТ 19904–90 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент

ГОСТ Р 53299–2013 Воздуховоды. Метод испытаний на огнестойкость

ГОСТ Р 53301–2013 Клапаны противопожарные вентиляционных систем. Метод испытаний на огнестойкость

ГОСТ Р 53302–2009 Оборудование противодымной защиты зданий и сооружений. Вентиляторы. Метод испытаний на огнестойкость

СП 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности

СП 120.13330.2012 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены» (с изменениями № 1, № 2, № 3, № 4)

Примечание – При пользовании настоящими методическими рекомендациями целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящих методических рекомендаций в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии свода правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящих методических рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **система противодымной защиты (СПЗ):** Комплекс организационных и технических мероприятий, объемно-планировочных решений и инженерных систем, включая системы приточно-вытяжной противодымной вентиляции, направленный на ограничение воздействия опасных факторов пожара на людей.

3.2 **системы противодымной тоннельной вентиляции приточно-вытяжные:** Автоматически и дистанционно управляемые вентиляционные системы, предназначенные для удаления продуктов горения непосредственно из тоннеля метрополитена при возникновении в нем пожара и компенсирующей подачи воздуха в этот тоннель с ограничением распространения в нем продуктов горения.

Примечание – В зависимости от управляемого принудительного перемещения газовоздушных потоков в защищаемом тоннеле системы противодымной тоннельной вентиляции приточно-вытяжные проектируются в соответствии с одной из нижеприведенных схем:

- **продольная схема**, при которой механически побуждаемая тяга вентиляторов вытяжных и приточных систем односторонне направлена по нормали к плоскостям проходных сечений транспортного отсека тоннеля (параллельно продольной оси этого отсека);

- **поперечная схема**, при которой посредством механически побуждаемой тяги вентиляторов вытяжных и приточных систем осуществляется принудительное перемещение потоков, образующихся при пожаре продуктов горения, и воздушных потоков в плоскостях проходных сечений транспортного отсека тоннеля (перпендикулярно продольной оси этого отсека);

- **продольно-поперечная схема**, при которой посредством механически побуждаемой тяги вентиляторов вытяжных и приточных систем осуществляется принудительное перемещение потоков, образующихся при пожаре продуктов горения в плоскостях проходных сечений транспортного отсека тоннеля (перпендикулярно продольной оси этого отсека), а воздушных потоков – по нормали к тем же плоскостям (параллельно продольной оси того же отсека).

3.3 **установка тоннельной вентиляции (УТВ):** Установка, предназначенная для вентиляции пассажирских помещений подземных станций, перегонных, тупиковых и соединительных тоннелей.

4 Общие положения

4.1 В соответствии с требованиями пункта 5.16.5.10 раздела 5.16.5 СП 120.13330.2012 параметры работы СПЗ в аварийном режиме определяются на основании проведения инженерного анализа, включающего анализ динамики развития пожара в соответствии с принятыми сценариями, и характеристик воздушных потоков, рассчитанных с использованием допущенных к применению в порядке, установленном действующим законодательством Российской Федерации, программных средств.

4.2 Для решения поставленной в 4.1 задачи, в т. ч. в целях оптимизации параметров СПЗ, используют CFD (Computational Fluid Dynamics) моделирование.

4.3 Для определения удовлетворительности используемой модели необходимо осуществить валидацию примененного метода, для чего, учитывая требования раздела 5, следует ввести исходные данные в соответствии с приложением В и сопоставить полученные результаты. Полученные в ходе тестирования модели результаты не должны иметь отклонение от указанных в номограммах приложения В более чем на ±30 %. В случае нахождения полученных результатов в диапазоне указанных значений применяемая для определения требуемых параметров противодымной вентиляции CFD модель может быть признана удовлетворительной.

5 Рекомендации по расчету устойчивости воздушного потока в тоннелях метрополитена при пожаре

5.1 Расчет устойчивости воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре проводят в соответствии с требованиями СП 120.13330.

5.2 Для выполнения вычислений, указанных в 5.1, следует использовать методологию, основы которой изложены в приложении А.

5.3 Требуемую скорость воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре принимают в соответствии с СП 120.13330 или определяют на основании результатов расчета по методу, приведенному в приложении Б.

Расчет устойчивости воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре должен иметь следующую структуру:

- исходные данные;

- анализ пожарной опасности тоннеля метрополитена;

- моделирование пожара;

- анализ результатов моделирования пожара;

- результаты и выводы.

5.4 При необходимости в состав расчета устойчивости воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре может быть включен расчет, проводимый в соответствии с приложением Б.

5.5 Исходные данные должны содержать:

- геометрические параметры тоннеля метрополитена;

- сведения о теплофизических свойствах материалов конструкций;

- характеристики вентиляционного оборудования.

5.6 Анализ пожарной опасности тоннеля метрополитена проводят в соответствии с требованиями СП 120.13330. Допускается использовать справочные источники информации и результаты научной деятельности.

5.7 Моделирование пожара включает следующие этапы:

- построение модели тоннеля;

- задание теплофизических свойств материалов конструкций;

- выбор места нахождения очага пожара и закономерностей его развития;

- задание реакции горения и мощности тепловыделения при пожаре;

- задание температурных параметров внутри тоннеля метрополитена;

- задание вентиляционных параметров или построение модели установок тоннельной вентиляции.

5.8 Моделирование пожара в тоннеле метрополитена проводят с учетом стабилизации скорости воздушного потока. Стабилизация скорости воздуха в тоннеле метрополитена при пожаре достигается не менее чем через 5 мин. На рисунке 5.1 приведен пример стабилизации скорости воздушного потока в тоннеле метрополитена диаметром 5,4 м на расстоянии 1000 м от места пожара при начальной скорости притока воздуха, равной требуемой скорости 2,19 м/с.

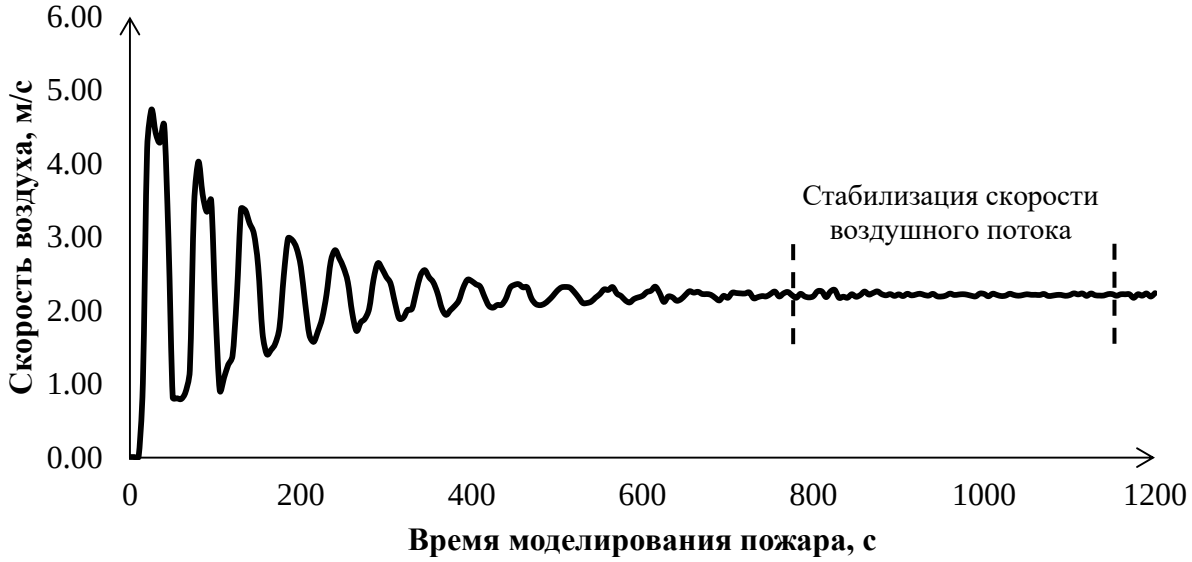


***Рисунок 5.1* – Пример стабилизации скорости воздушного потока в тоннеле метрополитена диаметром 5,4 м на расстоянии 1000 м от места пожара при начальной скорости притока воздуха 2,19 м/с**

5.9 Устойчивость воздушного потока определяют из условия

$$V_{\text{р}} > V_{\text{тр}}, \qquad (5.1)$$

где $V_{\text{р}}$ – расчетная скорость воздуха в тоннеле при введении аварийного вентиляционного режима, м/с;

$V_{\text{тр}}$ – скорость воздуха в тоннеле, требуемая для предотвращения распространения дыма навстречу вентиляционному потоку, м/с.

5.10 Требуемая (нормативная) скорость воздуха приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – **Требуемая (нормативная) скорость воздуха**

Тоннель перегонный	Требуемая (нормативная) скорость воздуха, м/с					
	Уклон тоннеля, ‰					
	0	10	20	30	40	50
Кругового очертания: - внутренним диаметром 5,6 м	2,17	2,23	2,30	2,38	2,43	2,50
- то же, 5,4 м	2,19	2,26	2,32	2,40	2,46	2,52
- то же, 5,1 м	2,23	2,30	2,36	2,43	2,50	2,56
Прямоугольного очертания: - однопутный	2,28	2,35	2,42	2,49	2,56	2,63

Тоннель перегонный	Требуемая (нормативная) скорость воздуха, м/с					
	Уклон тоннеля, ‰					
	0	10	20	30	40	50
- то же, двухпутный	1,8	1,86	1,91	1,97	2,02	2,07
Примечание – Для тоннеля перегонного кругового очертания внутренним диаметром 5,4 м требуемую (нормативную) скорость определяют методом линейной интерполяции.						

5.11 Для тоннелей метрополитена требуемая скорость воздуха может быть определена расчетом критической скорости (приложение Б). Допускается обосновывать соответствие расчетной скорости условиям нераспространения продуктов горения на основе анализа результатов моделирования пожара.

5.12 Ниже представлен краткий пример обоснования нераспространения продуктов горения на основе анализа результатов моделирования пожара.

Рассмотрен полуперегон однопутного тоннеля длиной 1100 м (между станцией и установкой тоннельной вентиляции). Пожар возникает в средней части полуперегона. Мощность условного очага пожара принимают равной 3100 кВт. Моделирование пожара осуществляется не менее 5 мин для стабилизации воздушного потока. Модель представлена на рисунке 5.2. Поля скорости и видимости представлены на рисунках 5.3, 5.4.

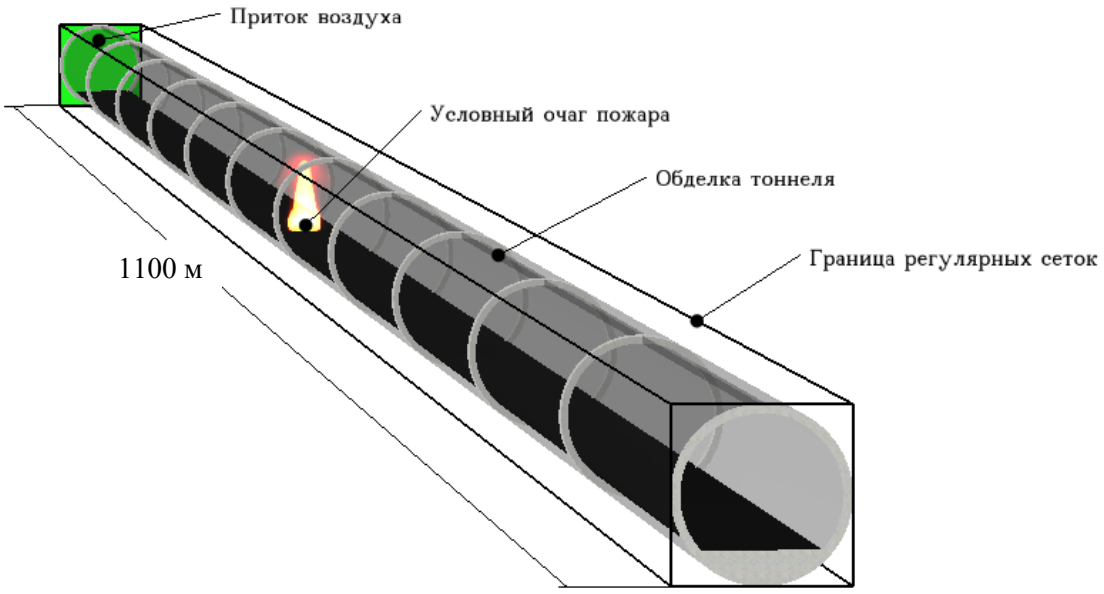


***Рисунок 5.2* – Модель полуперегона тоннеля**

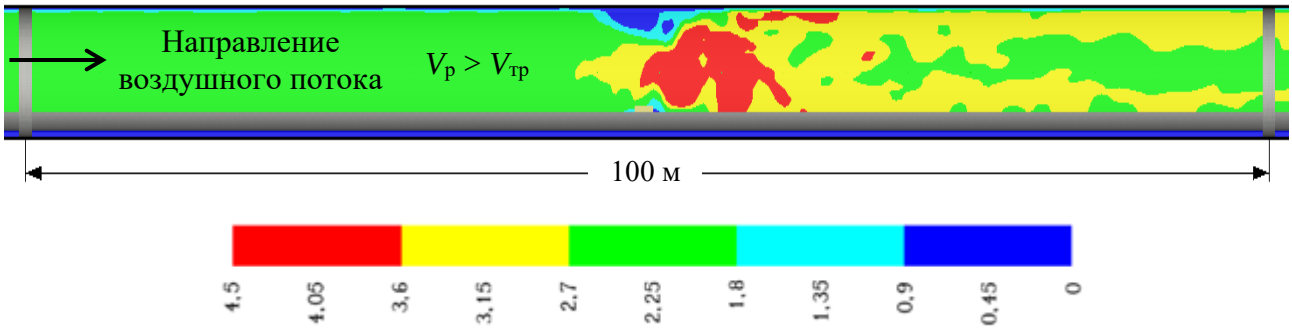


***Рисунок 5.3* – Поле скорости в продольном сечении (участок очага пожара)**

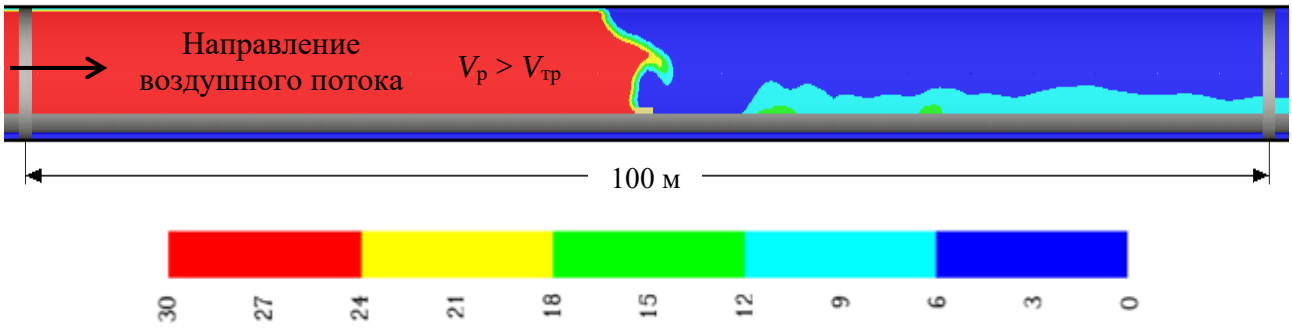


***Рисунок 5.4* – Поле видимости в продольном сечении (участок очага пожара)**

5.13 При проведении расчета устойчивости воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре, в случае использования метода структурированных (регулярных) сеток, рекомендуется рассчитать характерный диаметр очага пожара (рисунок 5.5.). Характерный диаметр очага пожара определяют по формуле

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}}\right)^{\frac{2}{5}}, \qquad (5.2)$$

где D^* – характерный диаметр условного очага пожара;

$\dot{Q}$ – максимальная (пиковая) мощность тепловыделения, кВт;

ρ_∞ – плотность воздуха, кг/м^3;

c_p – удельная теплоемкость газа, кДж/(кг·К);

T_∞ – температура воздуха, К;

g – ускорение свободного падения, м/с^2.

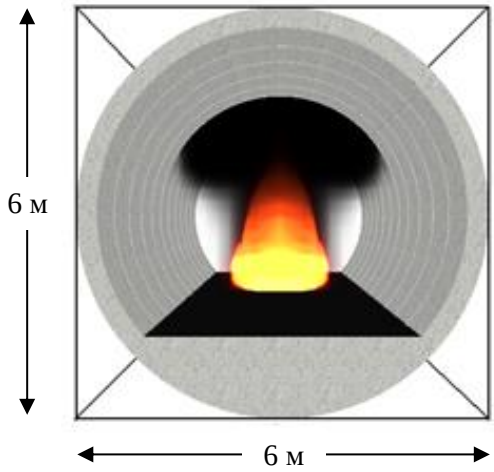


***Рисунок 5.5* – Очаг пожара в тоннеле метрополитена**

5.14 При использовании метода структурированных (регулярных) сеток рекомендуется учитывать гравитационные составляющие по высоте (Z) и длине (X). Угол наклона тоннеля метрополитена и гравитационные составляющие по высоте и длине рассчитывают по формулам

$$\alpha\ (\text{рад.}) = \operatorname{arctg}\frac{(Z_j - Z_i)}{(X_j - X_i)}, \tag{5.3}$$

$$X_{factor} = X_i \cdot \sin\alpha, \tag{5.4}$$

$$Z_{factor} = Z_i \cdot \cos\alpha, \tag{5.5}$$

где X_i – предыдущая координата по оси X;

X_j – текущая координата по оси X;

Z_i – предыдущая координата по оси Z;

Z_j – текущая координата по оси Z;

X_{factor} – значение, соответствующее текущей координате X (X-фактор);

Z_{factor} – значение, соответствующее текущей координате Z (Z-фактор).

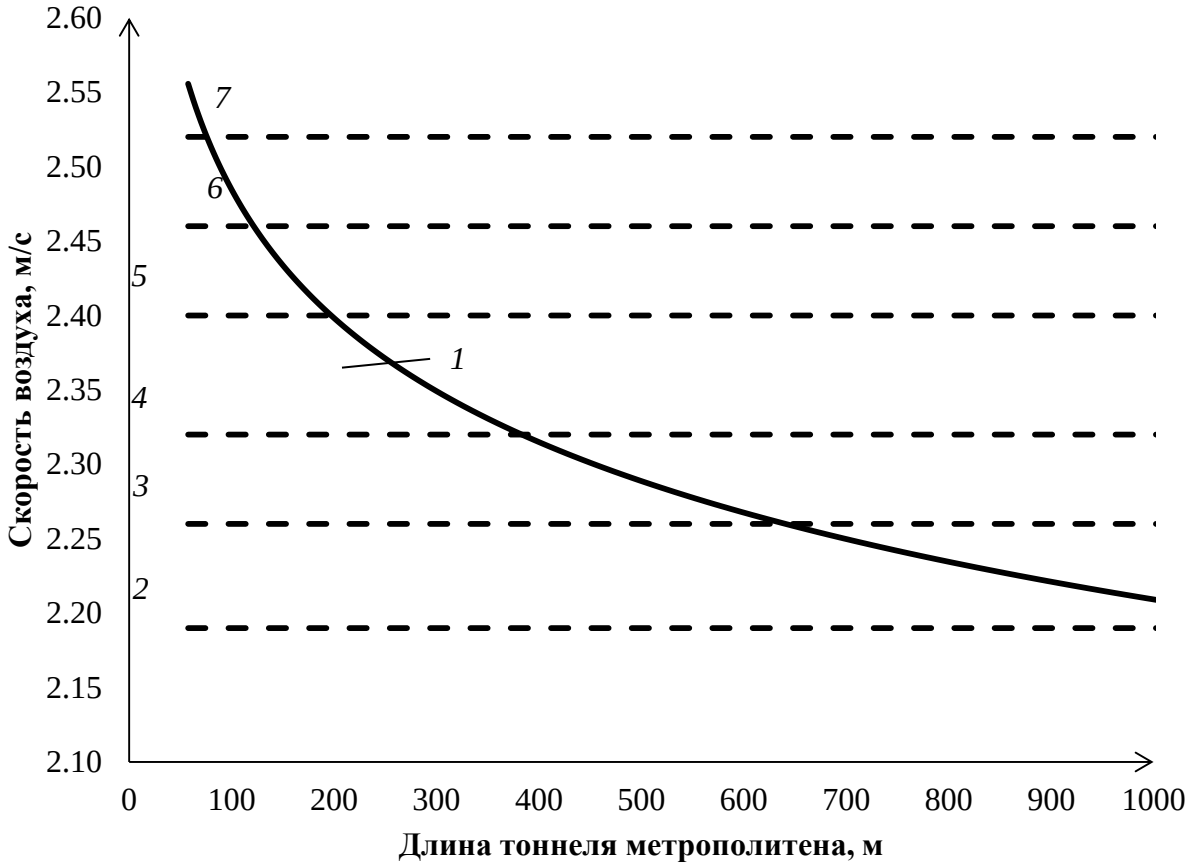
В таблице 5.2 приведен пример расчета угла наклона и гравитационных составляющих X-фактора и Z-фактора.

Таблица 5.2 – **Пример расчета гравитационных составляющих**

Значение X	Значение Z	Угол наклона, рад	X-фактор (X_{factor})	Z-фактор (Z_{factor})	Проверка суммы квадратов
0,00	0,00	0,0000	0,0000	–9,8100	9,81
100,00	–10,00	–0,0997	0,9761	–9,7613	9,81

200,00	–20,00	–0,0997	0,9761	–9,7613	9,81
300,00	–35,00	–0,1489	1,4552	–9,7015	9,81
400,00	–40,00	–0,0500	0,4899	–9,7978	9,81
500,00	–50,00	–0,0997	0,9761	–9,7613	9,81

5.15 Скорость воздушного потока в тоннеле при пожаре уменьшается по длине. На рисунке 5.6 приведен график изменения скорости воздуха в тоннеле при пожаре, полученный на основе анализа результатов моделирования пожара в тоннеле метрополитена внутренним диаметром 5,4 м, при начальной скорости воздуха, равной требуемой скорости 2,19 м/с, и расположении очага пожара на расстоянии 50 м от притока воздуха.



1 – линия изменения скорости воздушного потока по длине от очага пожара; *2* – требуемая скорость воздуха (уклон 0 ‰); *3* – требуемая скорость воздуха (уклон 10 ‰); *4* – требуемая скорость воздуха (уклон 20 ‰); *5* – требуемая скорость воздуха (уклон 30 ‰); *6* – требуемая скорость воздуха (уклон 40 ‰); *7* – требуемая скорость воздуха (уклон 50 ‰)

***Рисунок 5.6* – График изменения скорости воздуха по длине при пожаре в тоннеле метрополитена внутренним диаметром 5,4 м**

5.16 При проведении расчета устойчивости воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре учитывают теплофизические свойства материалов конструкций. Типовые значения теплофизических свойств материалов указаны в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – **Типовые значения теплофизических свойств материалов**

Материал	Плотность, кг/м^3	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Проводимость, Вт/(м·К)	Коэффициент излучения	Коэффициент поглощения, м$^{-1}$
Бетон	2280	1,04	1,8	0,9	$5 \cdot 10^4$
Сталь	7850	0,46	45,8	0,95	$5 \cdot 10^4$

5.17 При проведении расчета устойчивости воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре необходимо учитывать мощность тепловыделения при пожаре, которая может быть определена на основе анализа пожарной опасности тоннеля метрополитена. При проведении проектных и инженерных расчетов допускается принимать среднее значение мощности тепловыделения при пожаре 3100 кВт. Расчетно-аналитическая мощность тепловыделения при пожаре приведена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – **Расчетно-аналитическая мощность тепловыделения при пожаре**

Тоннель перегонный	Расчетно-аналитическая мощность тепловыделения в тоннеле при пожаре, кВт					
	Уклон тоннеля, ‰					
	0	10	20	30	40	50
Кругового очертания: - внутренним диаметром 5,6 м	3131	2936	3006	3117	3096	3160
- то же, 5,4 м	3154	2952	3019	3128	3104	3165
- то же, 5,1 м	3218	3046	3064	3124	3181	3194
	Среднее значение – 3100 кВт					

Примечания

1 Мощность тепловыделения при пожаре определена методом решения обратной задачи нахождения критической скорости, где вместо критической скорости принималась требуемая

Тоннель перегонный	Расчетно-аналитическая мощность тепловыделения в тоннеле при пожаре, кВт					
	Уклон тоннеля, ‰					
	0	10	20	30	40	50
(нормативная) скорость воздуха в тоннеле метрополитена при пожаре. 2 Мощность тепловыделения при пожаре определена для средних геометрических параметров сечений тоннелей метрополитена при температуре воздуха плюс 20 °С.						

5.18 В таблице 5.5 указаны средние геометрические параметры сечений тоннелей метрополитена кругового очертания.

Таблица 5.5 – **Средние геометрические параметры сечений тоннелей**

Тоннель перегонный	Высота сечения тоннеля без учета строения пути, м	Площадь сечения тоннеля без учета строения пути, м^2
Кругового очертания внутренним диаметром 5,6 м	4,6	21,6
То же, 5,4 м	4,4	20
То же, 5,1 м	4,1	17,6
Примечание – Средние геометрические параметры сечений тоннелей определены при высоте строения пути, сегмента внутренней окружности тоннеля ~1 м.		

5.19 Пожарная опасность тоннеля метрополитена определяется наличием в нем различной горючей нагрузки: кабелей, электрооборудования, горючих материалов электроподвижного состава и др. В таблице 5.6 приведены типовые значения показателей пожарной опасности горючей нагрузки.

Таблица 5.6 – **Типовые значения показателей пожарной опасности горючей нагрузки**

Горючая нагрузка	$Q_н$, МДж/кг	D_m, Нп·м^2/кг	$\psi_{уд}$, кг/(м^2·с)	v, м/с	L_{O2}, кг/кг	L_{CO2}, кг/кг	L_{CO}, кг/кг	L_{HCl}, кг/кг
Кабели горючие	30,7	521	0,024	0,007	2,19	0,65	0,13	0,02
Кабели негорючие	32	521	0,0067	0,00033	2,19	0,65	0,13	0,02
Электротехническое оборудование	20,9	327	0,0076	0,013	1,95	0,38	0,056	0,0054

Горючая нагрузка	$Q_н$, МДж/кг	D_m, Нп·м^2/кг	$\psi_{уд}$, кг/(м^2·с)	v, м/с	L_{O2}, кг/кг	L_{CO2}, кг/кг	L_{CO}, кг/кг	L_{HCl}, кг/кг
Примечание: $Q_н$, МДж/кг – низшая теплота сгорания; D_m, Нп·м^2/кг – дымообразующая способность; $\psi_{уд}$, кг/(м^2·с) – удельная массовая скорость выгорания; v, м/с – линейная скорость распространения пламени; L_{O2}, кг/кг – потребление кислорода при горении; L_{CO2}, кг/кг – выделение диоксида углерода при горении; L_{CO}, кг/кг – выделение угарного газа при горении; L_{HCl}, кг/кг – выделение хлористого водорода при горении.								

5.20 Электроподвижной состав метрополитена содержит в себе разную неоднородную горючую нагрузку.

Среднее значение i-го показателя пожарной опасности горючей нагрузки определяют по формуле

$$X_i^{ср} = \frac{\sum_i (m_i \cdot X_i)}{\sum_i m_i}, \quad (5.6)$$

где $X_i^{ср}$ – среднее значение i-го показателя пожарной опасности горючей нагрузки, МДж/кг, Нп·м^2/кг, кг/(м^2·с), м/с, кг/кг;

m_i – масса горючего материала, кг;

X_i – справочное значение i-го показателя пожарной опасности горючего материала, МДж/кг, Нп·м^2/кг, кг/(м^2·с), м/с, кг/кг.

5.21 Средние расчетные значения показателей пожарной опасности горючей нагрузки вагонов метрополитена серии 81-760/761 (г. Москва) и серии 81-557/558 (г. Санкт-Петербург) приведены в таблицах 5.7, 5.8 соответственно.

Таблица 5.7 – **Средние значения показателей пожарной опасности вагонов метрополитена серии 81-760/761 (г. Москва)**

Элемент узла	Наименование материала	Кол-во на вагон, кг	$Q_н$	D_m	$\psi_{уд}$	v	L_{O2}	L_{CO2}	L_{CO}	L_{HCl}
Элемент конструкции «Пол»										
Настил	Фанера ФСФ-ТМ толщ. 10 мм ТУ 13-971-94	440	15,3	104	0,009	0,017	1,21	0,54	0,121	0
Покрытие	Линолеум поливинилхлоридный «Armstrong»	150	14,3	270	0,002	0,024	3,34	0,65	0,084	0,0058
Тепло-звукоизоляция	Базальтовый картон	Негорючий материал								
Клей	Forbo 522	14	20,5	104	0,009	0,017	1,21	0,24	0,121	0
Элемент конструкции «Внутренняя отделка»										
Облицовка стен	Стеклопластик на основе смол пониженной горючести (F805TF) ТУ 3187-001-64191842-2002-03-18	300	10,8	340	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073
Потолок	Лист АТ-ПВ-1,0 ГОСТ 19904-90 К350В-6-II-Н-20 ГОСТ 16523-97	Металл								
Тепло-звукоизоляция	Supersil M2-10 (КТ-11) ТУ 5952-156-17644763-09	Негорючий материал								
Элемент конструкции «Двери и окна»										
Уплотнение	Резина 6190 ТУ 2500-295-00152106-93	125	33,5	850	0,011	0,018	2,99	0,42	0,015	0
Элемент конструкции «Диваны (сиденья, спинки)»										
Обивка	Пленка ПВХ формующаяся ТУ 8721-193-05790484-2005	15	14,3	400	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073
Каркас	Стеклопластик на основе смол пониженной горючести (F805TF) ТУ 3187-001-	140	10,8	340	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073

Элемент узла	Наименование материала	Кол-во на вагон, кг	$Q_н$	D_m	$\psi_{уд}$	v	L_{O2}	L_{CO2}	L_{CO}	L_{HCl}
	64191842-2002-03-18									
Мягкий элемент	Трудногорючий пенополиуретан Изолан Эл-50 ТУ 2226-268-10480596-98	33	24,3	211	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073
Основание	Фанера ФСФ-ТМ 6 ТУ 13-971-94	60	15,3	104	0,009	0,017	1,21	0,54	0,121	0
Элемент конструкции «Кузов»										
Шумоизоляция	Мастика вибропоглощающая «ВПМ-1» ТУ 2316-002-02068479-98	400	11,7	134	0,015	0,018	2,99	0,42	0,015	0
Теплоизоляция	Мат МПБ-30-1-60×6000×1000 ТУ 5769-007-13062592-2002	Негорючий материал								
Прокладка защитная	Стеклоткань теплостойкая марки ТАФ-3	Негорючий материал								
Средние (расчетные) значения			14,7	248	0,013	0,017	2,57	0,57	0,08	0,0026

П р и м е ч а н и е – В настоящей таблице применены следующие условные обозначения:

$Q_н$ – низшая теплота сгорания, МДж/кг;

D_m – дымообразующая способность, Нп·м^2/кг;

$\psi_{уд}$ – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м^2·с);

v – линейная скорость распространения пламени, м/с;

L_{O2} – потребление кислорода при горении, кг/кг;

L_{CO2} – выделение диоксида углерода при горении, кг/кг;

L_{CO} – выделение угарного газа при горении, кг/кг;

L_{HCl} – выделение хлористого водорода при горении, кг/кг.

Таблица 5.8 – **Средние значения показателей пожарной опасности вагонов метрополитена серии 81-557/558 (г. Санкт-Петербург)**

Элемент узла	Наименование материала	Кол-во на вагон, кг	$Q_н$	D_m	$\psi_{уд}$	v	L_{O2}	L_{CO2}	L_{CO}	L_{HCl}
Салон, кабина, управление	Алюком (панели алюминиевые композитные). Слабогорючий Г1, не распространяющий пламя ($I_{ср} = 0$), умеренно опасный Т2 (45 г/м^3)	88,18	3,88	263	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073
Кабина, отделка салона вагона	Стеклопластик (Элерон Полиформ). Трудногорючий, не распространяющий пламя ($I_{ср} \leq 20$), умеренно опасный Т2 (40…120 г/м^3)	499,98	18,8	Д2 340	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073
Кабина, отделка салона вагона	Стеклопластик сидений (Элерон Полиформ). Трудногорючий, не распространяющий пламя ($I_{ср} \leq 20$), умеренно опасный Т2 (40…120 г/м^3)	38	18,8	Д2 340	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073
Настил полов	Фанера трудногорючая ФСФ-ТВ (плиты фанерные). Трудногорючий, медленно распространяющий пламя ($I_{ср} = 12,8$), умеренно опасный Т2 (44,6 г/м^3)	570	16,24	64	0,009	0,017	1,21	0,24	0,121	0

Элемент узла	Наименование материала	Кол-во на вагон, кг	$Q_н$	D_m	$\psi_{уд}$	v	L_{O2}	L_{CO2}	L_{CO}	L_{HCl}
Уплотнение стекол, дверей вагона	Резиновые уплотнители (резиновая смесь 7534). Трудногорючий, умеренно опасный Т2 (55,4 г/м^3)	13,29	36	483	0,011	0,018	2,99	0,42	0,015	0
Покрытие полов	Линолеум Altro Blue VM20 (напольное покрытие АЛЬТРО (линолеум)). Умеренно горючий Г2, медленно распространяющий пламя ($I_{ср}$ = 13,4), умеренно опасный Т2 (56,2 г/м^3)	124,8	17,91	485	0,002	0,024	3,34	0,65	0,084	0,0058
Обивка сидений	Винилискожа-ТР (артикул С194/10). Трудногорючий, не распространяющий пламя ($I_{ср}$ = 0), умеренно опасный Т2 (53,26 ± 9,95 г/м^3)	13,44	18,51	379,6	0,015	0,018	2,99	0,42	0,015	0
Используется при необходимости как подкладки	Деревянные бруски, пропитанные антипиреном	5	9,32		0,015	0,022	1,15	1,57	0,024	0
Порог раздвижных дверей	Полиамид КФМ ПА-6. Слабогорючий Г1, медленно распространяющий пламя, умеренно опасный Т2 (40…120 г/м^3)	10,5	31	Д2 340	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXCSLOE-OZ	3,8	8,5	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXCSLOE-OZ	1,9	8,5	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016

Элемент узла	Наименование материала	Кол-во на вагон, кг	$Q_н$	D_m	$\psi_{уд}$	v	L_{O2}	L_{CO2}	L_{CO}	L_{HCl}
Кабельная продукция	Rheyhalon NSHXAFOE-EN	34,4	1,3	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	3,5	5,3	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	32,9	7,7	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	23,7	9,6	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	2,3	9,4	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	1,5	11,5	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	2,1	13,2	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	0,1	7,6	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	0,3	18	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	0,1	13	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	0,2	50,4	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon (N)HXAF	0,4	63	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon MAZ CHXOE	4,7	3,2	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Rheyhalon MAZ CHXOE	0,9	5,2	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	BL-02XS(ST)CHX	5,5	9,8	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	BL-2XS(ST)CHXOE	9,6	11,5	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Databus UIC 120Ohm	22	13,5	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Radox Tenius TW/S EMC	0,5	5,9	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Кабельная продукция	Belden 1868ENH(5) FLEX 4PR 100Ohm	0,9	11,3	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Средние (расчетные) значения			16	252	0,014	0,015	2,4	0,57	0,11	0,0052

Элемент узла	Наименование материала	Кол-во на вагон, кг	$Q_н$	D_m	$\psi_{уд}$	v	L_{O2}	L_{CO2}	L_{CO}	L_{HCl}

П р и м е ч а н и е – В настоящей таблице применены следующие условные обозначения:

$Q_н$ – низшая теплота сгорания, МДж/кг (МДж/м);

D_m – дымообразующая способность, Нп·м^2/кг;

$\psi_{уд}$ – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м^2·с);

v – линейная скорость распространения пламени, м/с;

L_{O2} – потребление кислорода при горении, кг/кг;

L_{CO2} – выделение диоксида углерода при горении, кг/кг;

L_{CO} – выделение угарного газа при горении, кг/кг;

L_{HCl} – выделение хлористого водорода при горении, кг/кг.

5.22 При моделировании пожаров в тоннелях метрополитена могут быть рассмотрены как модели тоннелей с границами по концам, так и комплексные модели (с учетом станций метрополитена). Пример построения комплексной модели приведен на рисунке 5.7. На рисунке 5.8 показано смещение дыма.

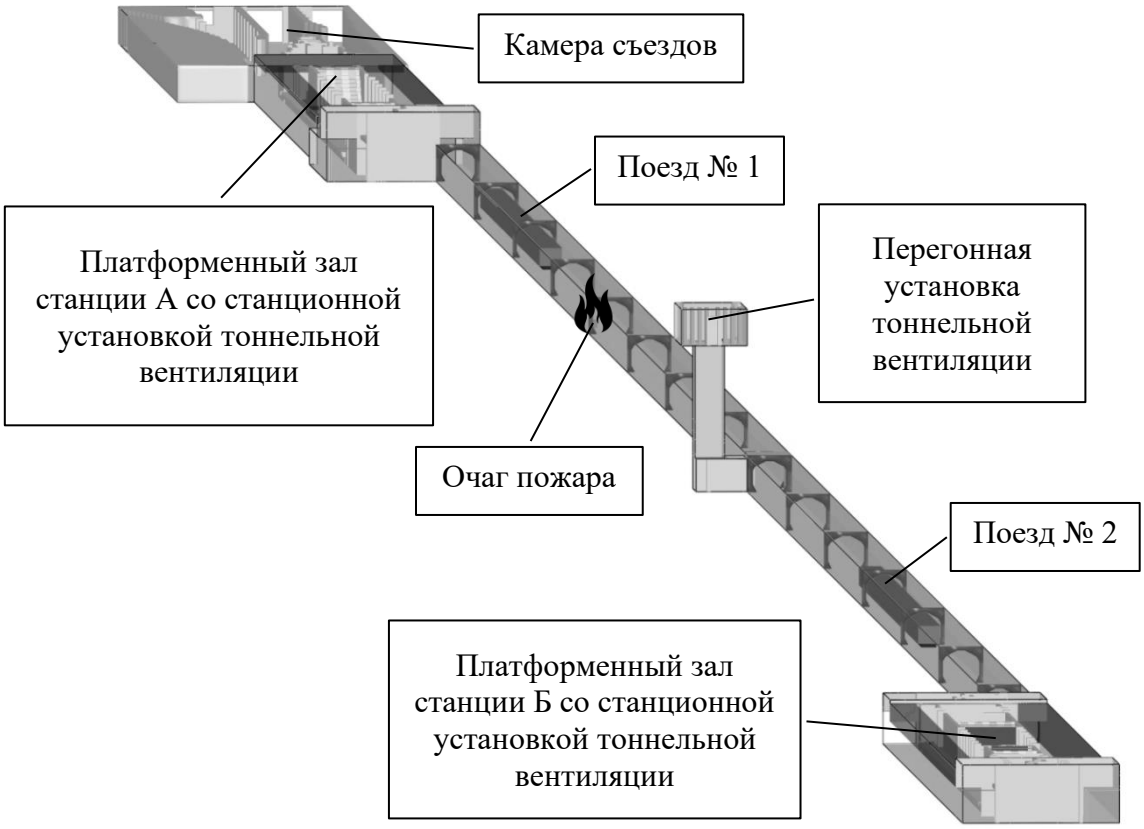


***Рисунок 5.7* – Пример построения комплексной модели**

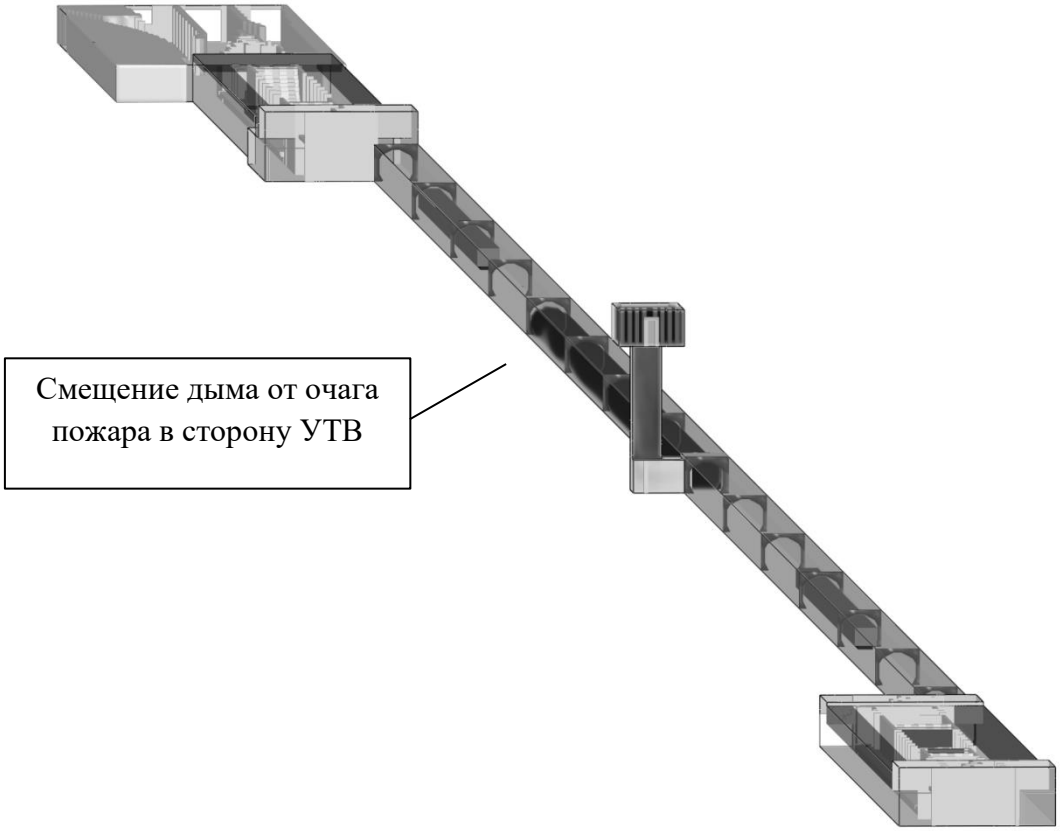


***Рисунок 5.8* – Смещение дыма по примеру комплексной модели**

5.23 Для однопутных перегонных тоннелей кругового очертания могут быть применены номограммы, приведенные в приложении В.

6 Требования пожарной безопасности к оборудованию систем противодымной защиты однопутных тоннелей (перегонов)

6.1 При продольной схеме вентиляции с использованием трех УТВ тоннель подлежит условному разделению на две и более дымовые зоны, граница между которыми должна совпадать с местом установки промежуточной УТВ. Направление воздушного потока должно быть определено в зависимости от аварийной дымовой зоны.

6.2 При продольной схеме вентиляции с двумя УТВ деление на дымовые зоны не требуется.

6.3 Огнестойкость вентиляционных каналов, противопожарных клапанов, вентиляторов систем приточно-вытяжной противодымной вентиляции тоннелей следует принимать в соответствии с СП 7.13130, СП 120.13330.

6.4 Все установки тоннельной вентиляции должны обеспечивать реверс тяги со значением расхода, достаточным для обеспечения всех режимов работы вентиляции при пожаре.

6.5 Участки шумоглушения должны иметь байпасы или предусматриваться огнестойкими из материалов группы горючести НГ. Термическая деформация таких участков (при отсутствии байпасов) не должна приводить к снижению площади их «живого» сечения более чем на 5 % относительно первоначальной.

6.6 Для бесперебойной работы параллельно подключенных УТВ должно быть предусмотрено резервирование: в количестве 1 ед., обеспечивающей 100 % подачу, при применении двух УТВ в подключении; в количестве 1 ед., обеспечивающей 50 % подачу, при применении трех УТВ в подключении.

6.7 При необходимом техническом обосновании для повышения эффективности системы вентиляции (в т. ч. энергоэффективности) допускается применять установки струйной вентиляции (УСВ), установленные в тоннеле на расстоянии друг от друга не менее 10 эквивалентных гидравлических диаметров поперечного сечения тоннеля.

При применении направляющих аппаратов в составе УСВ, обеспечивающих поворот потока на угол 5^{o}–10^{o} относительно оси вентилятора в сторону геометрического центра поперечного сечения тоннеля в месте установки, допускается уменьшение расстояния между вентиляторами до 6 эквивалентных гидравлических диаметров поперечного сечения тоннеля.

6.8 Вентиляторы УТВ, УСВ, обеспечивающие удаление продуктов горения, должны быть допущены к применению по результатам оценки соответствия требованиям [1] по ГОСТ Р 53302.

6.11 Вентиляторы УТВ и УСВ, для которых изготовителем допускается частотное регулирование или плавный пуск при пожаре, подлежат оценке соответствия по методу, указанному в 6.8, комплектно с указанными элементами управления, при этом вентиляторы с частотным регулированием должны быть испытаны с минимальной допустимой производителем частотой вращения, а также с максимальной (в т. ч. более 50 Гц).

6.12 Противопожарные клапаны в составе СПЗ подлежат оценке соответствия требованиям [1] по методу, установленному ГОСТ Р 53301.

6.13 Огнестойкие воздуховоды в составе СПЗ подлежат оценке соответствия требованиям [1] по методу, установленному ГОСТ Р 53299. Применение самоклеящихся огнезащитных покрытий, фиксирующих огнезащитное покрытие самоклеящихся фольгированных лент, межфланцевых уплотнений и герметиков группы горючести Г1 и ниже в составе воздуховодов с нормируемым пределом огнестойкости не допускается.

Приложение А

Метод анализа динамики развития пожара и скорости воздушного потока в тоннелях метрополитена при пожаре

Метод анализа динамики развития пожара и скорости воздушного потока в тоннелях метрополитена при пожаре основан на решении уравнений полевых моделей пожаров. Основой для полевых моделей пожаров являются уравнения, выражающие законы сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов в рассматриваемом малом контрольном объеме.

Уравнение сохранения массы имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot u_j\right) = 0. \tag{A.1}$$

Уравнение сохранения импульса имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho \cdot u_j\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot u_j \cdot u_i\right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho \cdot g_i. \tag{A.2}$$

Для ньютоновских жидкостей, подчиняющихся закону Навье–Стокса, тензор вязких напряжений определяется формулой

$$\tau_{ij} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \cdot \delta_{ij}. \tag{A.3}$$

Уравнение энергии имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot h) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot u_j \cdot h\right) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\lambda}{c_p} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_j}\right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j}, \tag{A.4}$$

где $h = h_0 + \int_{T_0}^{T} c_p \cdot \mathrm{d}T + \sum_k (Y_k \cdot H_k)$ – статическая энтальпия смеси:

здесь H_k – теплота образования k-го компонента;

$c_p = \sum_k Y_k \cdot c_{p,k}$ – теплоемкость смеси при постоянном давлении;

q_j^R – радиационный поток энергии в направлении x_j.

Уравнение сохранения химического компонента k имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot u_j \cdot Y_k\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot D \cdot \frac{\partial Y_k}{\partial x_j}\right) + S_k. \tag{A.5}$$

Для замыкания системы уравнений, указанных выше, используется уравнение состояния идеального газа. Для смеси газов оно имеет вид:

$$p = \rho \cdot R_0 \cdot T \cdot \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \quad \text{(A.6)}$$

где R_0 – универсальная газовая постоянная;

M_k – молярная масса k-го компонента.

Приложение Б

Метод определения критической скорости воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре

Критическую скорость воздушного потока в тоннеле метрополитена при пожаре определяют с использованием расчетных зависимостей:

$$V_c = K_1 \cdot K_g \cdot \left(\frac{g \cdot H \cdot Q}{\rho \cdot c_p \cdot A \cdot T_f} \right)^{\frac{1}{3}},$$

$$T_f = \left(\frac{Q}{\rho \cdot C_p \cdot A \cdot V_{\text{тр}}} \right) + T,$$

где V_c – критическая скорость воздуха в тоннеле при пожаре, м/с;

K_1 – константа;

K_g – коэффициент уклона;

g – ускорение свободного падения, принимаемое равным 9,81 м/с^2;

H – высота сечения тоннеля без учета строения пути, м;

Q – мощность тепловыделения при пожаре, кВт;

ρ – средняя плотность воздуха, кг/м^3;

c_p – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);

A – площадь поперечного сечения воздушного потока, м^2;

T_f – средняя температура дымовых газов, К;

T – температура воздуха, К.

Константу K_1 определяют по зависимости:

$$K_1 = F_r^{-1/3},$$

где F_r – число Фруда принимается равным 4,5; или принимают в соответствии с таблицей Б.1.

Таблица Б.1 – **Значения K_1 в зависимости от мощности тепловыделения при пожаре**

Q, МВт	K_1
>100	0,606
90	0,62
70	0,64
50	0,68
30	0,74
<10	0,87

Фактор K_g зависит от продольного уклона тоннеля и описывается зависимостью:

$$K_g = 1 + 0{,}0374 i^{0{,}8},$$

где i – продольный уклон, вычисляемый по зависимости $i = {}^{a}/_{b} \cdot 100\ \%$ (здесь a – длина тоннеля, м; b – перепад высот, м), или определяемый в соответствии с рисунком Б.1.

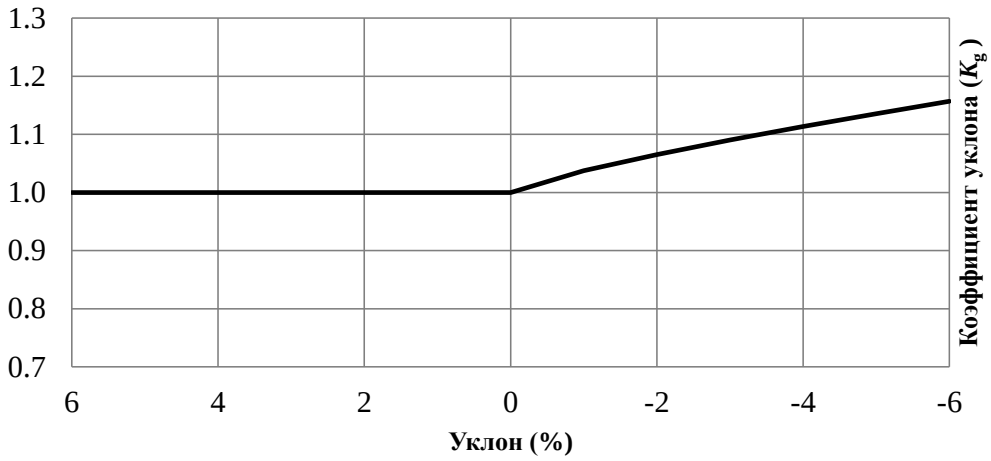


Рисунок Б.1 **– Коэффициент K_g в зависимости от уклона тоннеля**

При положительном уклоне коэффициент K_g необходимо принимать равным 1,0, требуемую скорость воздушного потока на графике следует принимать для уклона со значением 0 %.

Приложение В

Валидация практических инженерно-технических расчетов

В.1 В настоящем приложении приведены номограммы, разработанные на основе анализа динамики развития пожара и скорости воздушного потока в однопутном тоннеле диаметром 5,4 м, который отсутствует в таблице 5.36 СП 120.13330.2012, но при этом является средним по диаметру и одним из наиболее часто применяемых тоннелей, предусматриваемых при проектировании.

При построении номограммы учитывались следующие условия:

- рассмотрен тоннельный участок длиной 1100 м (см. рисунок 5.4);

- установка тоннельной вентиляции расположена в средней части;

- условный очаг пожара мощностью 3100 кВт расположен в средней части полуперегона на уровне верхнего строения пути;

- значения показателей выделения токсичных продуктов горения при пожаре принимались по кабелям, обладающим высокой дымообразующей способностью;

- теплофизические свойства обделки тоннеля принимались по бетону;

- температура воздуха принималась при стандартных условиях плюс 20 °С;

- установка тоннельной вентиляции принималась включенной в работу в режим вытяжной противодымной вентиляции;

- на границах расчетного тоннельного участка установлены плоскости естественного притока воздуха;

- измерение скорости воздушного потока при пожаре осуществлялось с шагом 5 м от места расположения установки тоннельной вентиляции.

По номограммам в зависимости от производительности установки тоннельной вентиляции определяют скорость воздушного потока в тоннеле на определенном расстоянии от установки тоннельной вентиляции.

Данные номограммы предназначены для сравнения значений скорости воздушного потока, полученных при практических расчетах, со значениями скоростей воздушных потоков, указанными на номограммах. Расчетные значения скоростей воздушных потоков в целом должны быть достаточно близки к значениям, указанным на номограммах в пределах отклонения, указанного в п. 4.3

методических рекомендаций. Номограммы могут быть использованы для валидации практических инженерно-технических расчетов. Номограммы не исключают возможности получения других скоростей воздушных потоков при моделировании, если в данных расчетах учтены другие условия: мощность тепловыделения при пожаре, температура воздуха, иные значения показателей пожарной опасности горючей нагрузки.

В.2 Номограммы для определения скорости воздуха в однопутных тоннелях кругового очертания при пожаре

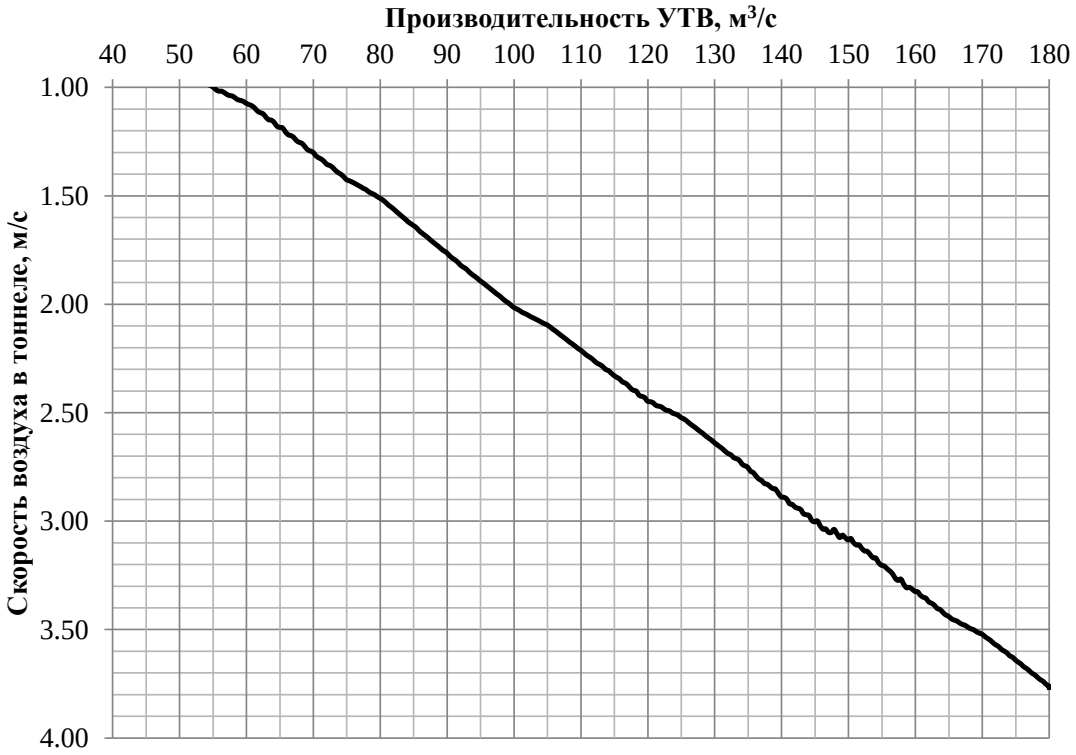


Рисунок В.1 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 0–50 м. Уклон 0 ‰**

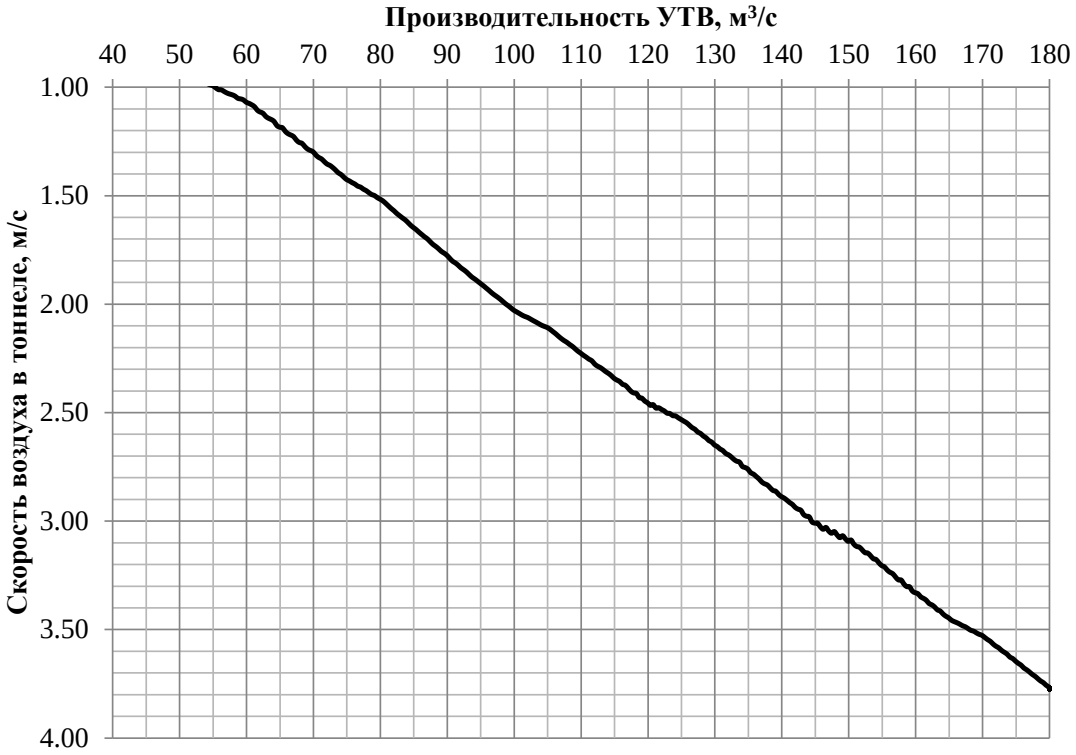


Рисунок В.2 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 50–100 м. Уклон 0 ‰**

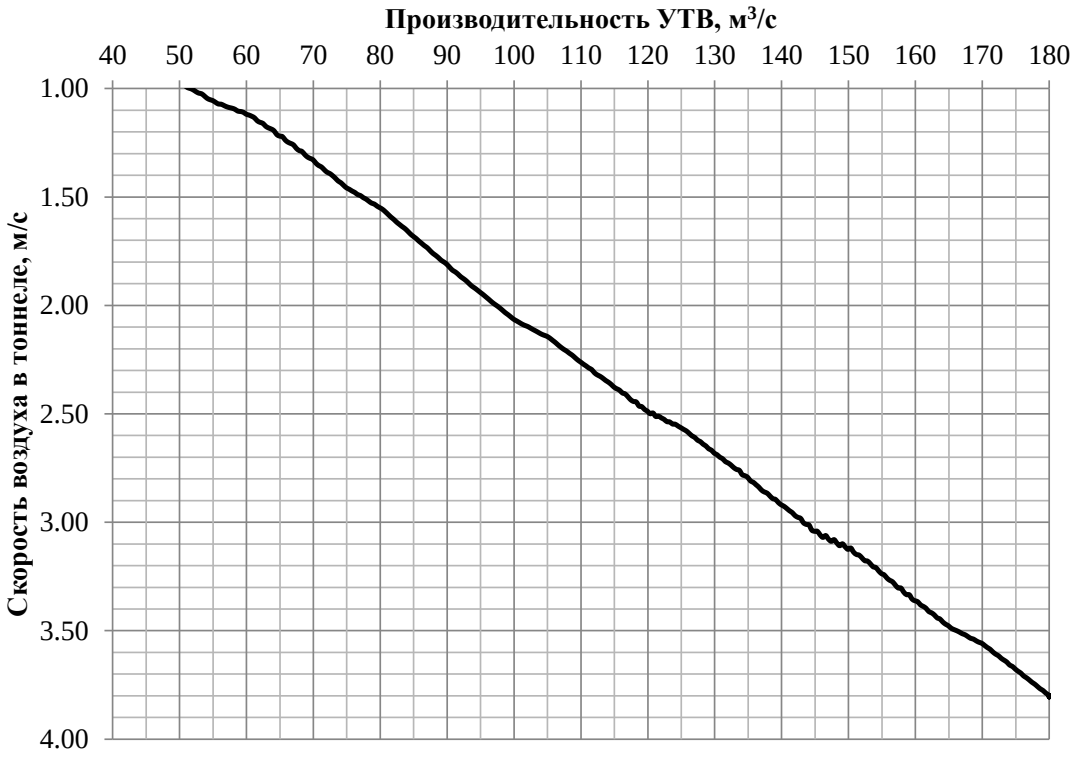


Рисунок В.3 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 100–150 м. Уклон 0 ‰**

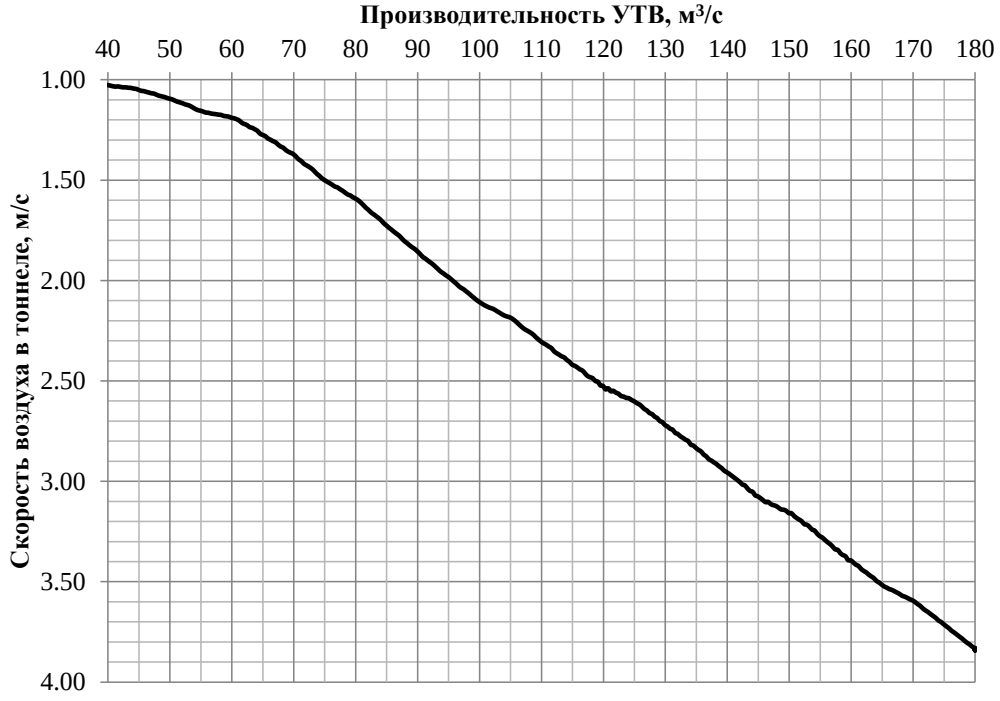


Рисунок В.4 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 150–200 м. Уклон 0 ‰**

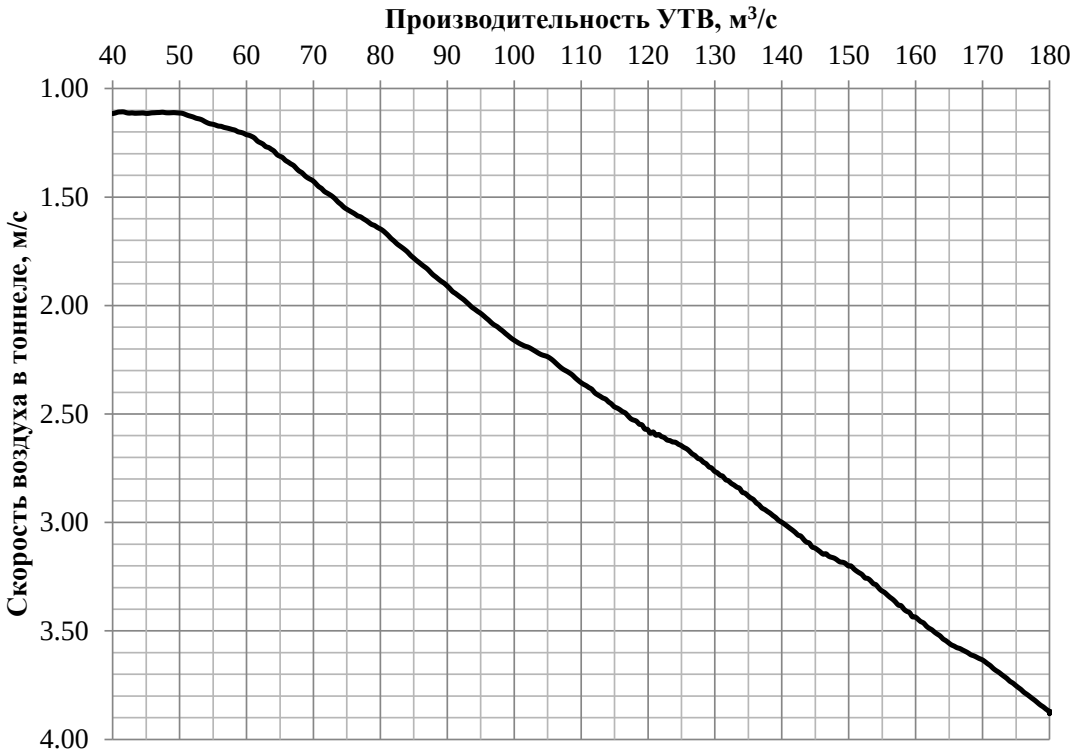


Рисунок В.5 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 200–250** м. Уклон 0 ‰

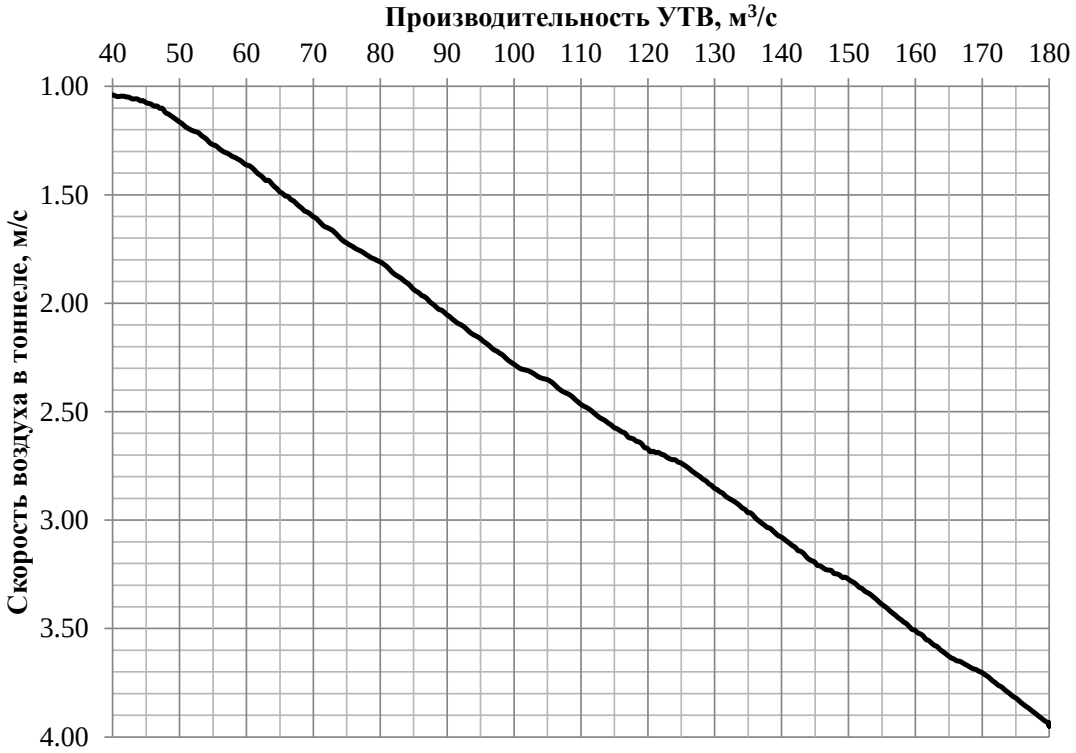


Рисунок В.6 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 250–300 м. Уклон 0 ‰**

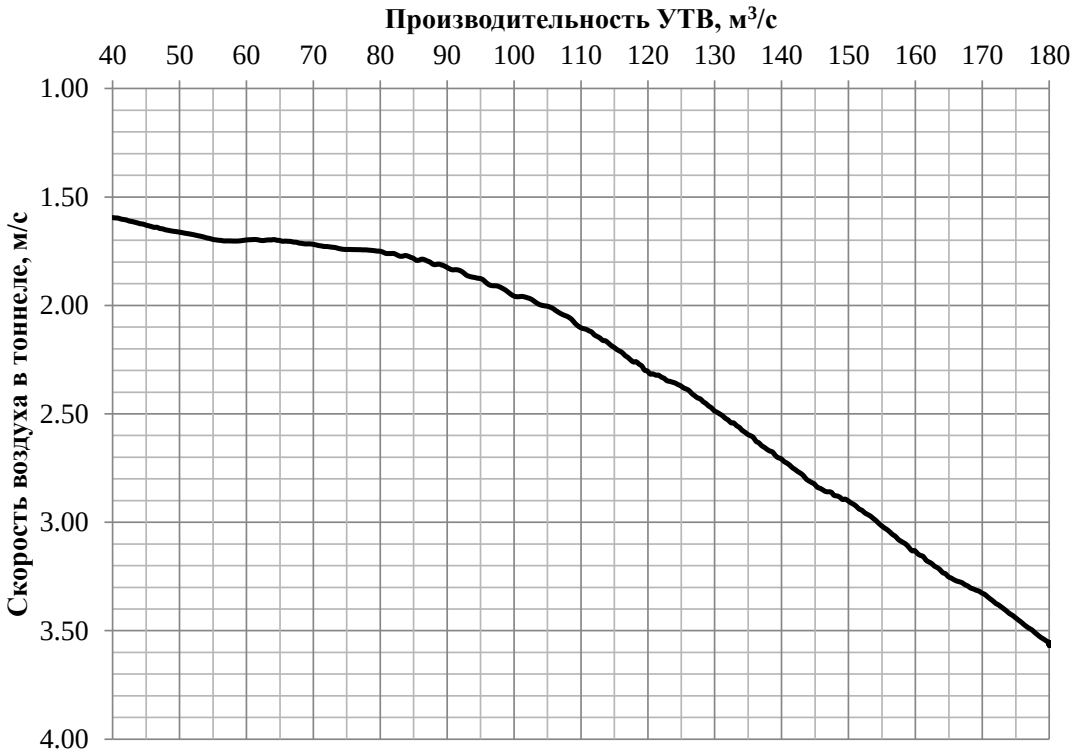


Рисунок В.7 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 300–350 м. Уклон 0 ‰**

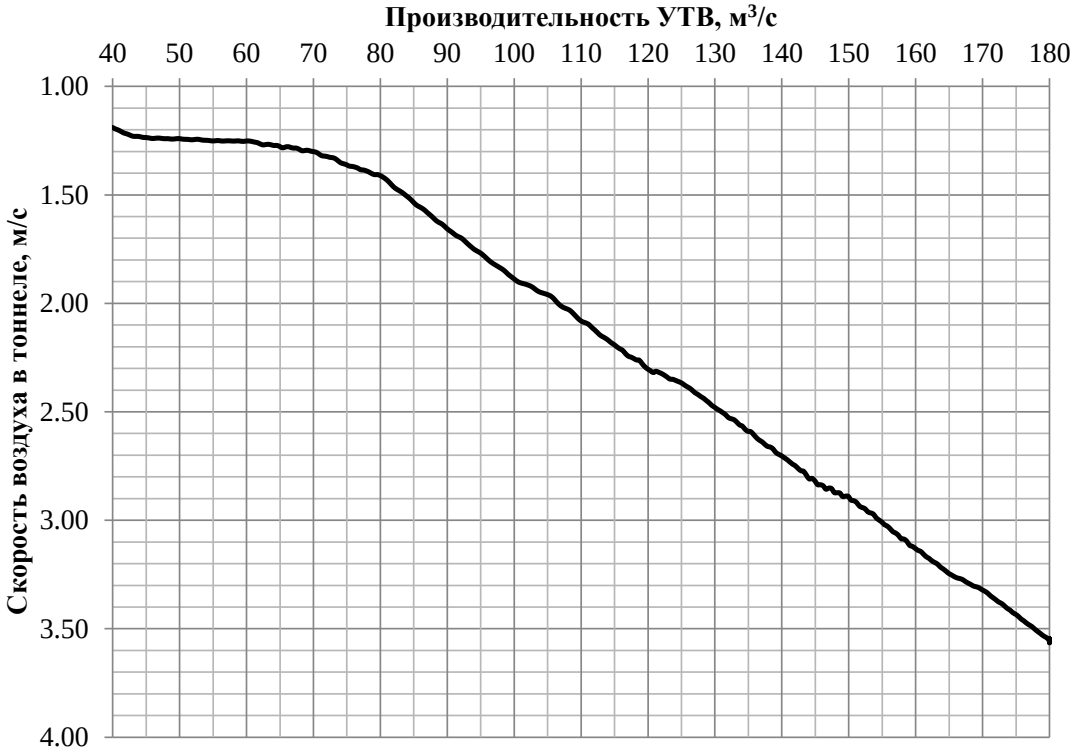


Рисунок В.8 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 350–400 м. Уклон 0 ‰**

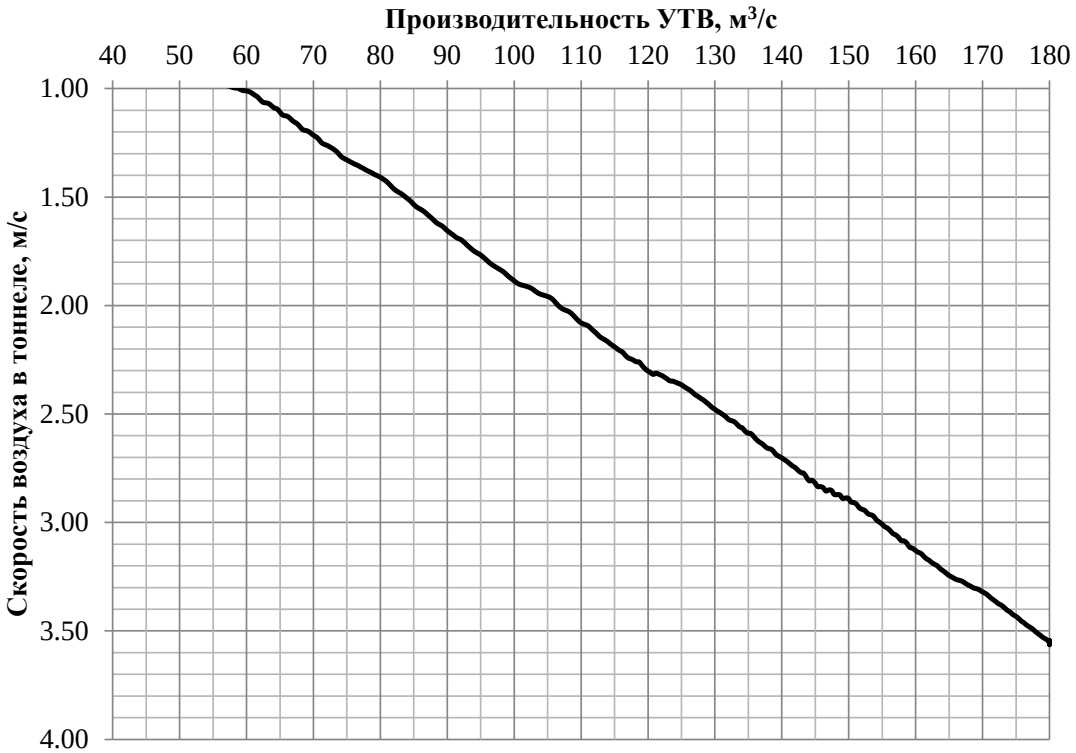


Рисунок В.9 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 400–450 м. Уклон 0 ‰**

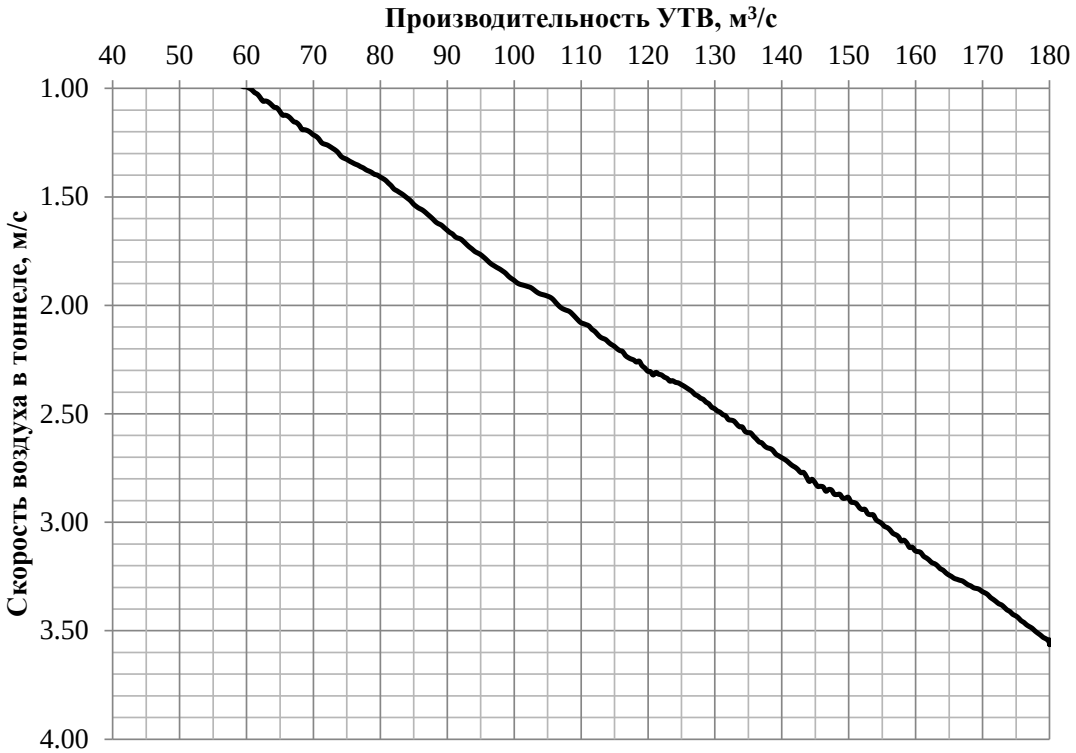


Рисунок В.10 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 450–500 м. Уклон 0 ‰**

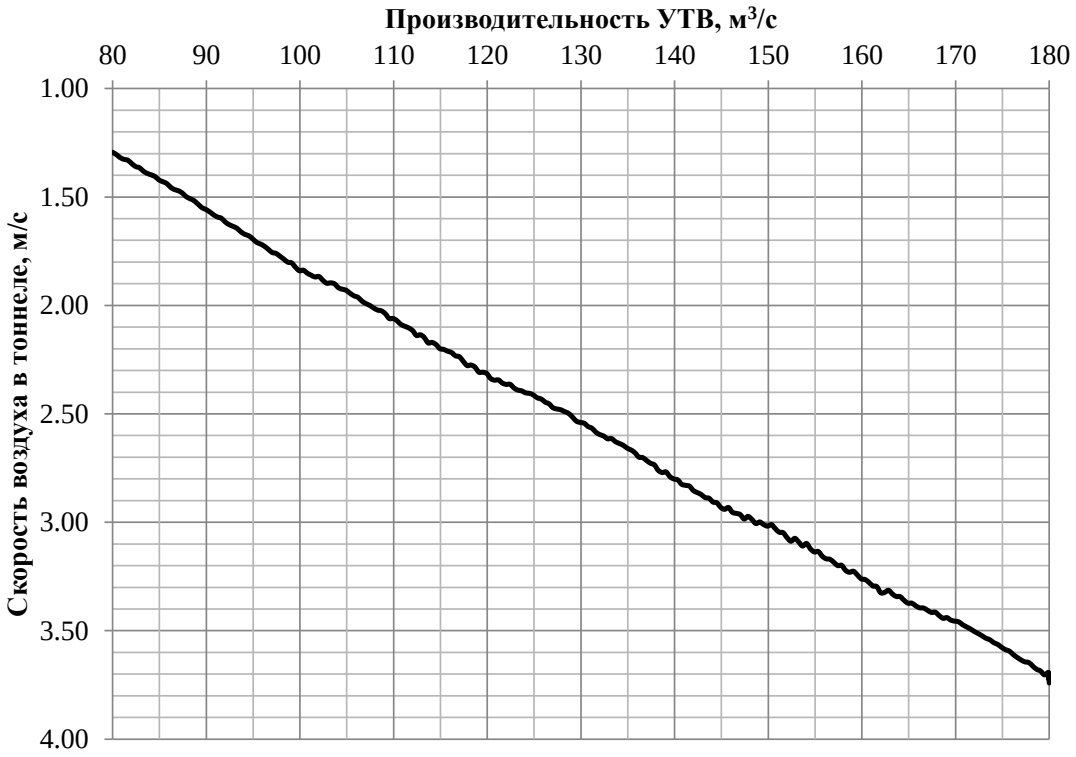


Рисунок В.11 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 0–50 м. Уклон 10 ‰**

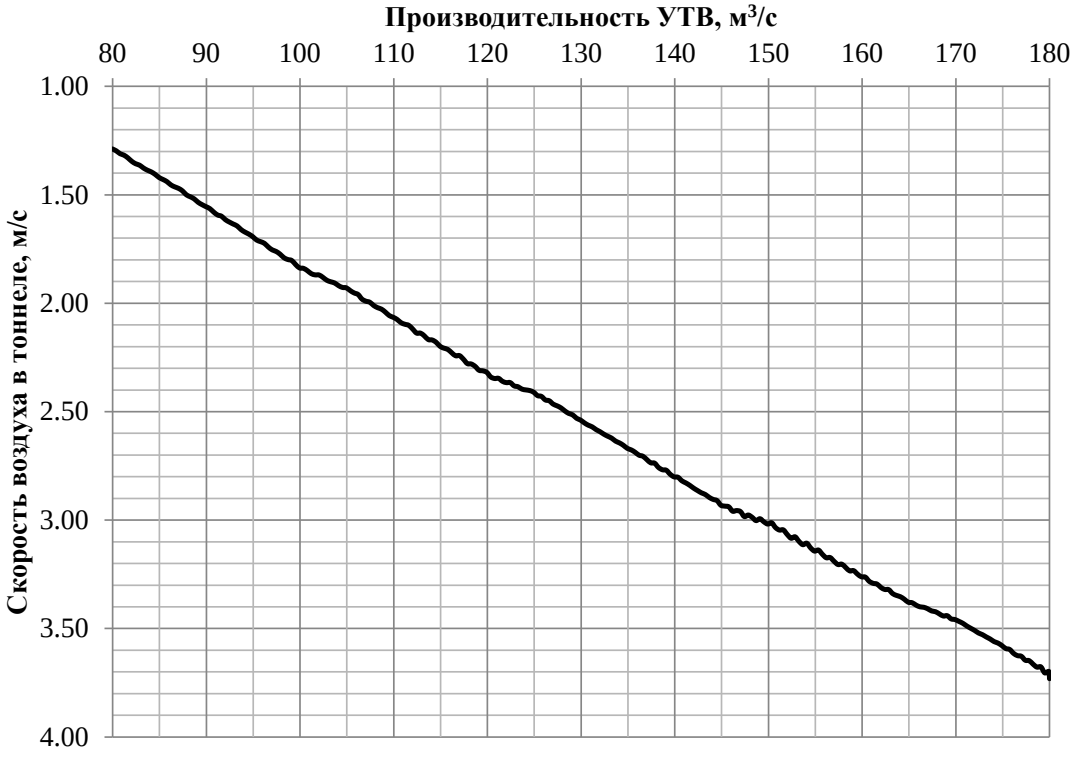


Рисунок В.12 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 50–100 м. Уклон 10 ‰**

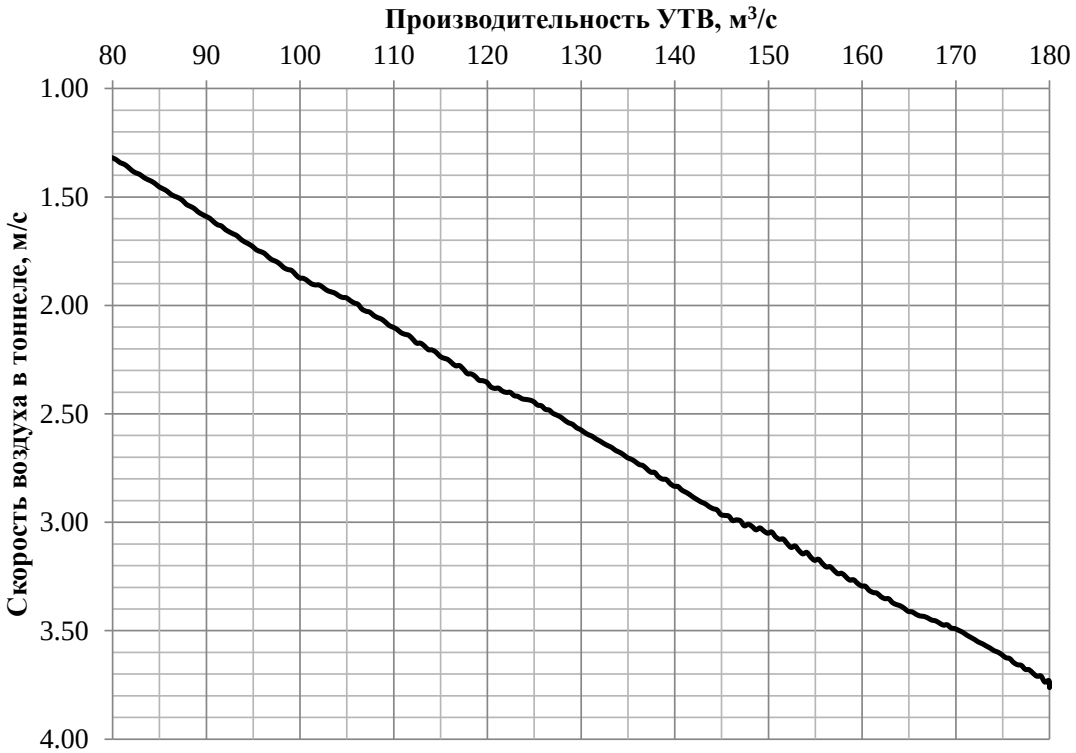


Рисунок В.13 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 100–150 м. Уклон 10 ‰**

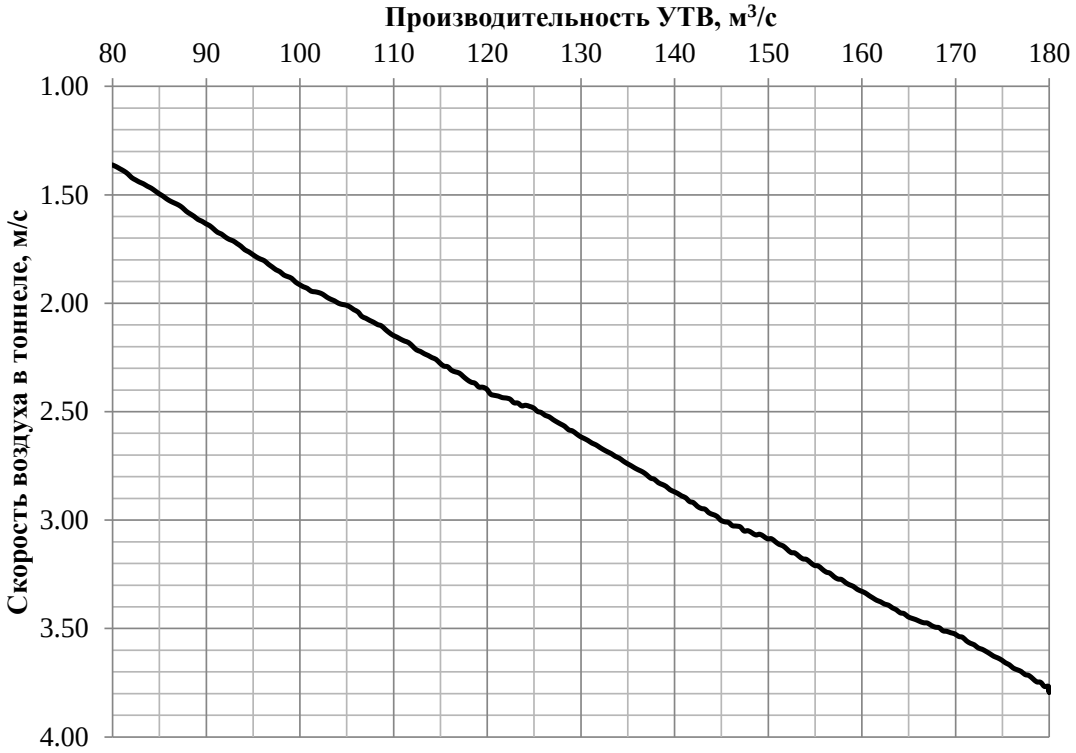


Рисунок В.14 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 150–200 м. Уклон 10 ‰**

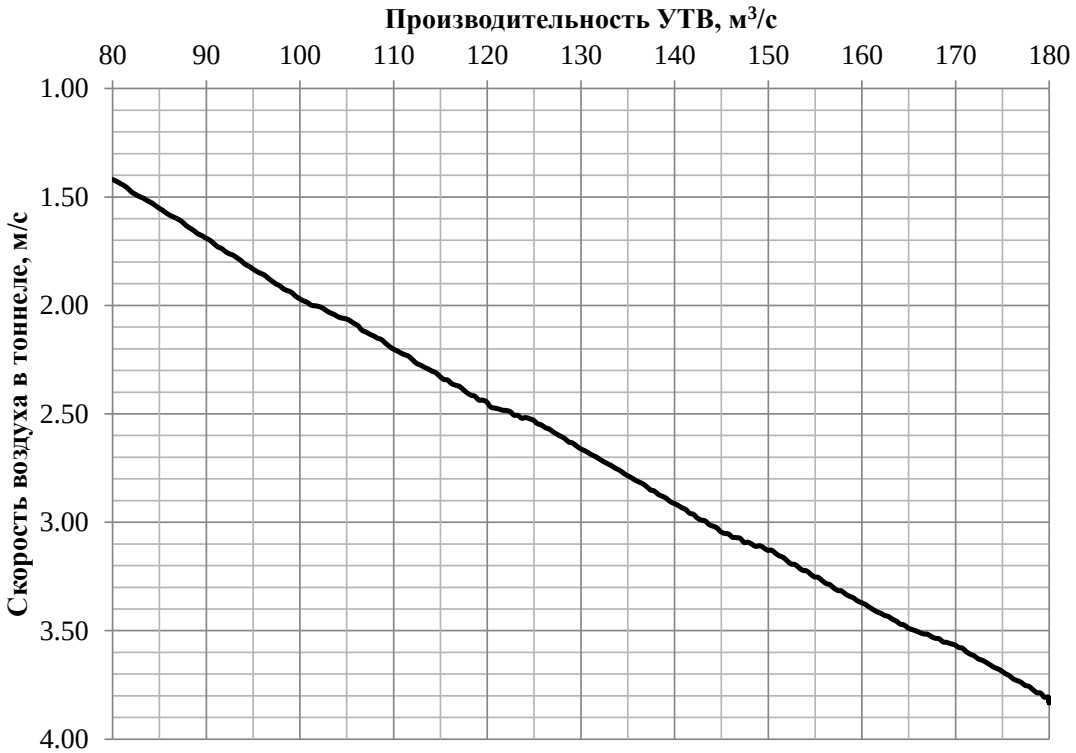


Рисунок В.15 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 200–250 м. Уклон 10 ‰**

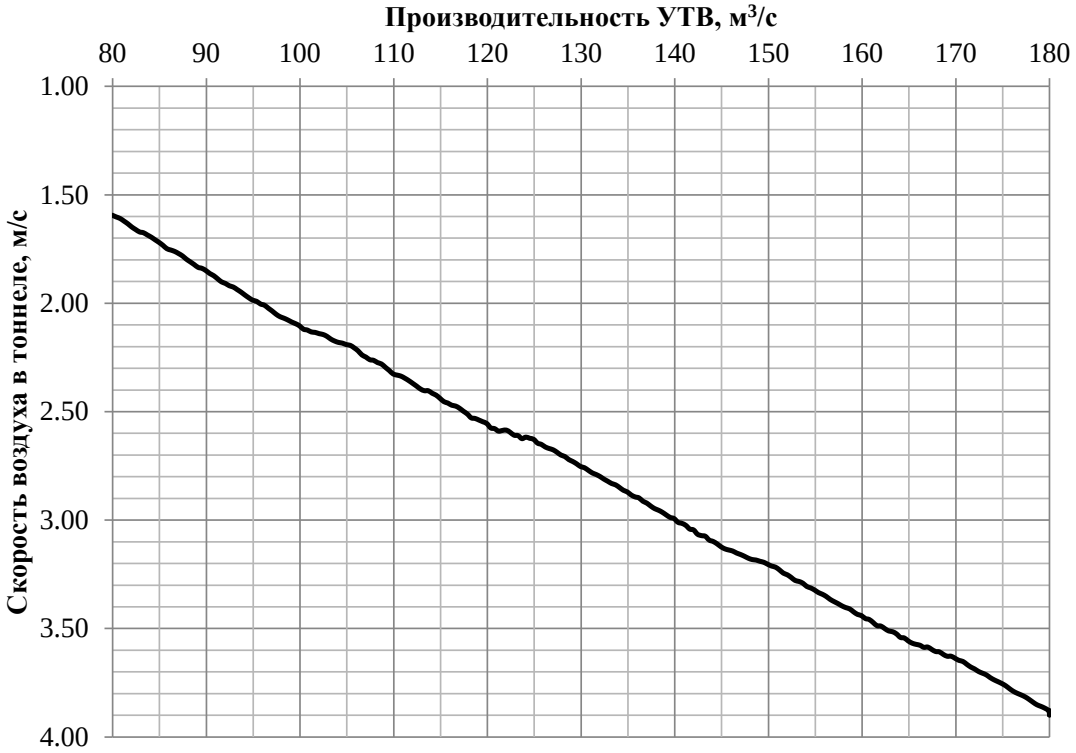


Рисунок В.16 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 250–300 м. Уклон 10 ‰**

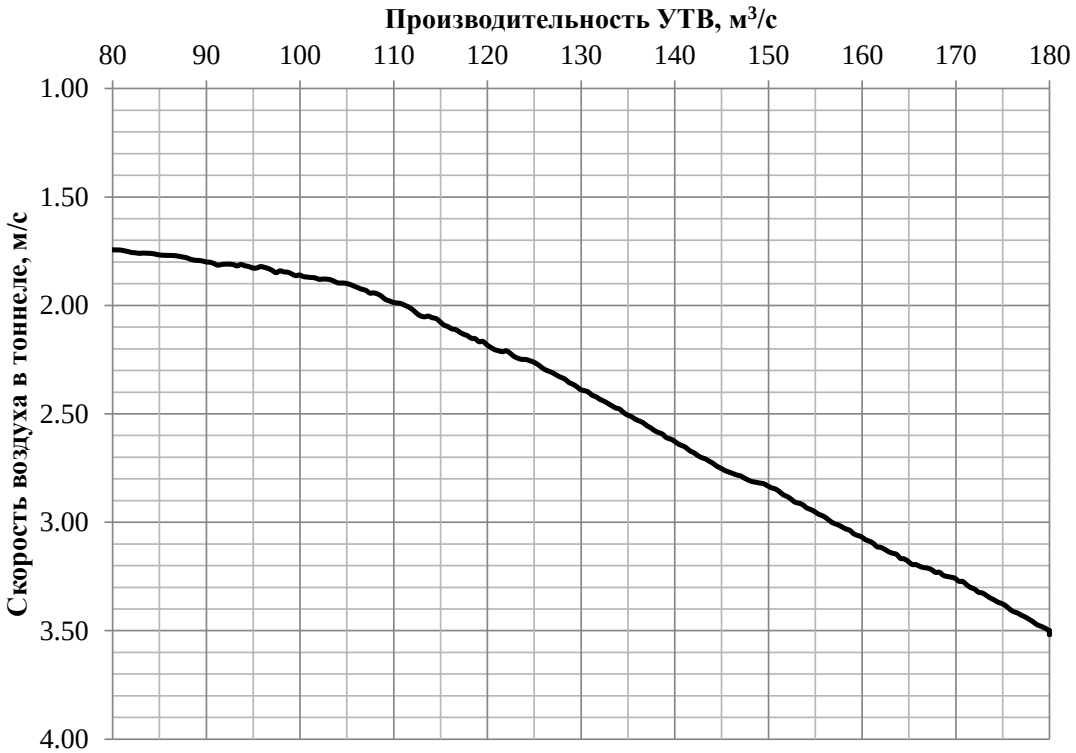


Рисунок В.17 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 300–350 м. Уклон 10 ‰**

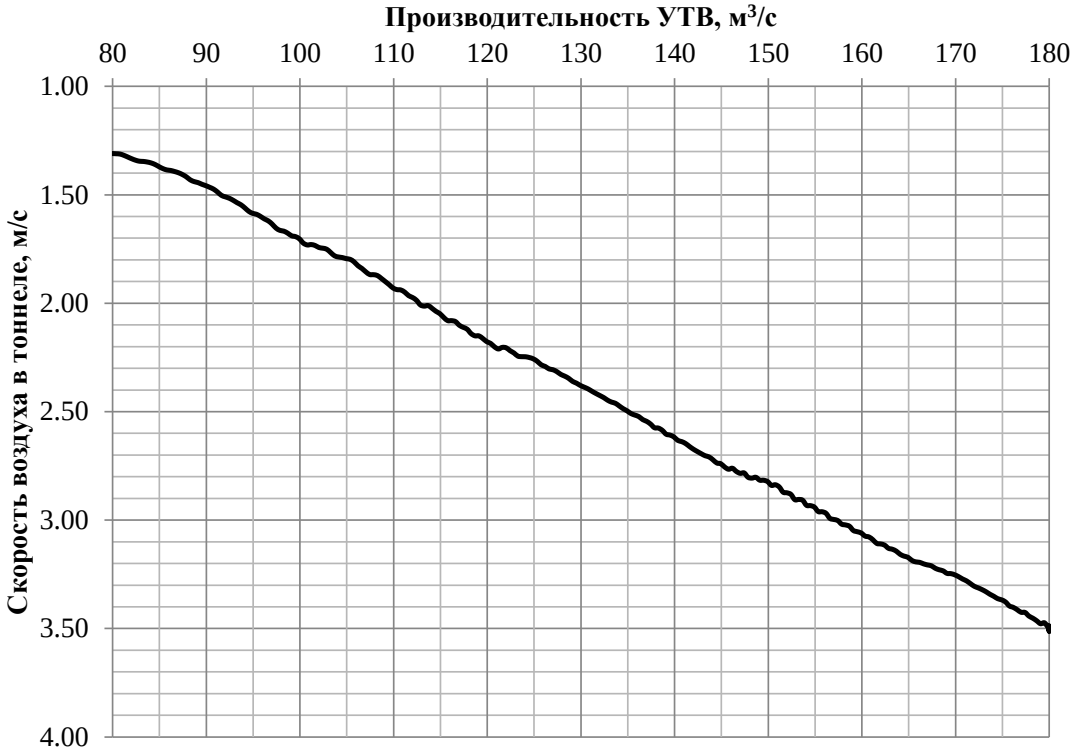


Рисунок В.18 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 350–400 м. Уклон** 10 ‰

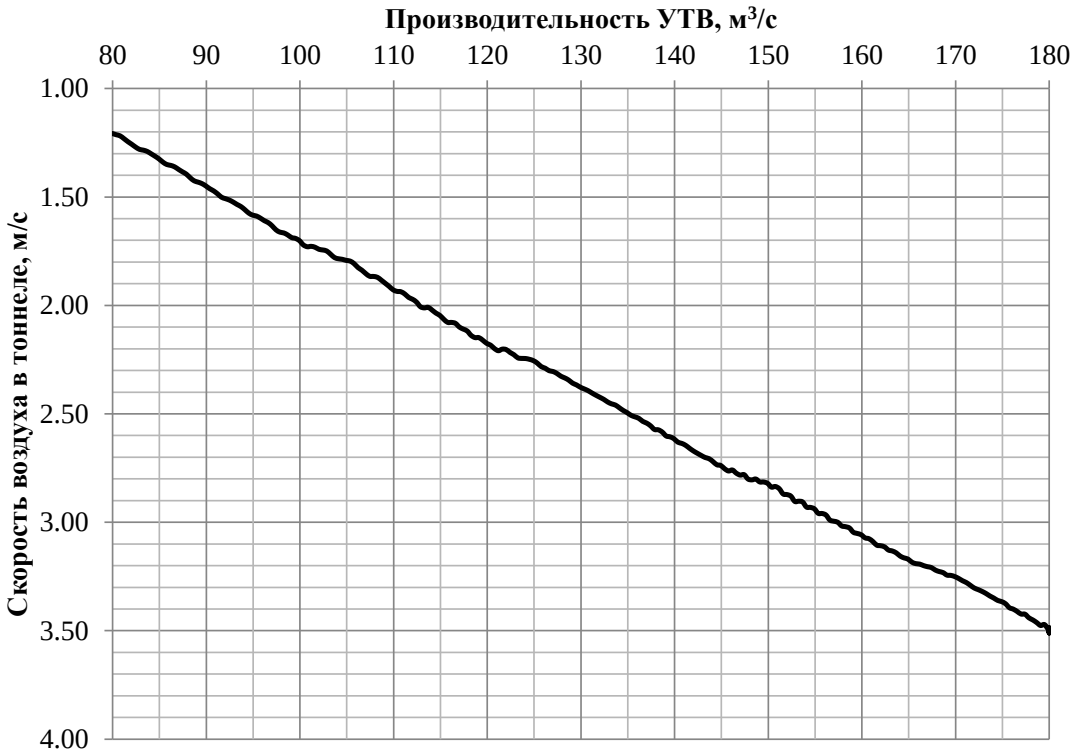


Рисунок В.19 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 400–450 м. Уклон 10 ‰**

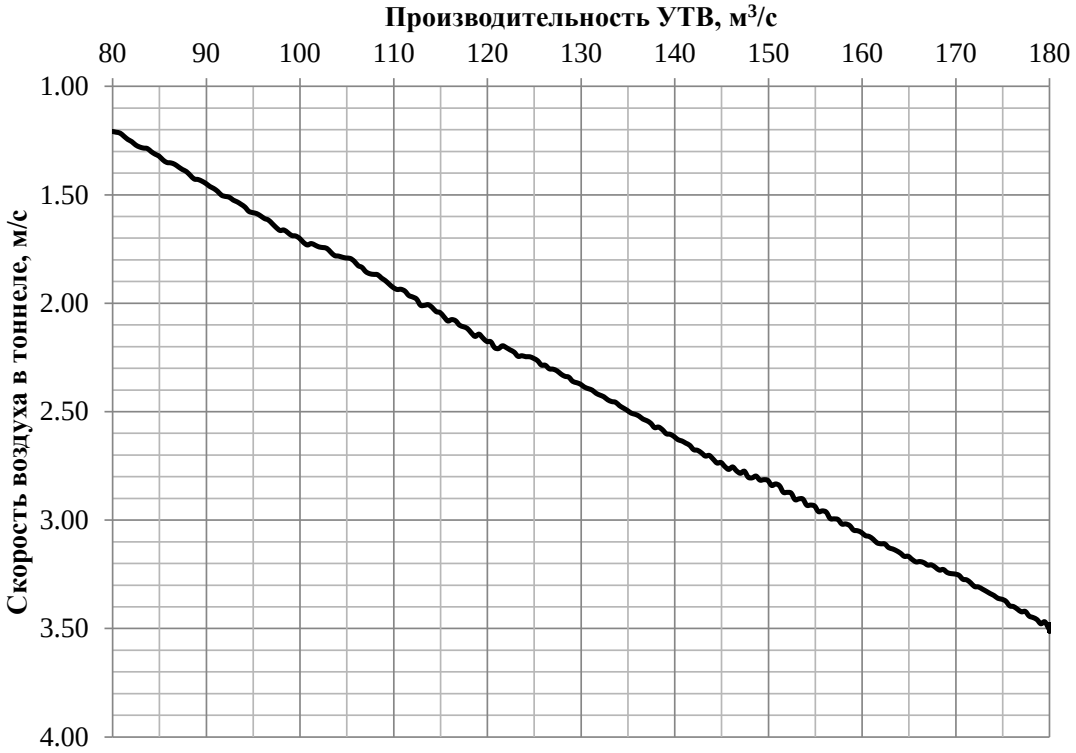


Рисунок В.20 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 450–500 м. Уклон 10 ‰**

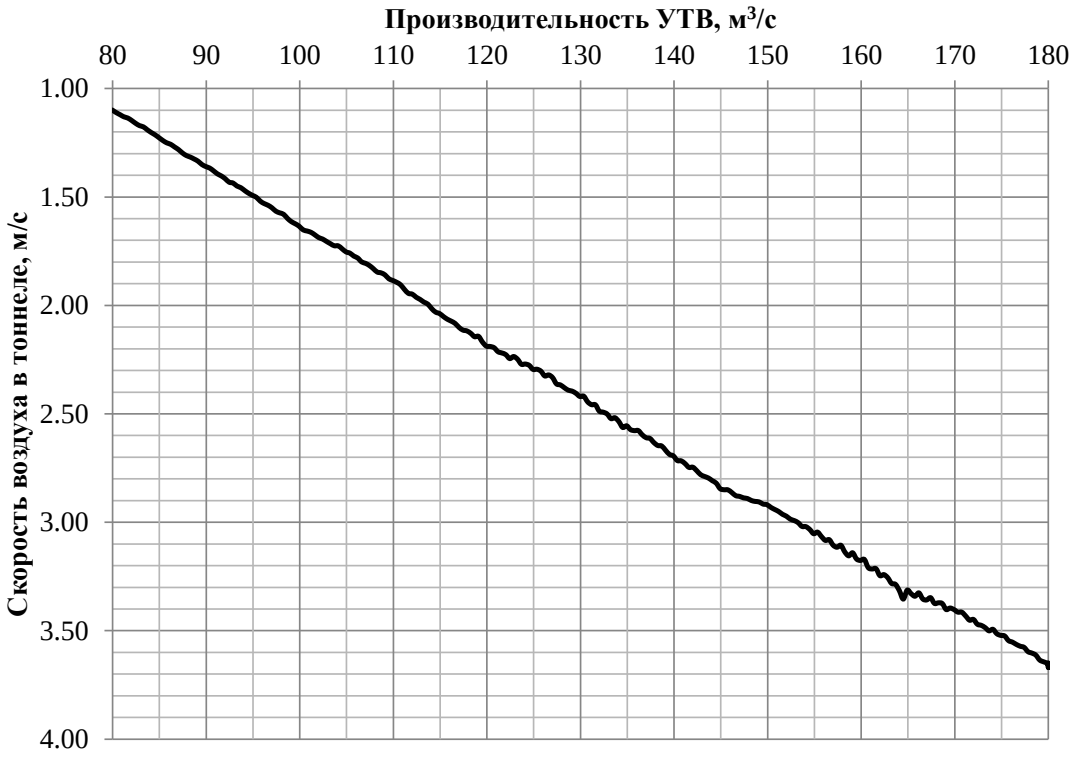


Рисунок В.21 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 0–50 м. Уклон 20 ‰**

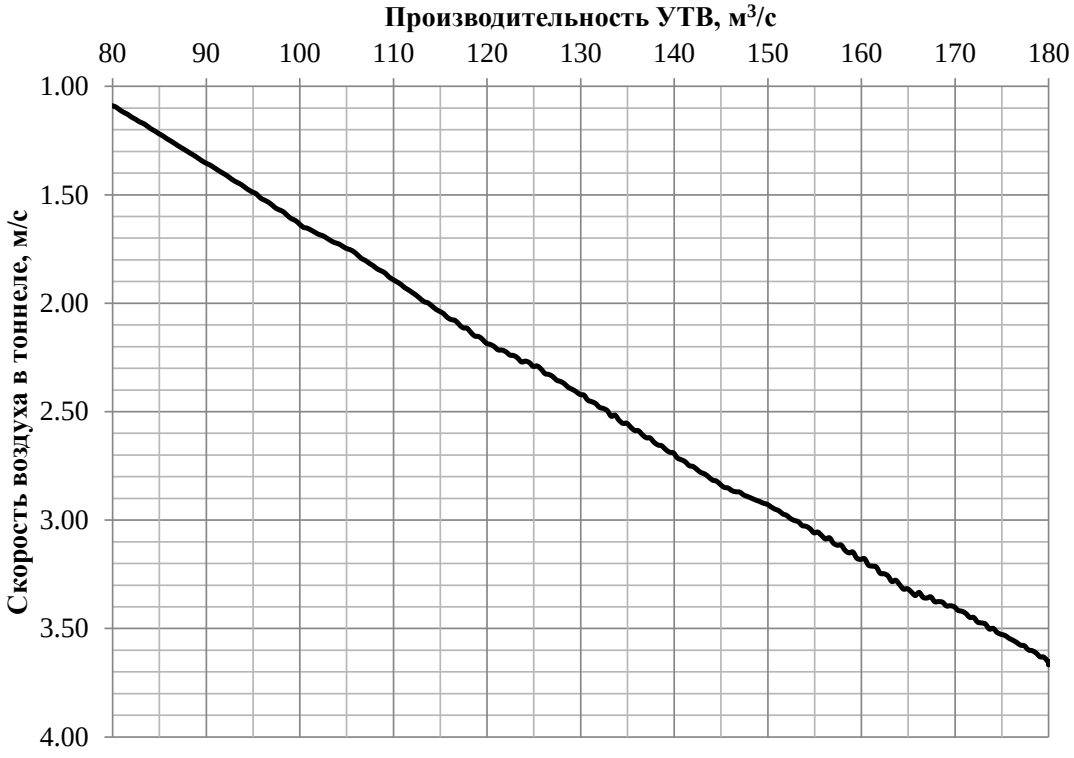


Рисунок В.22 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 50–100 м. Уклон 20 ‰**

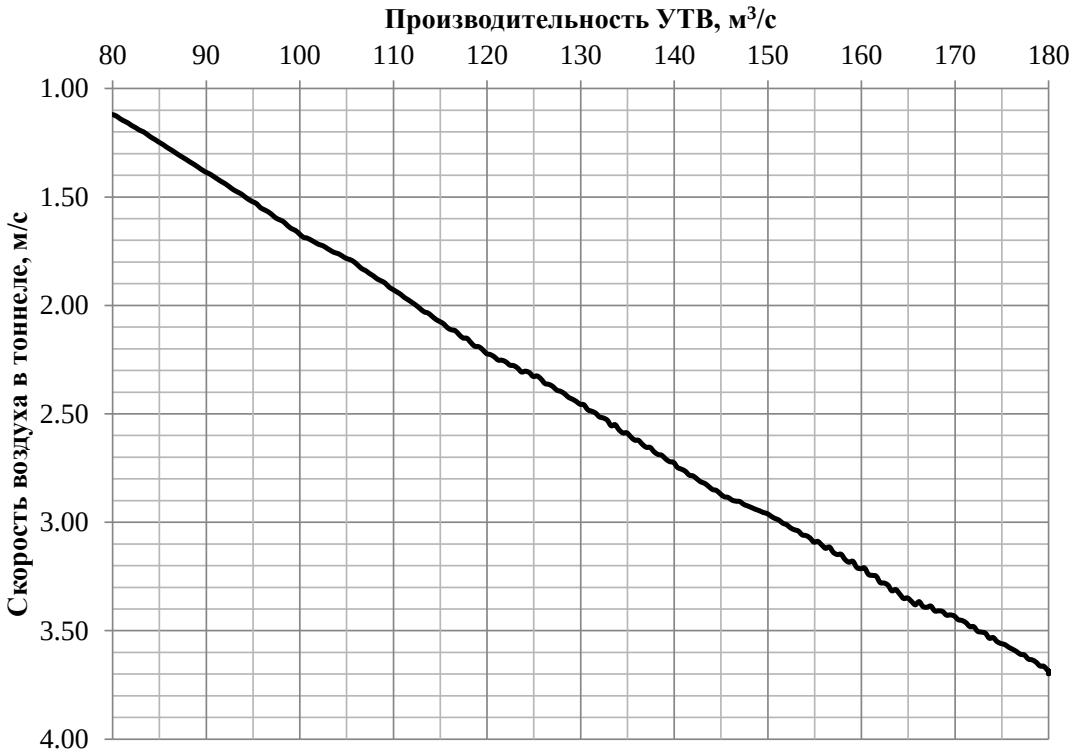


Рисунок В.23 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 100–150 м. Уклон 20 ‰**

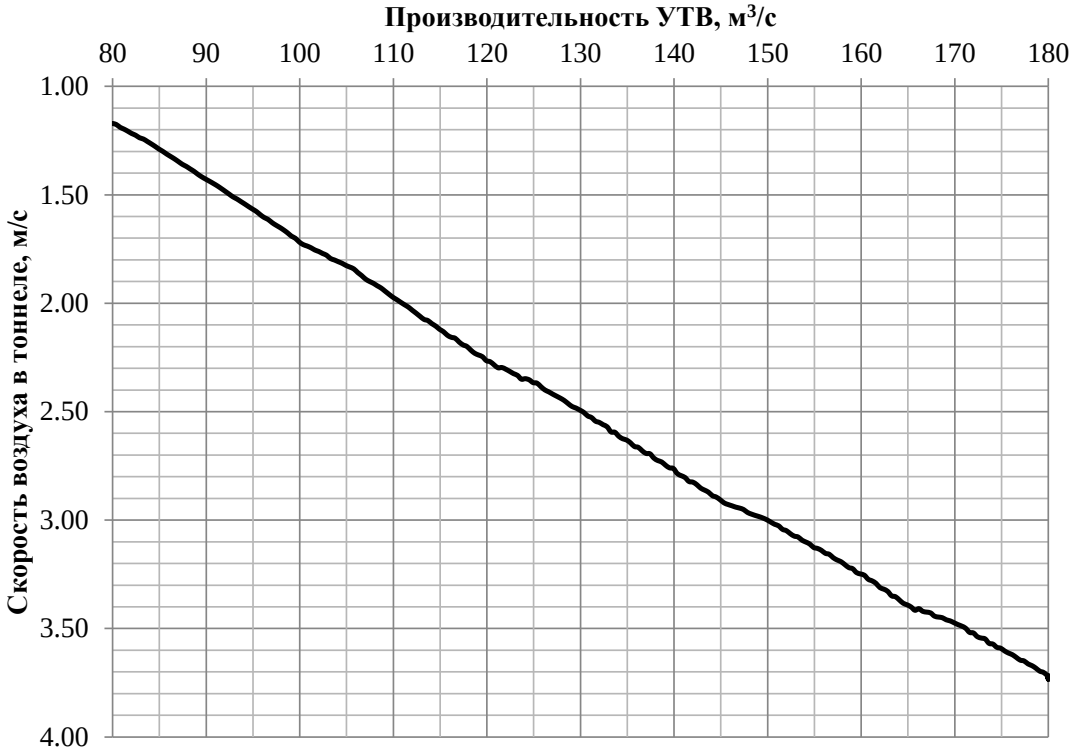


Рисунок В.24 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 150–200 м. Уклон 20 ‰**

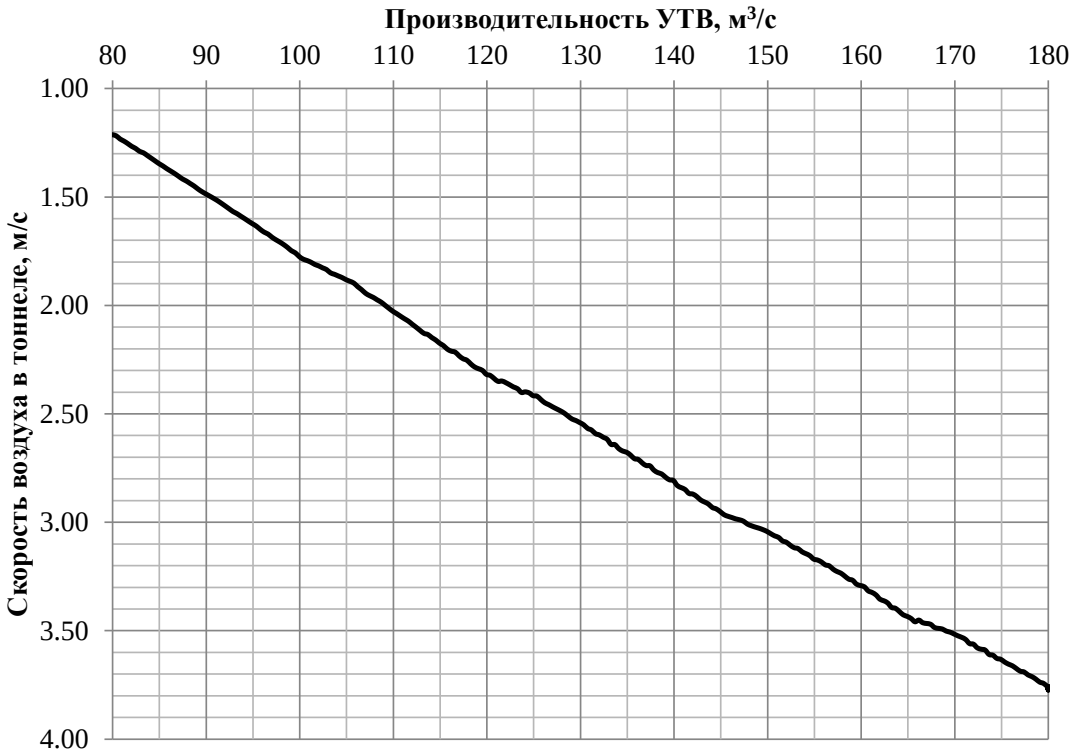


Рисунок В.25 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 200–250 м. Уклон 20 ‰**

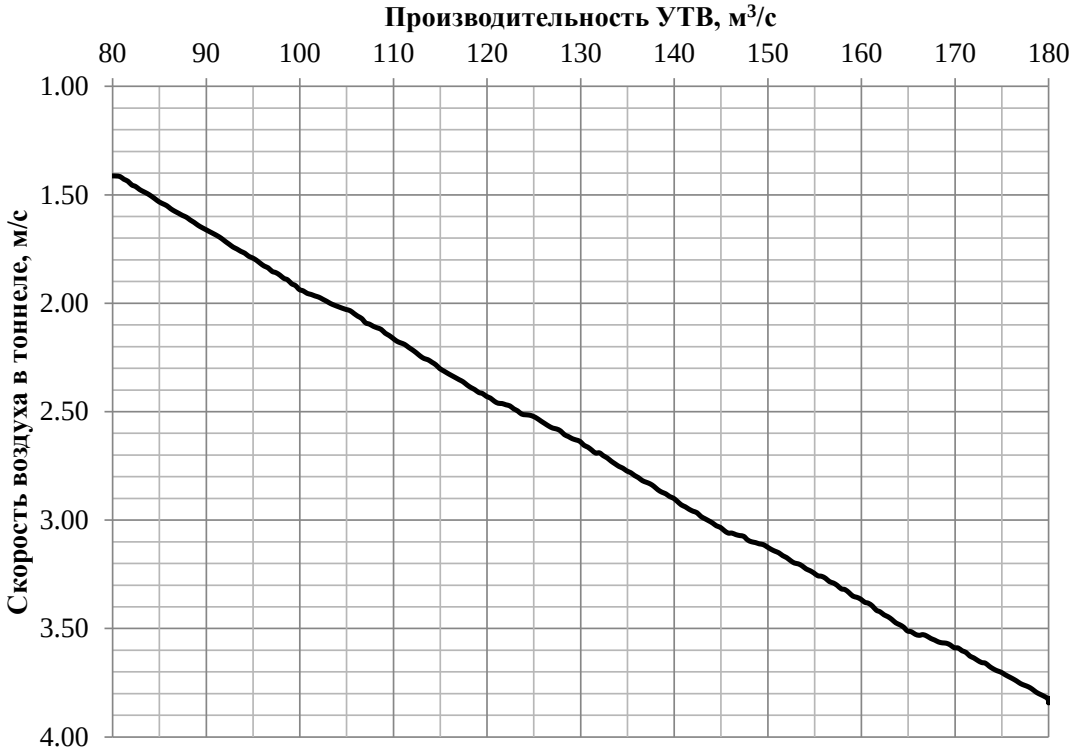


Рисунок В.26 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 250–300 м. Уклон 20 ‰**

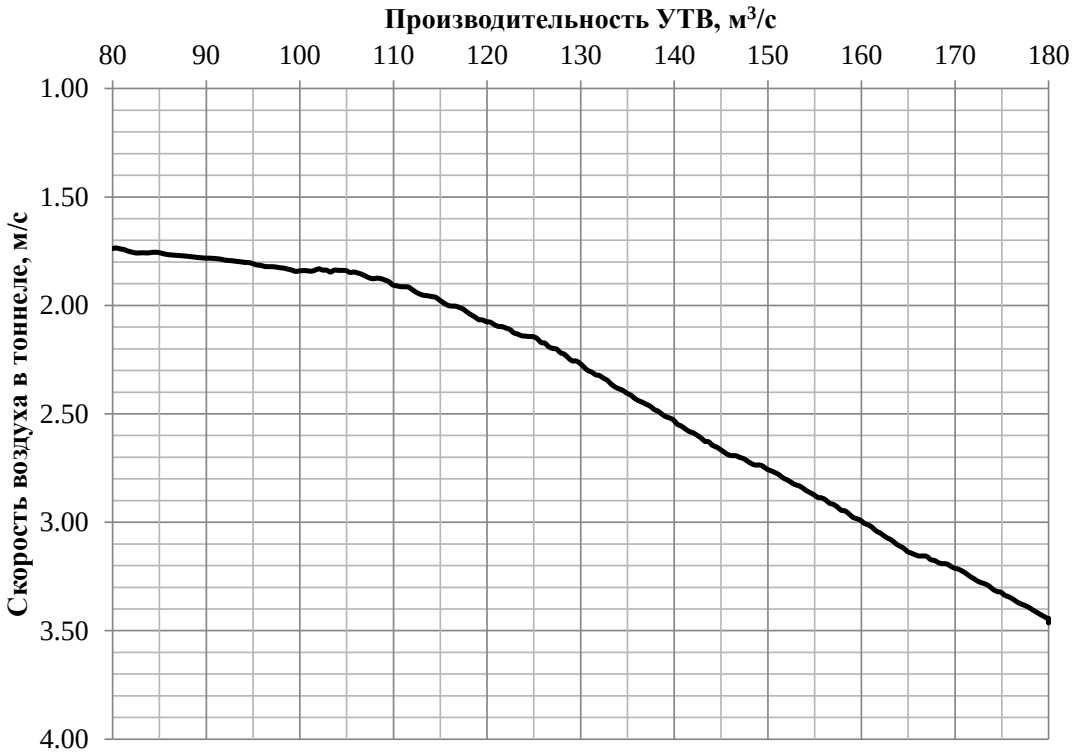


Рисунок В.27 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 300–350 м. Уклон 20 ‰**

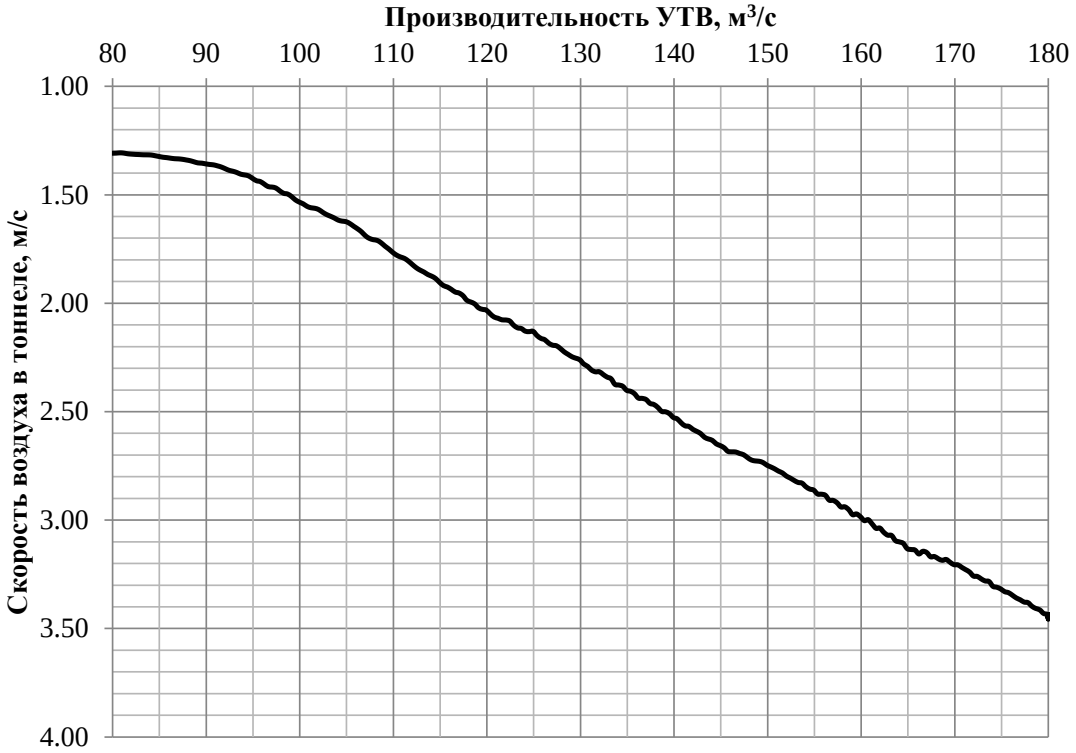


Рисунок В.28 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 350–400 м. Уклон 20 ‰**

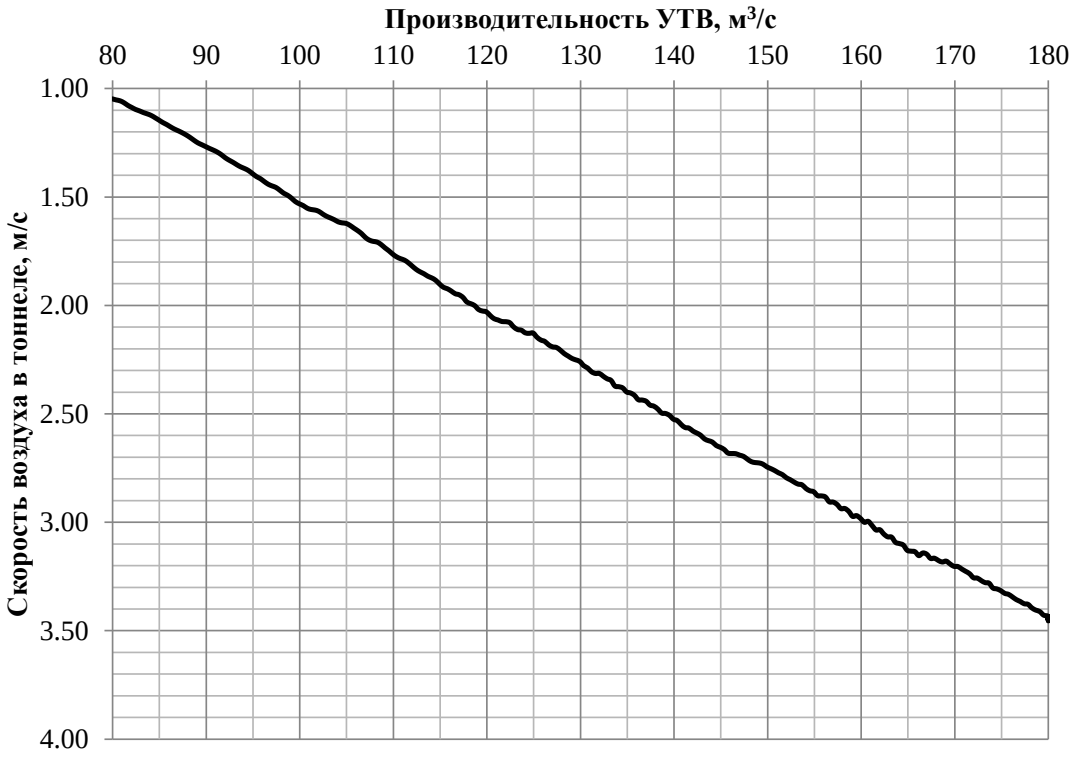


Рисунок В.29 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 400–450 м. Уклон 20 ‰**

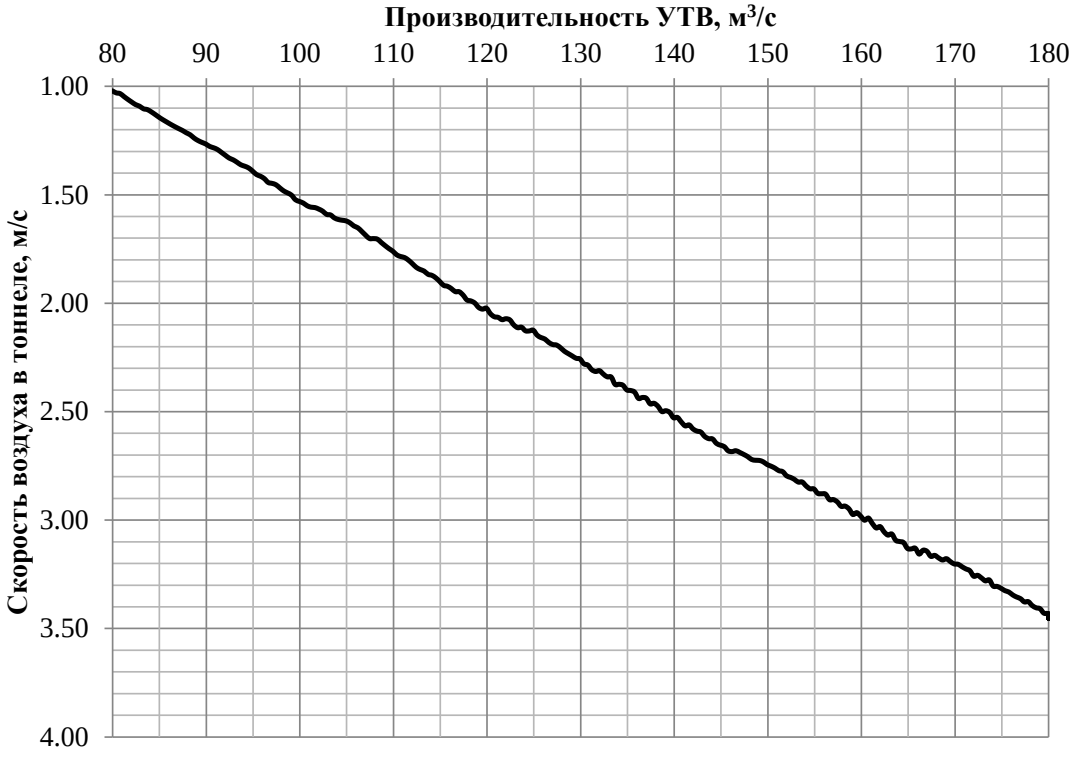


Рисунок В.30 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 450–500 м. Уклон 20 ‰**

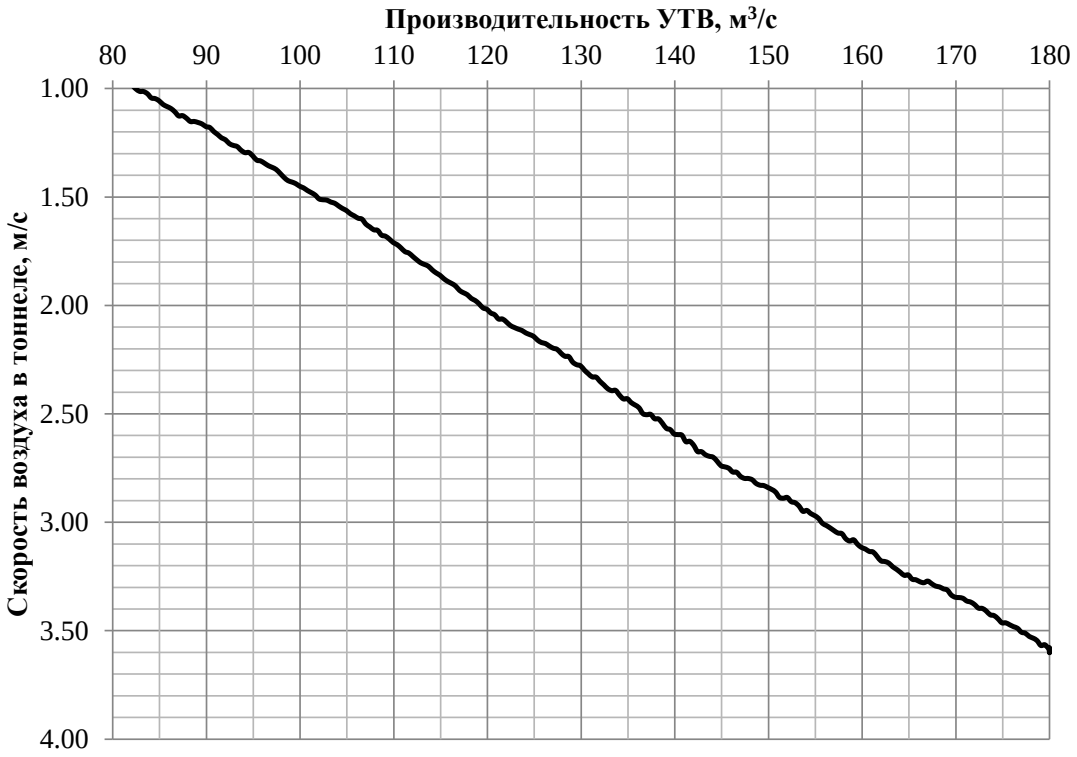


Рисунок В.31 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 0–50 м. Уклон 30 ‰**

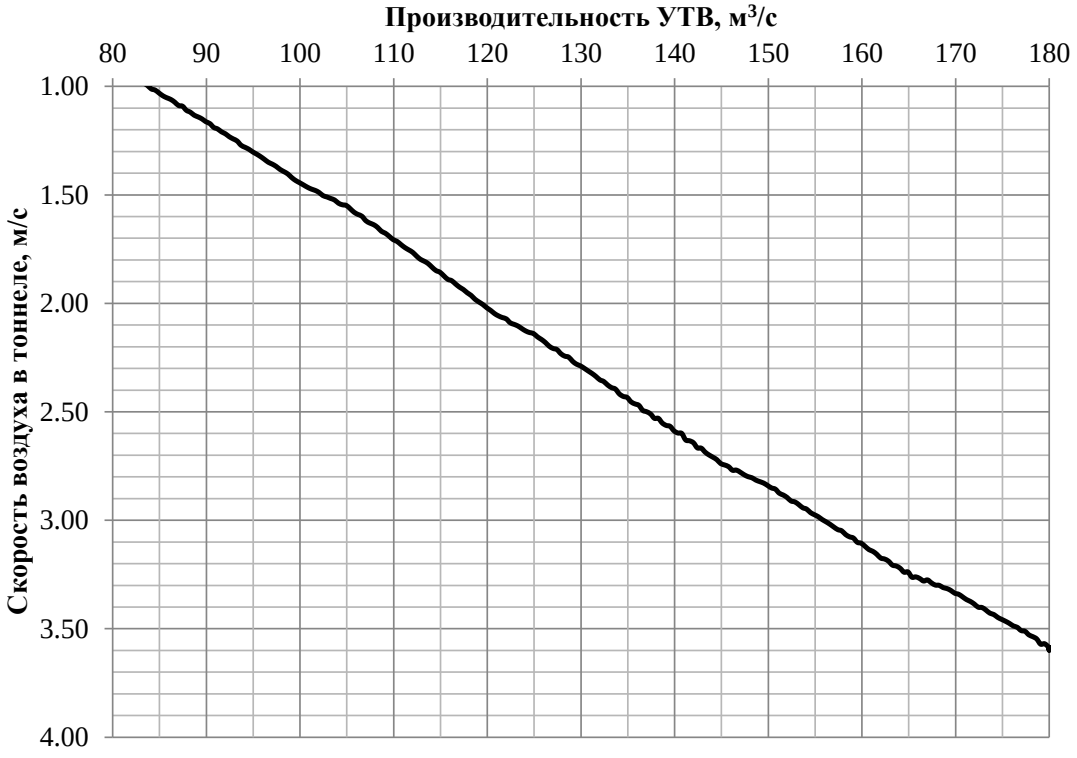


Рисунок В.32 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 50–100 м. Уклон 30 ‰**

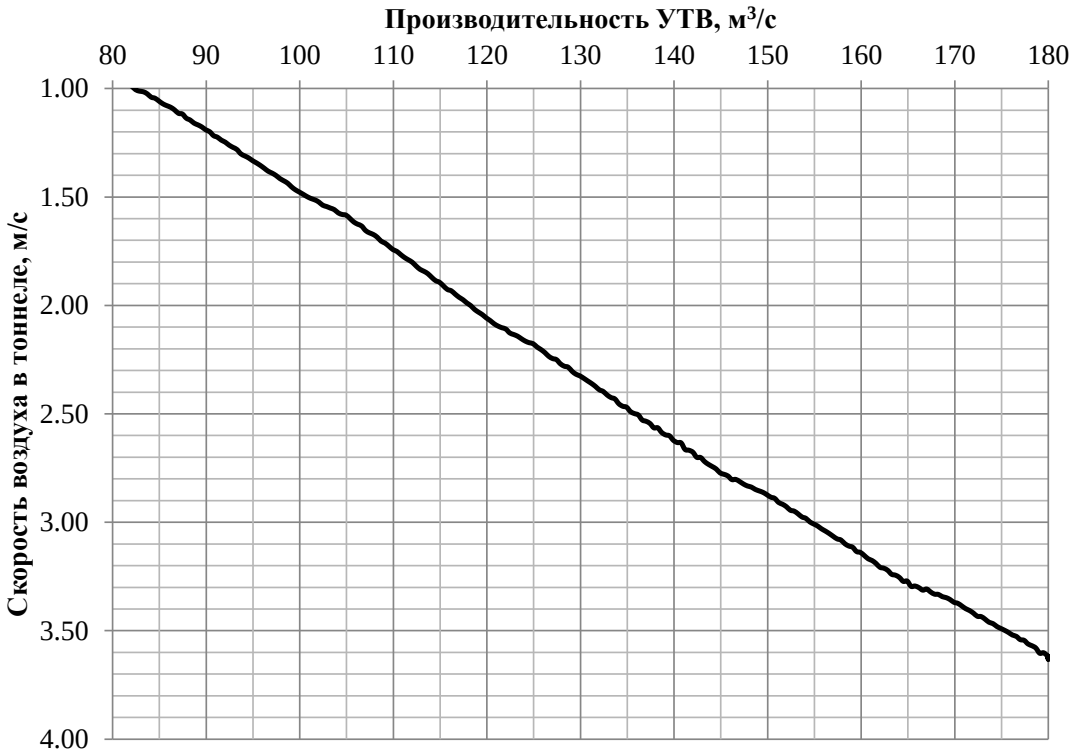


Рисунок В.33 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 100–150 м. Уклон 30 ‰**

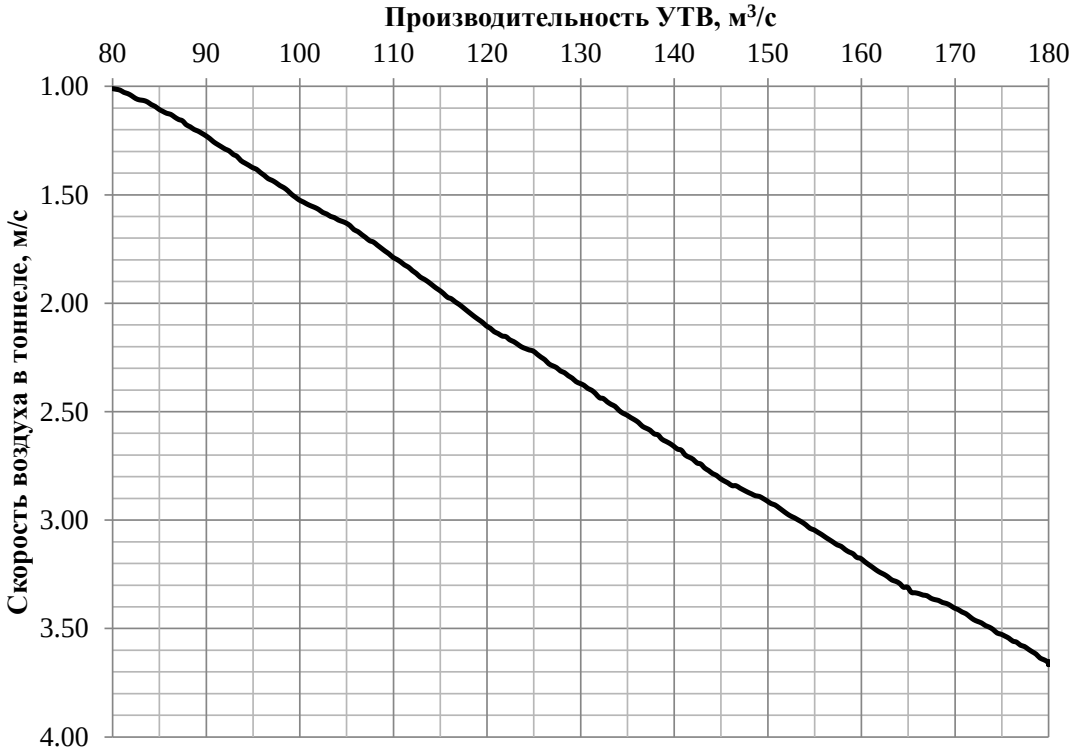


Рисунок В.34 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 150–200 м. Уклон 30 ‰**

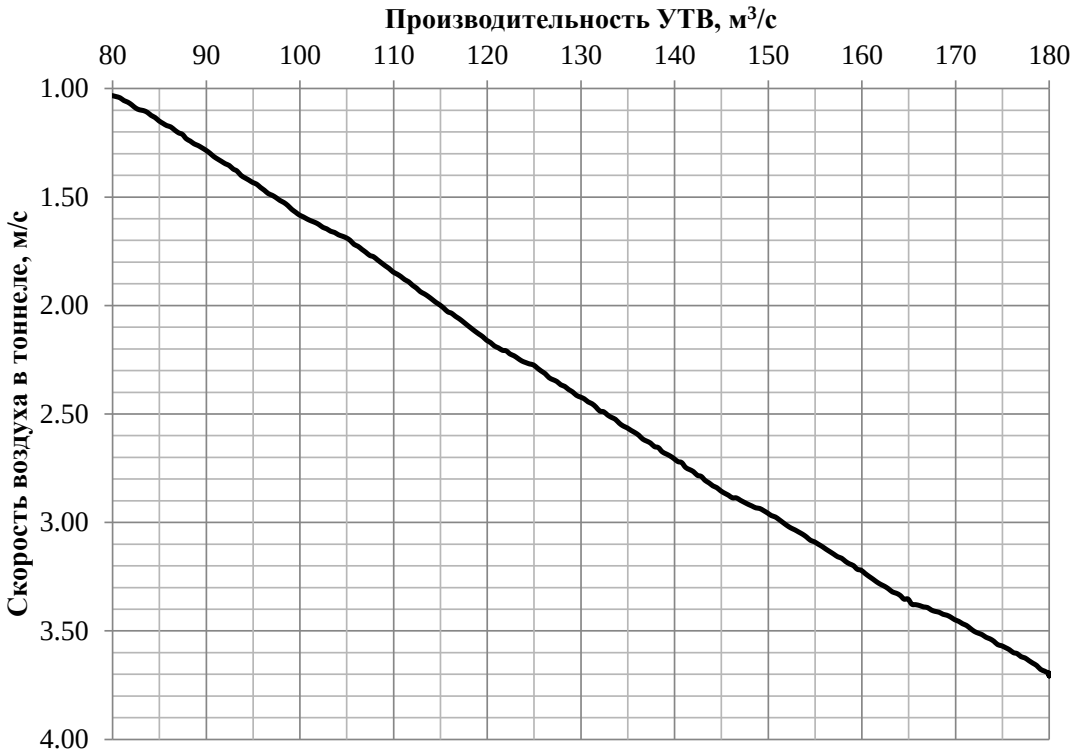


Рисунок В.35 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 200–250 м. Уклон 30 ‰**

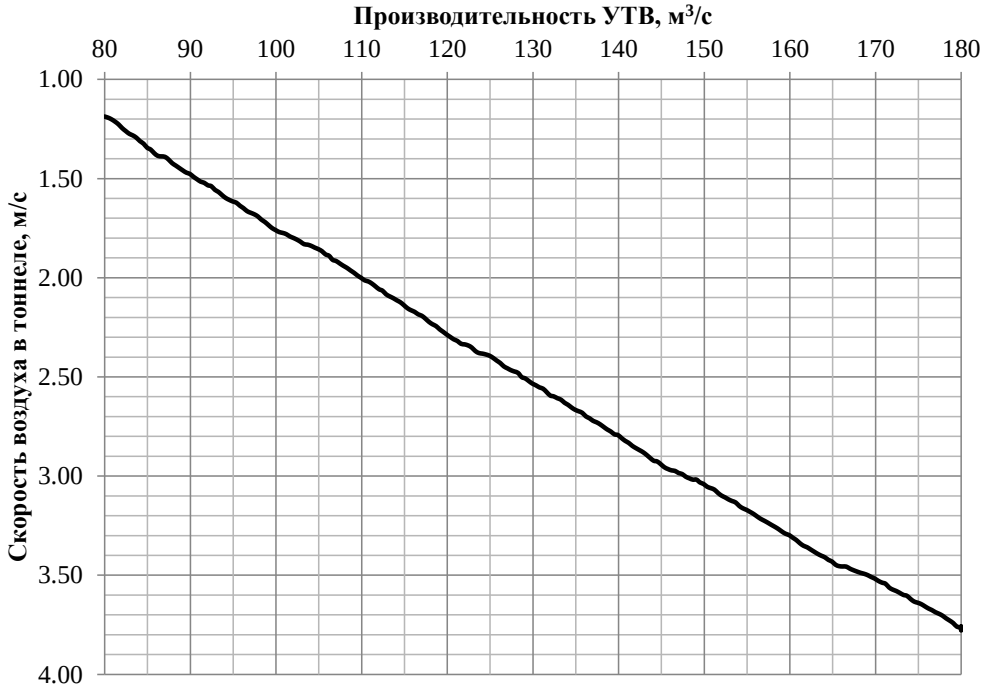


Рисунок В.36 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 250–300 м. Уклон 30 ‰**

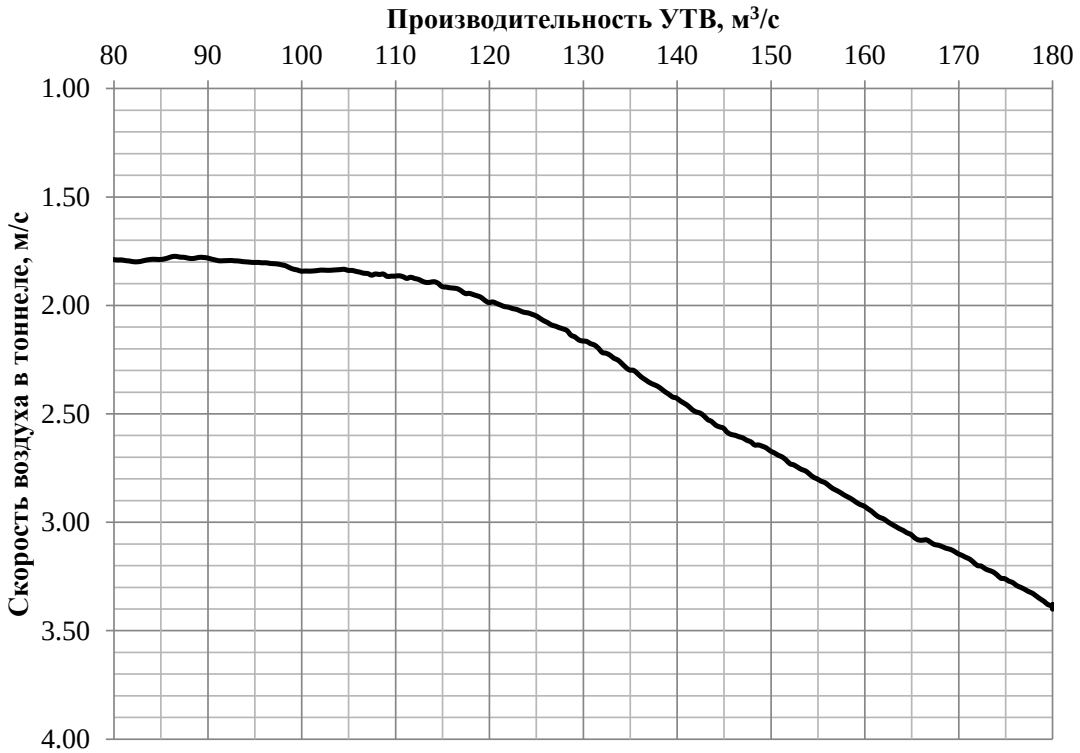


Рисунок В.37 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 300–350 м. Уклон 30 ‰**

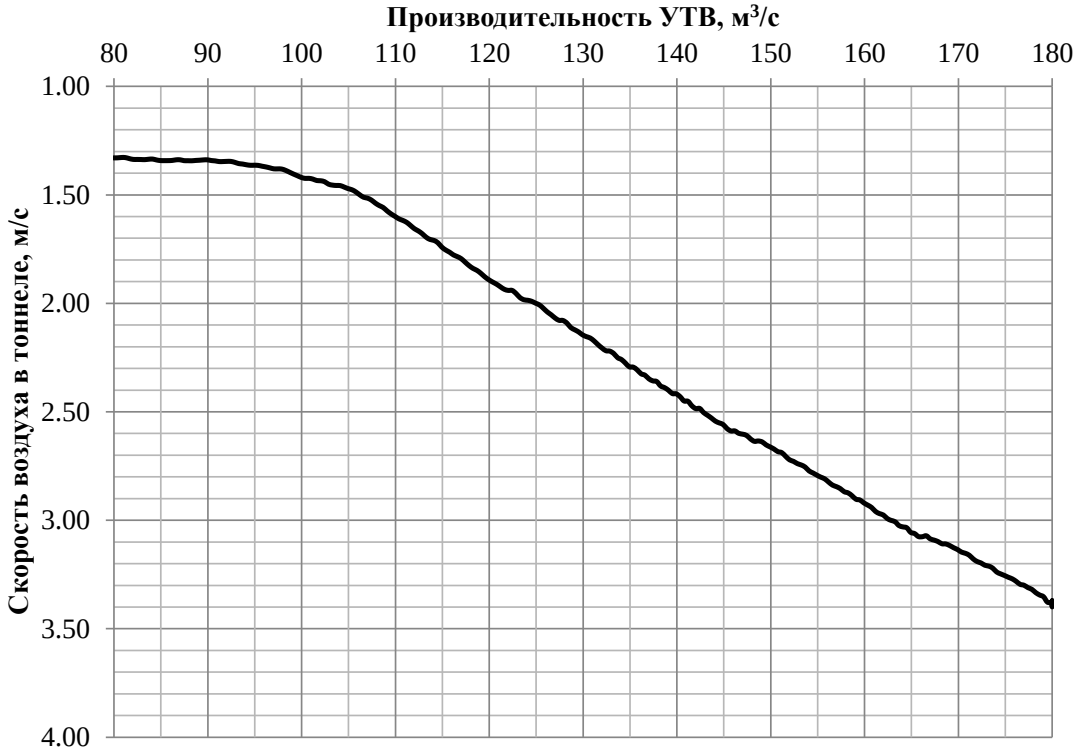


Рисунок В.38 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 350–400 м. Уклон 30 ‰**

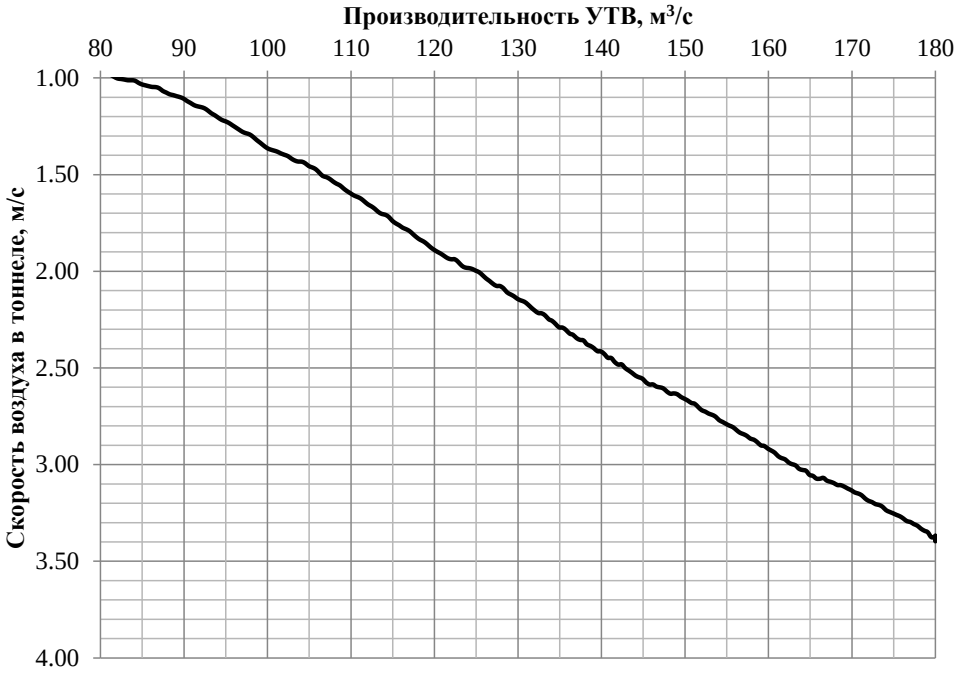


Рисунок В.39 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 400–450 м. Уклон 30 ‰**

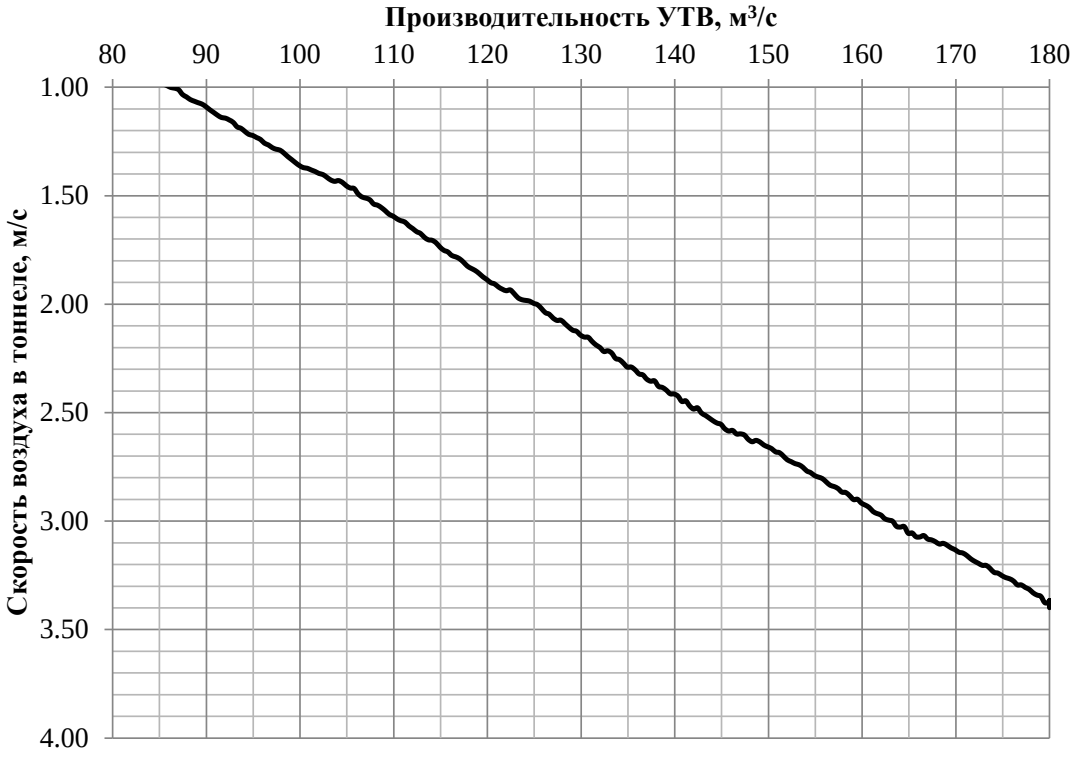


Рисунок В.40 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 450–500 м. Уклон 30 ‰**

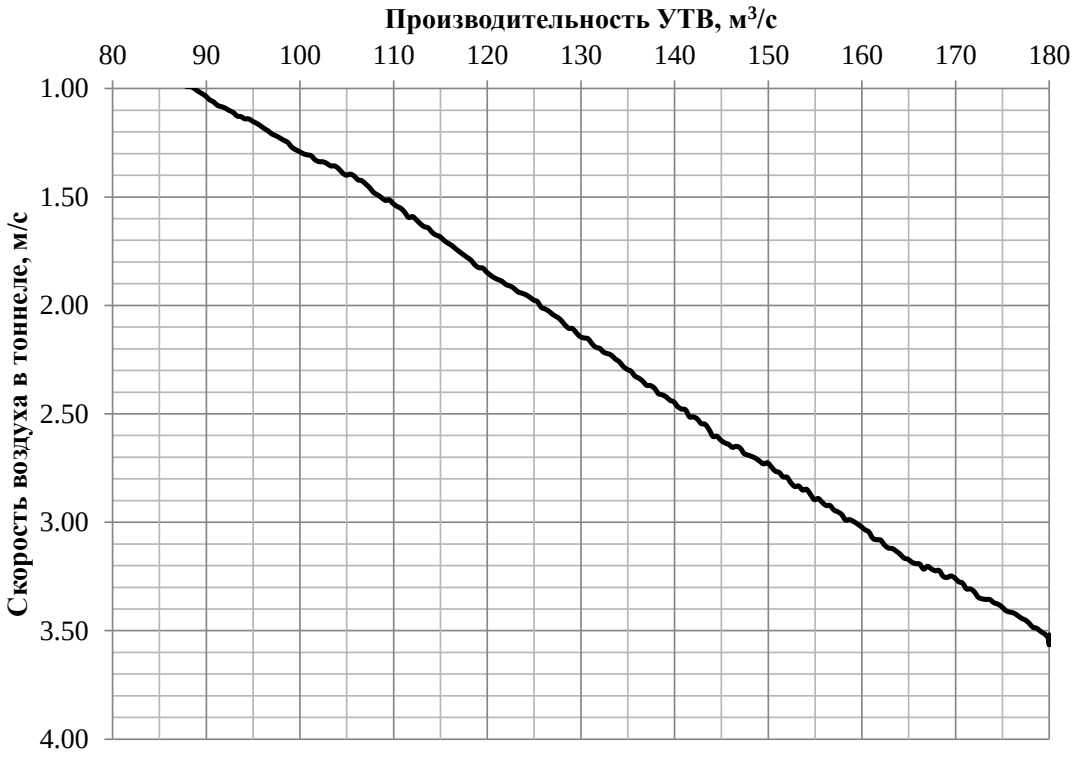


Рисунок В.41 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 0–50 м. Уклон 40 ‰**

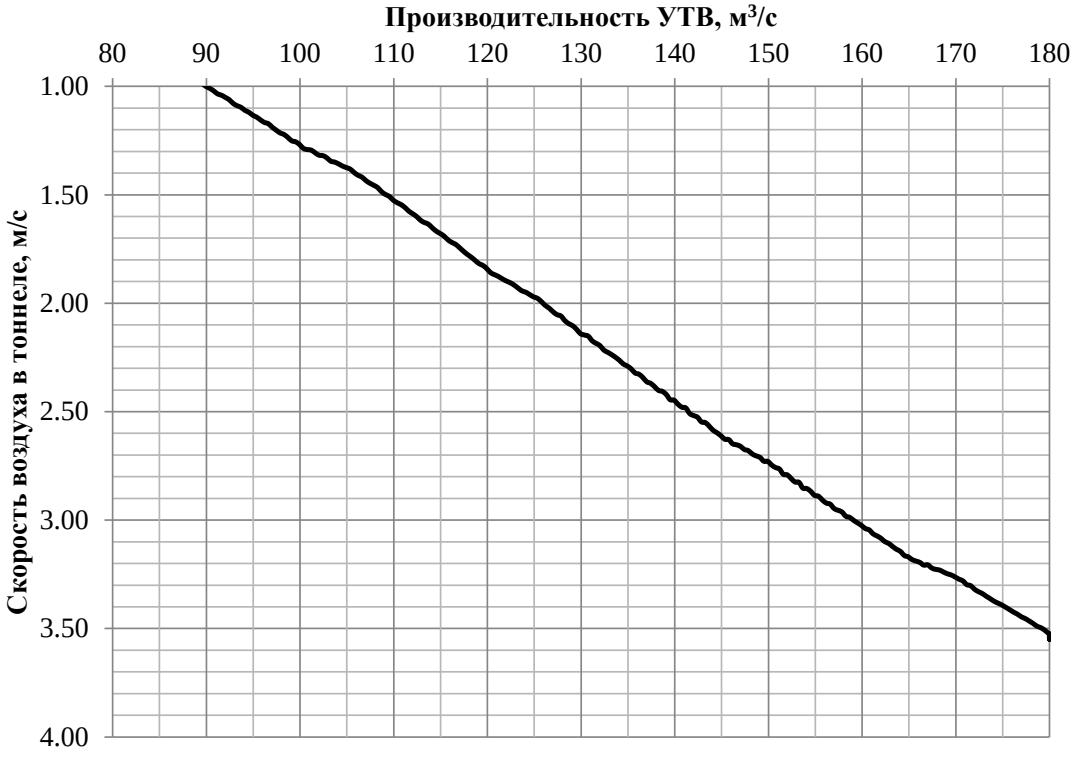


Рисунок В.42 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 50–100 м. Уклон 40 ‰**

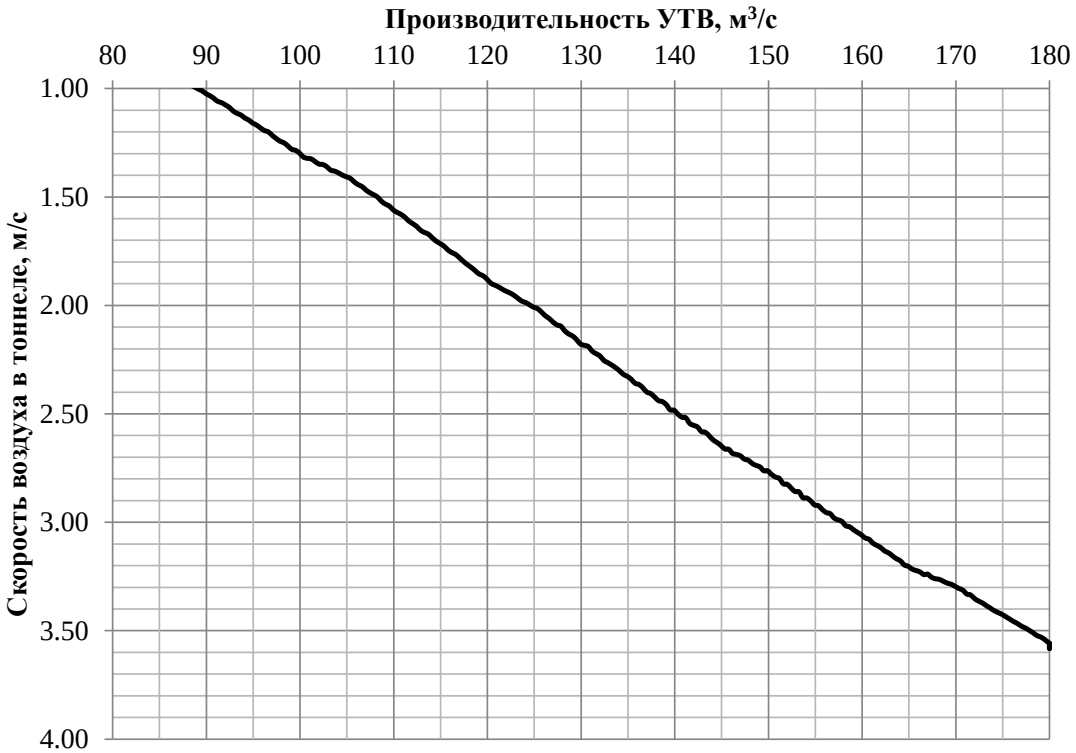


Рисунок В.43 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 100–150 м. Уклон 40 ‰**

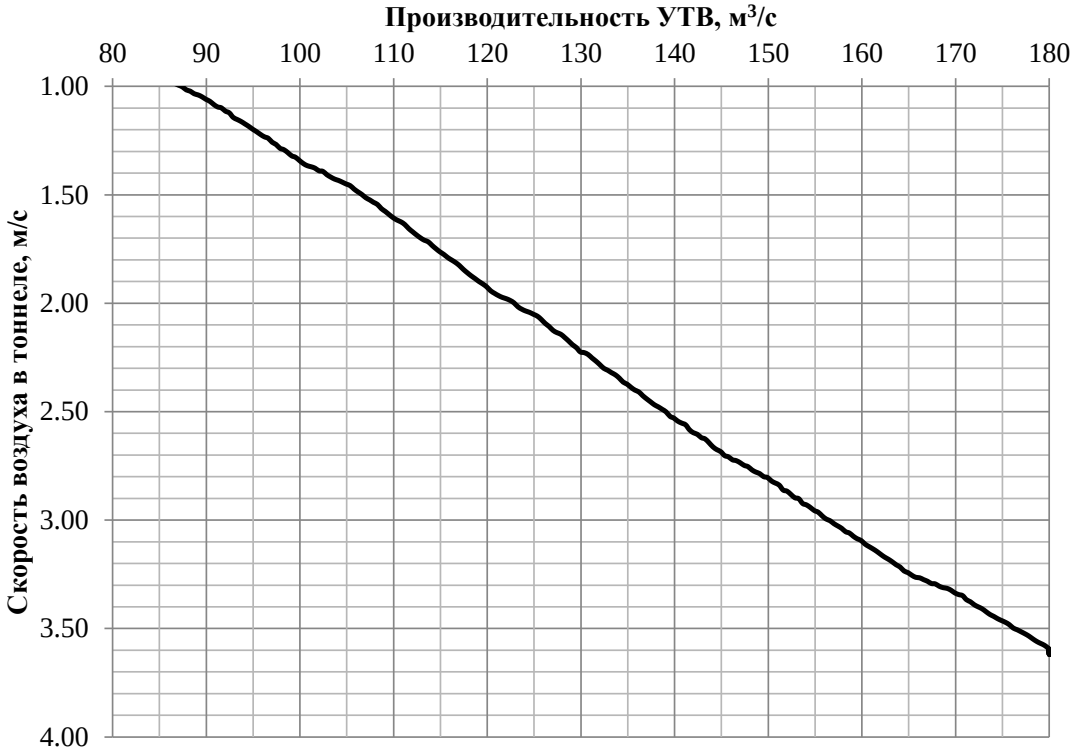


Рисунок В.44 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 150–200 м. Уклон 40 ‰**

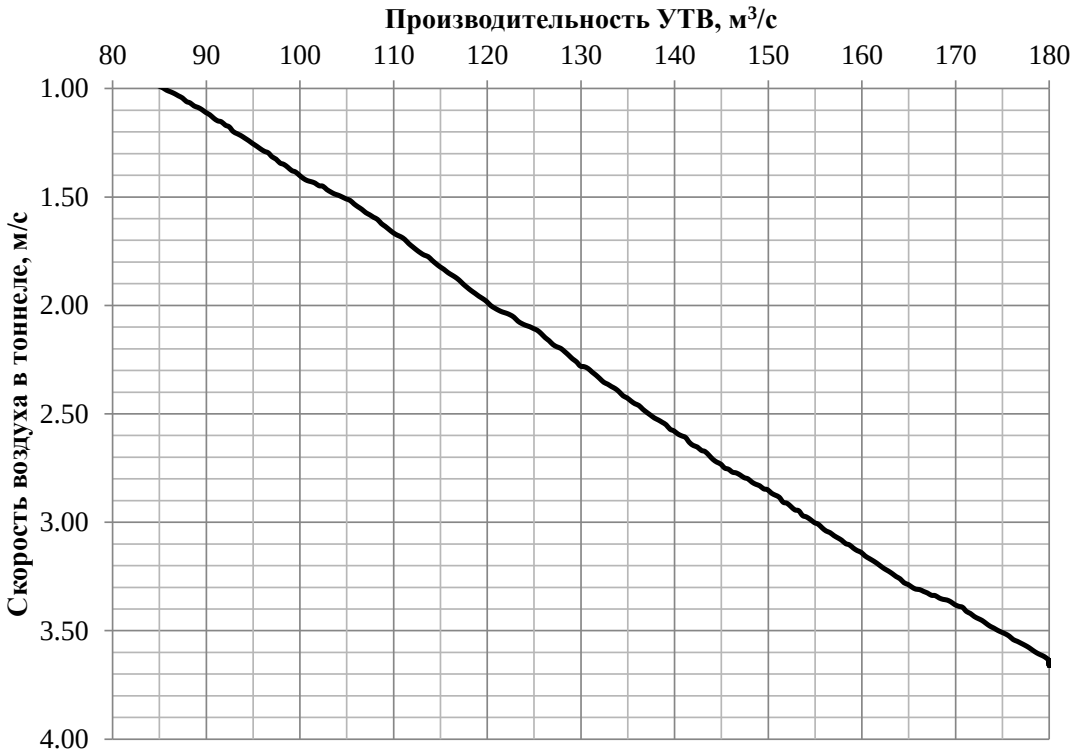


Рисунок В.45 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 200–250 м. Уклон 40 ‰**

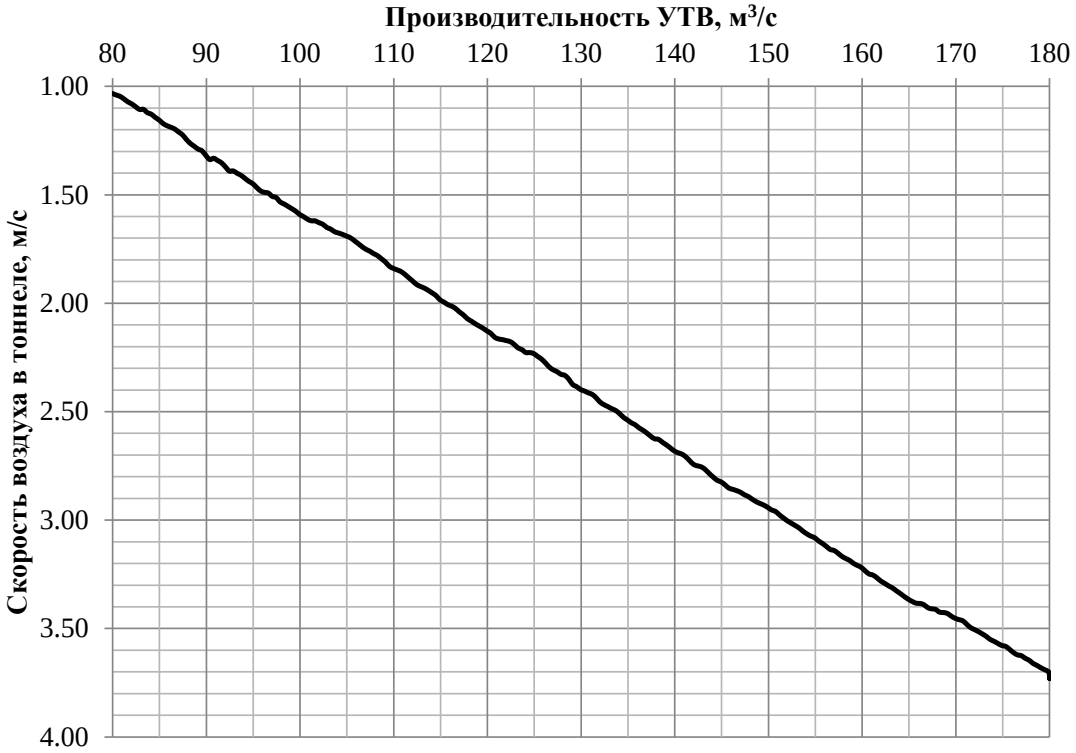


Рисунок В.46 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 250–300 м. Уклон 40** ‰

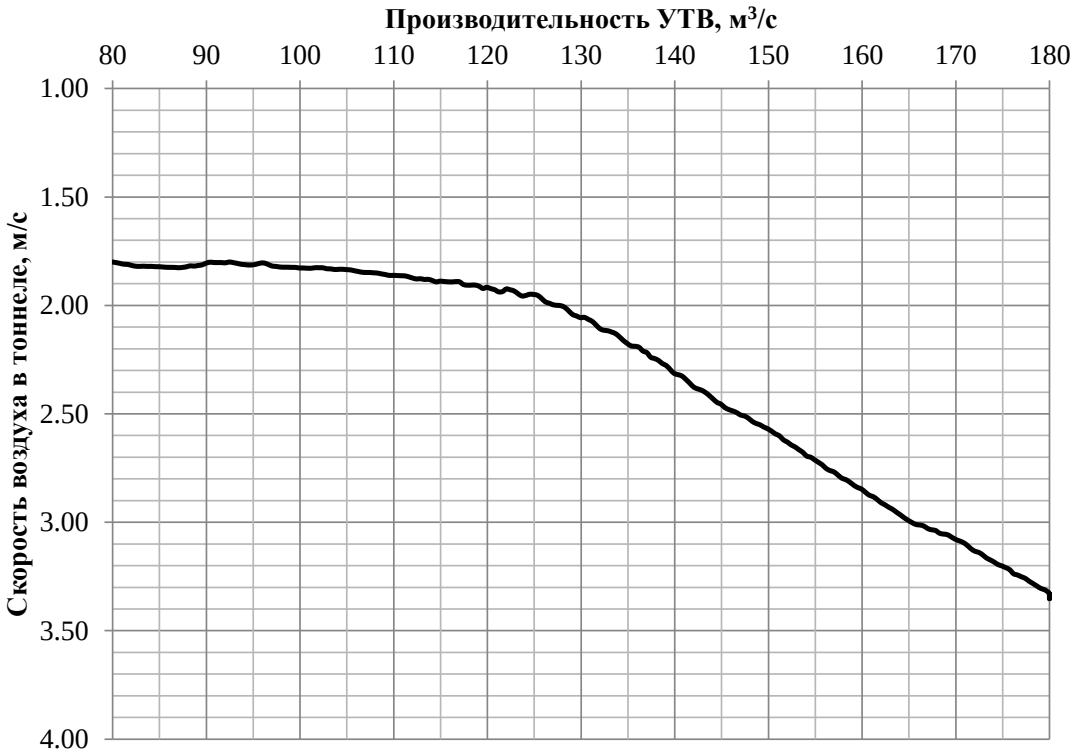


Рисунок В.47 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 300–350 м. Уклон 40 ‰**

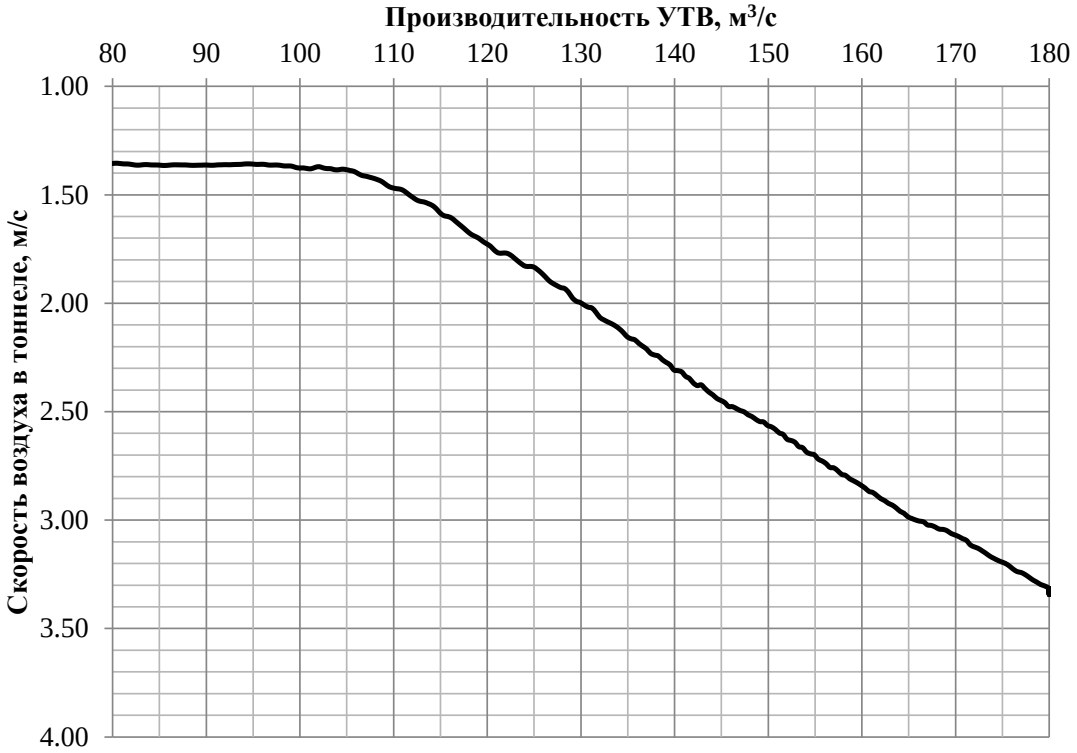


Рисунок В.48 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 350–400 м. Уклон 40 ‰**

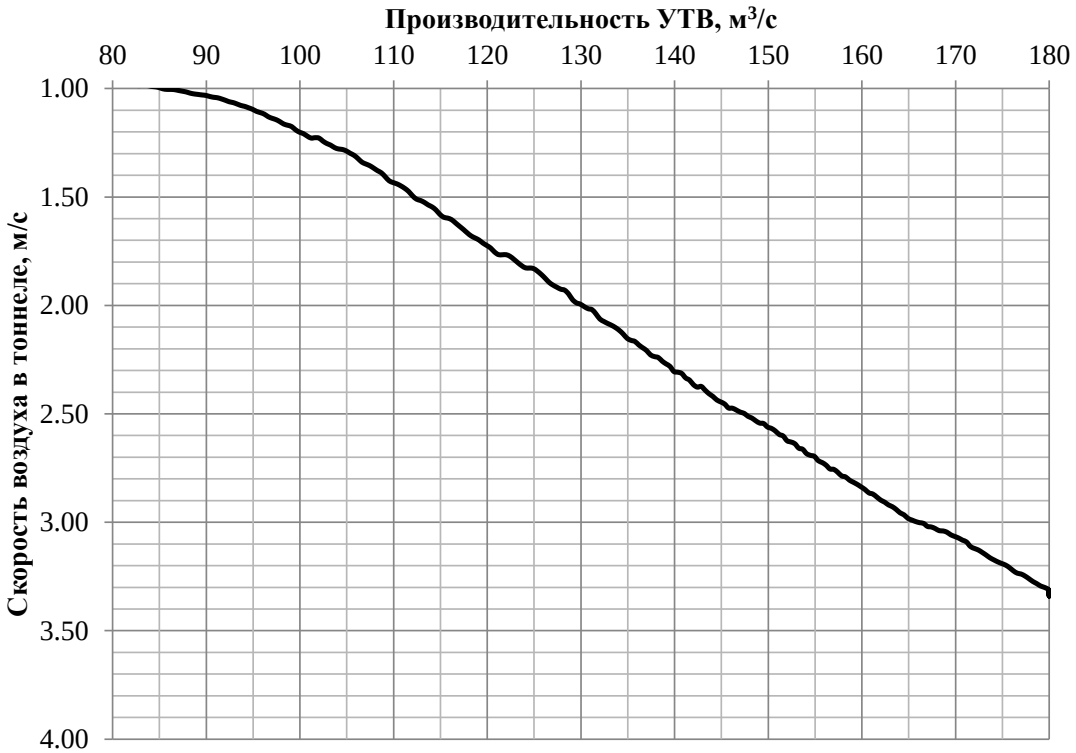


Рисунок В.49 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 400–450 м. Уклон 40 ‰**

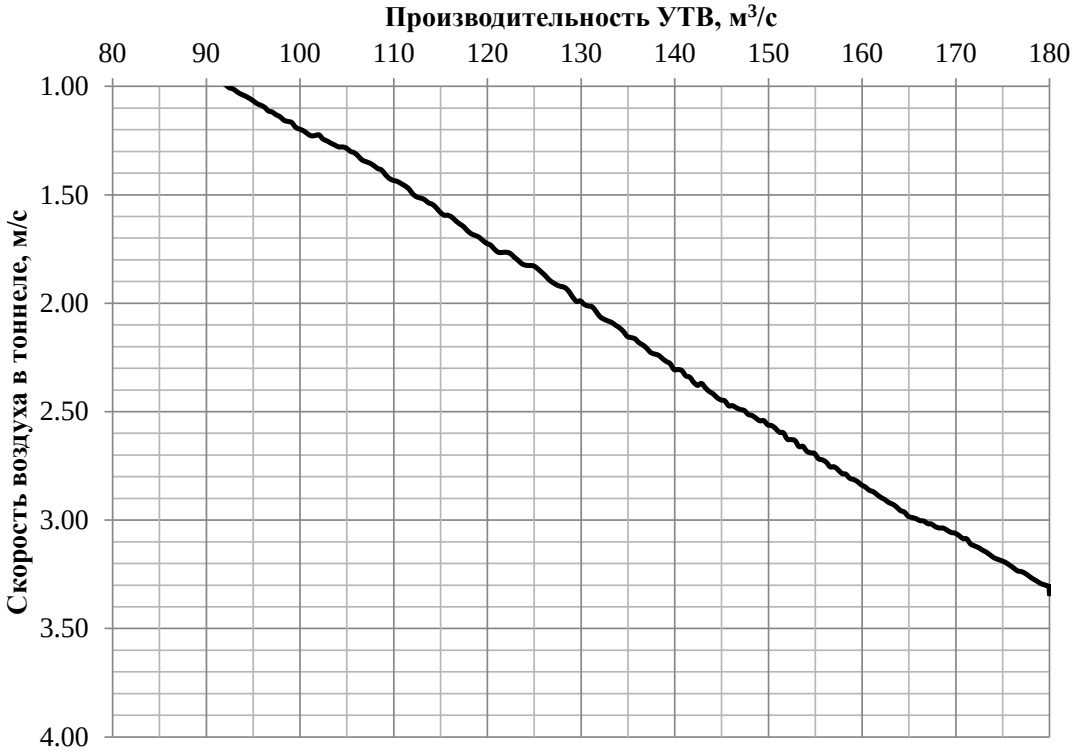


Рисунок В.50 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 450–500 м. Уклон 40 ‰**

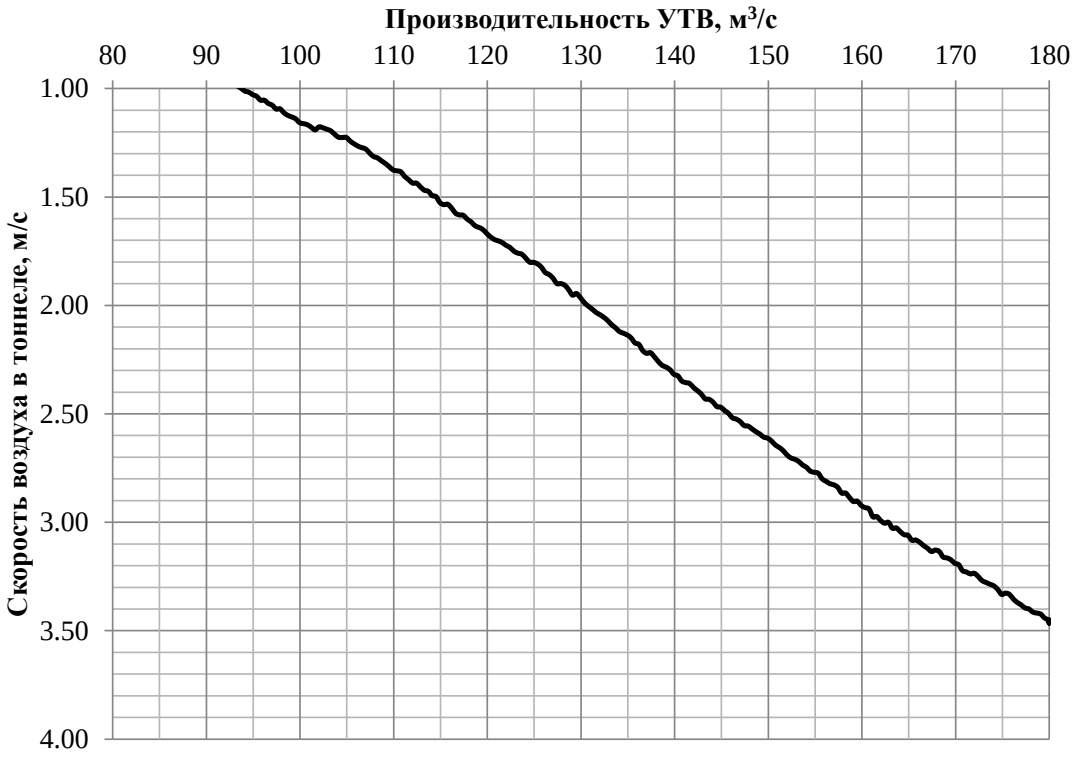


Рисунок В.51 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 0–50 м. Уклон 50 ‰**

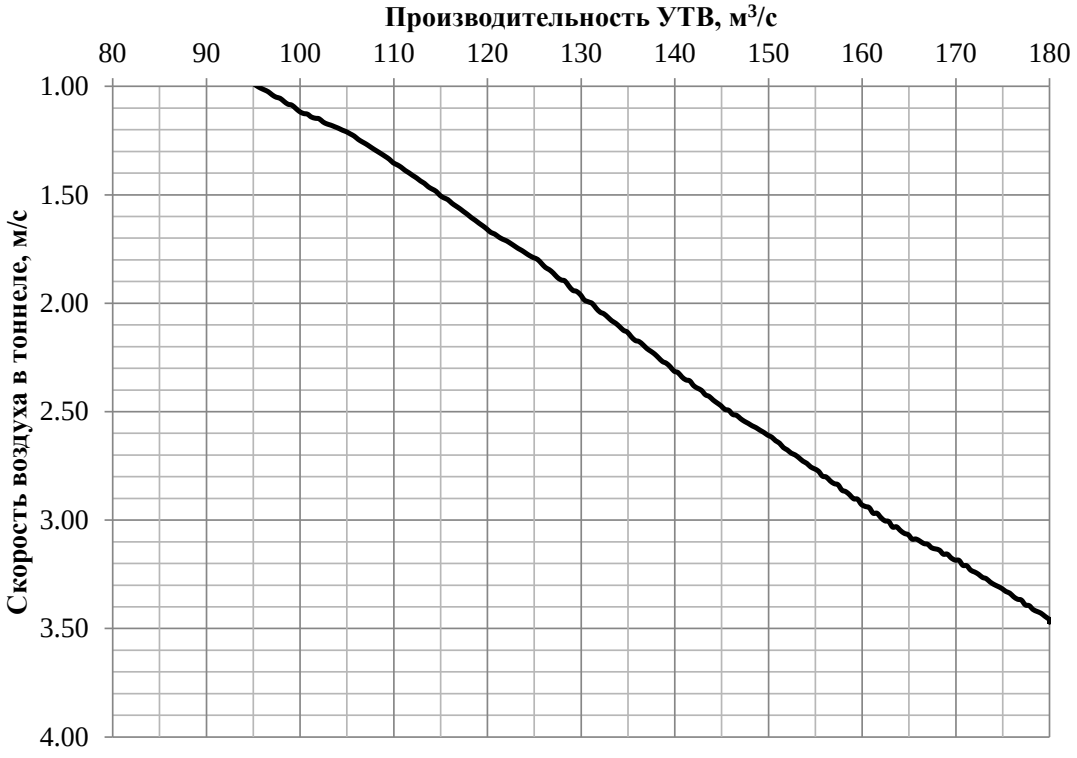


Рисунок В.52 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 50–100 м. Уклон 50 ‰**

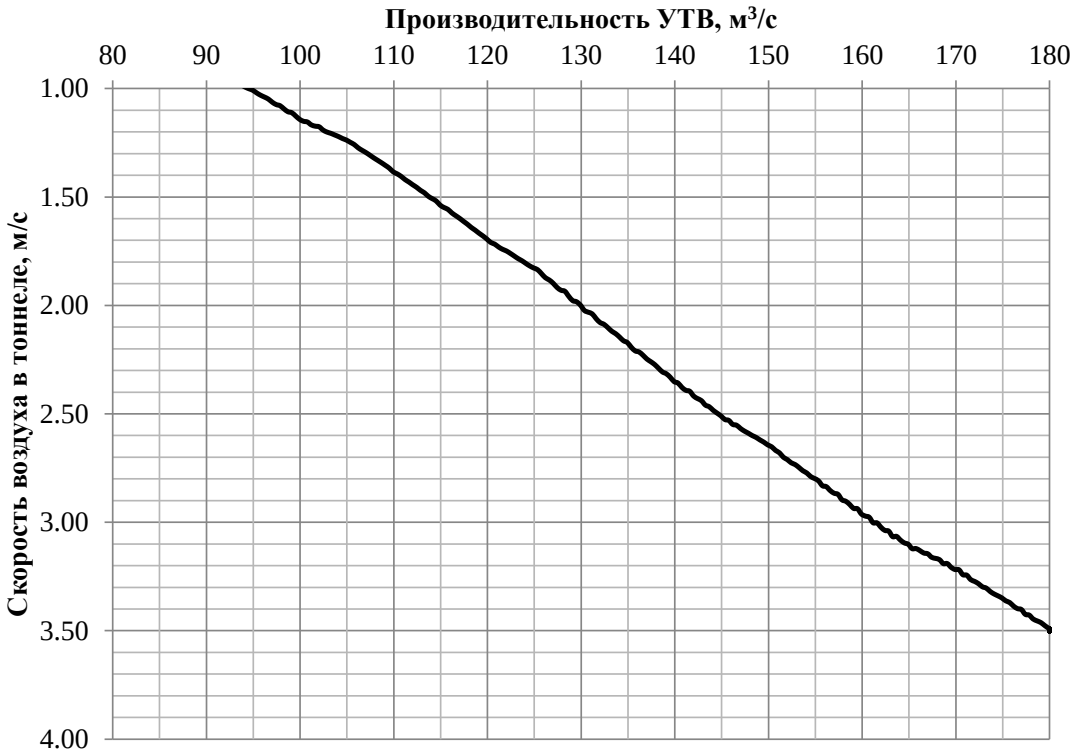


Рисунок В.53 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 100–150 м. Уклон 50 ‰**

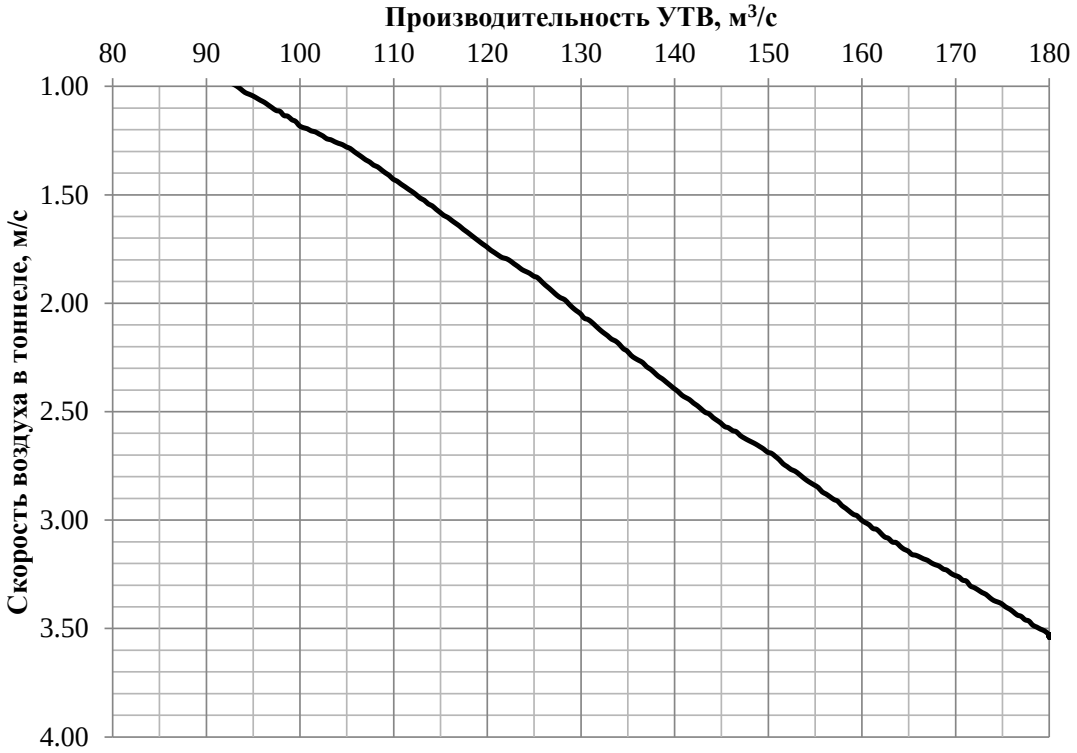


Рисунок В.54 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 150–200 м. Уклон 50 ‰**

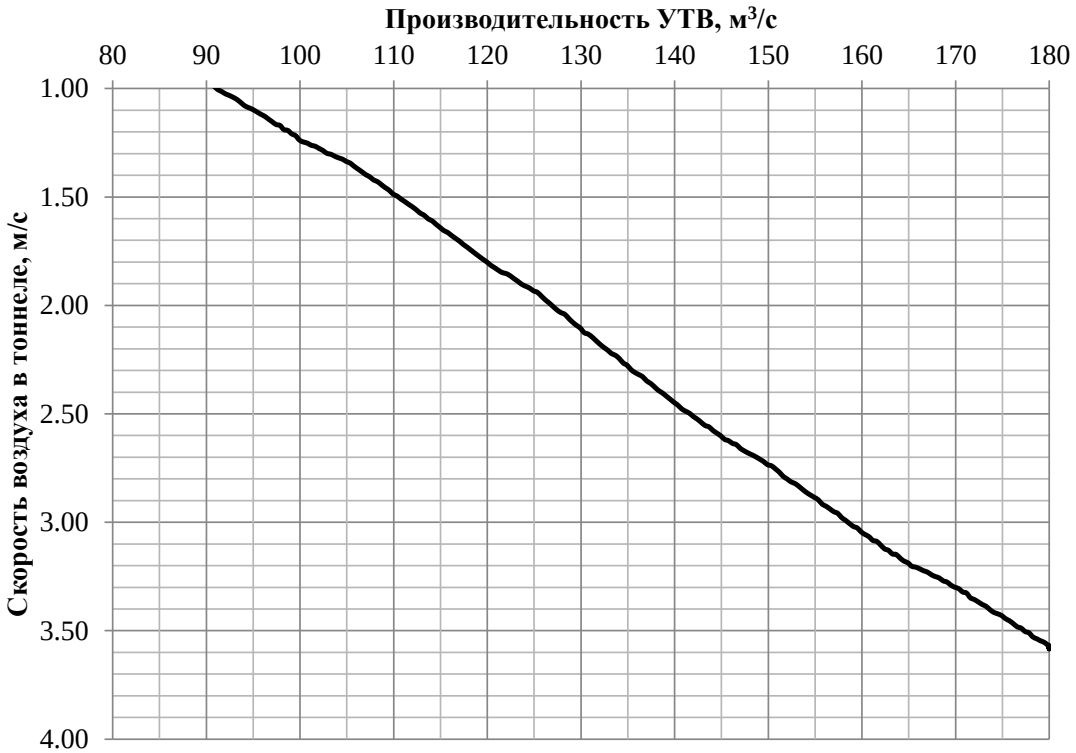


Рисунок В.55 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 200–250 м. Уклон 50 ‰**

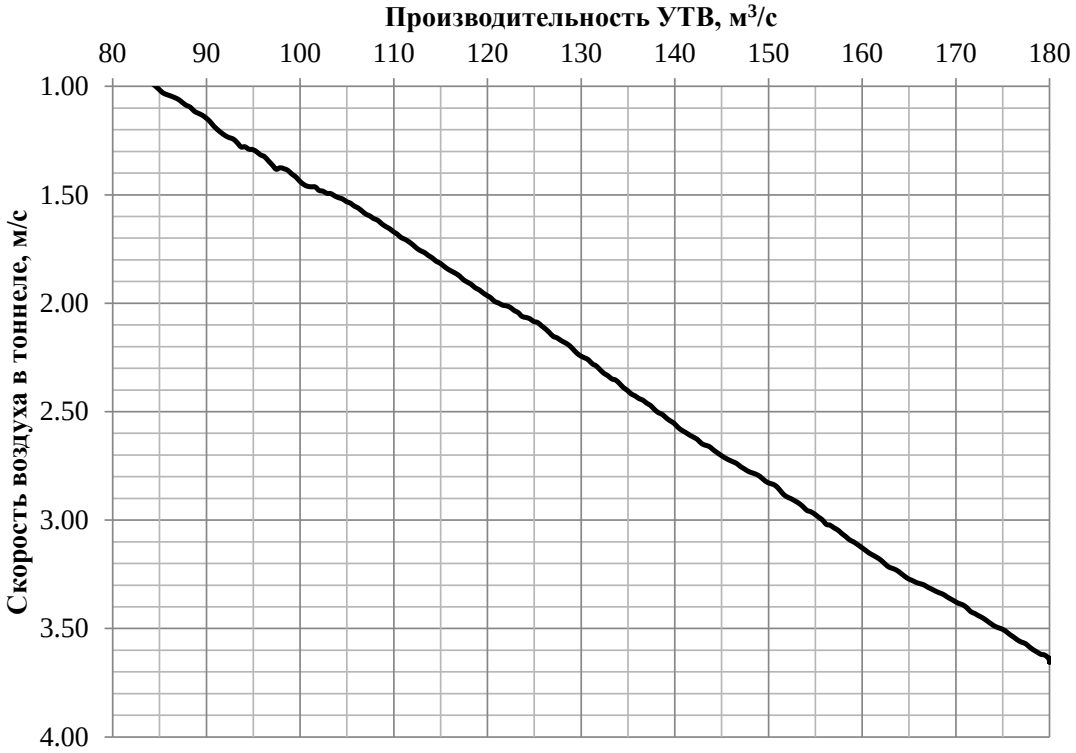


Рисунок В.56 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 250–300 м. Уклон 50 ‰**

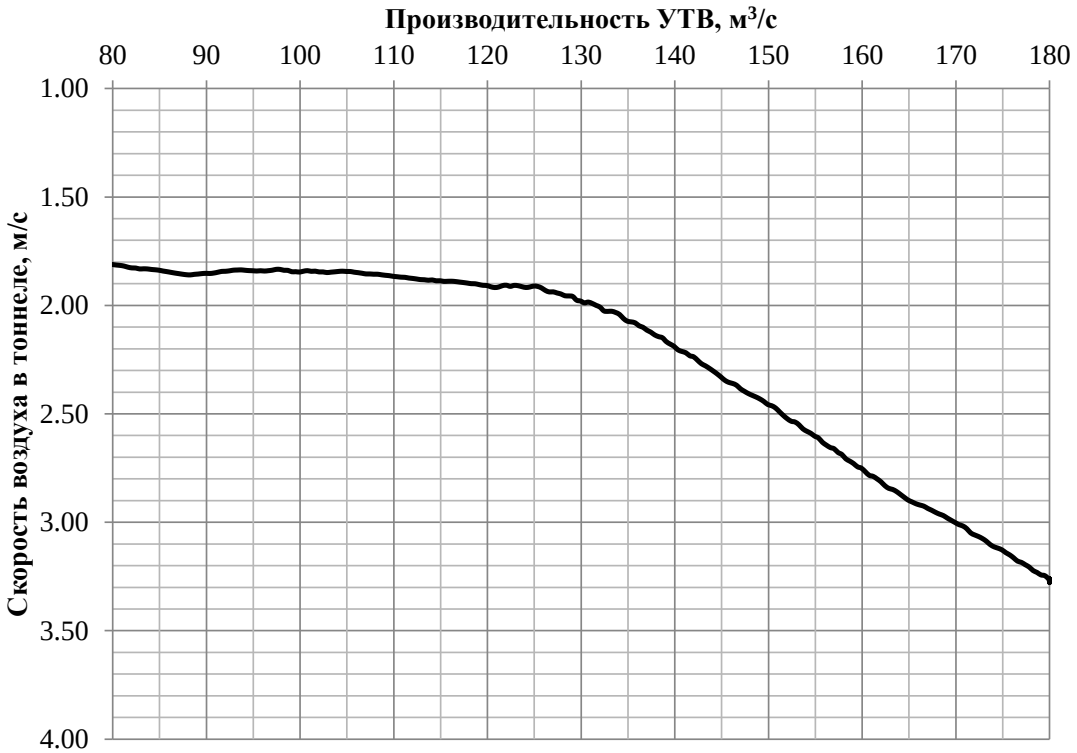


Рисунок В.57 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 300–350 м. Уклон 50 ‰**

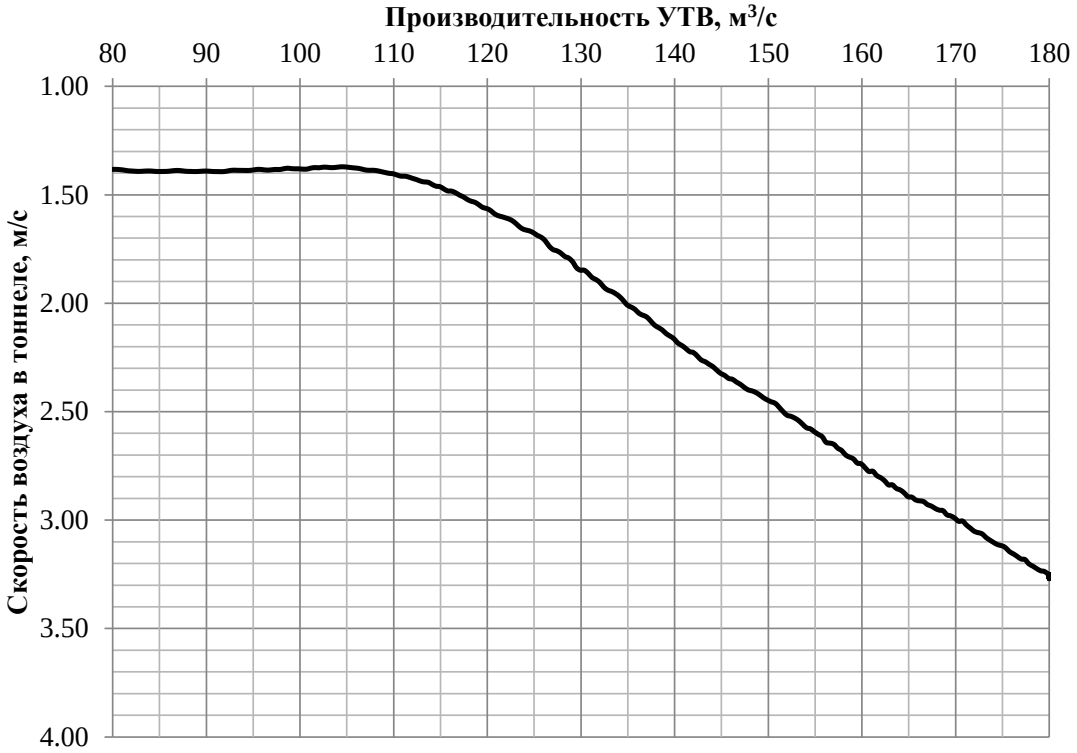


Рисунок В.58 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 350–400 м. Уклон 50 ‰**

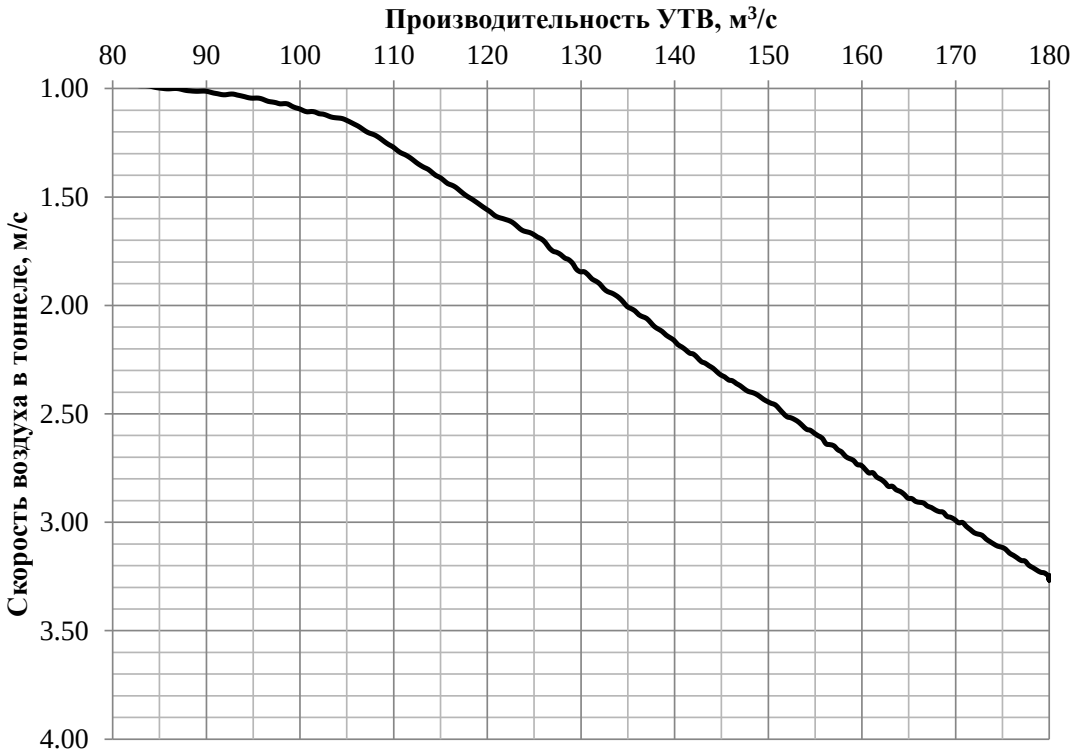


Рисунок В.59 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 400–450 м. Уклон 50 ‰**

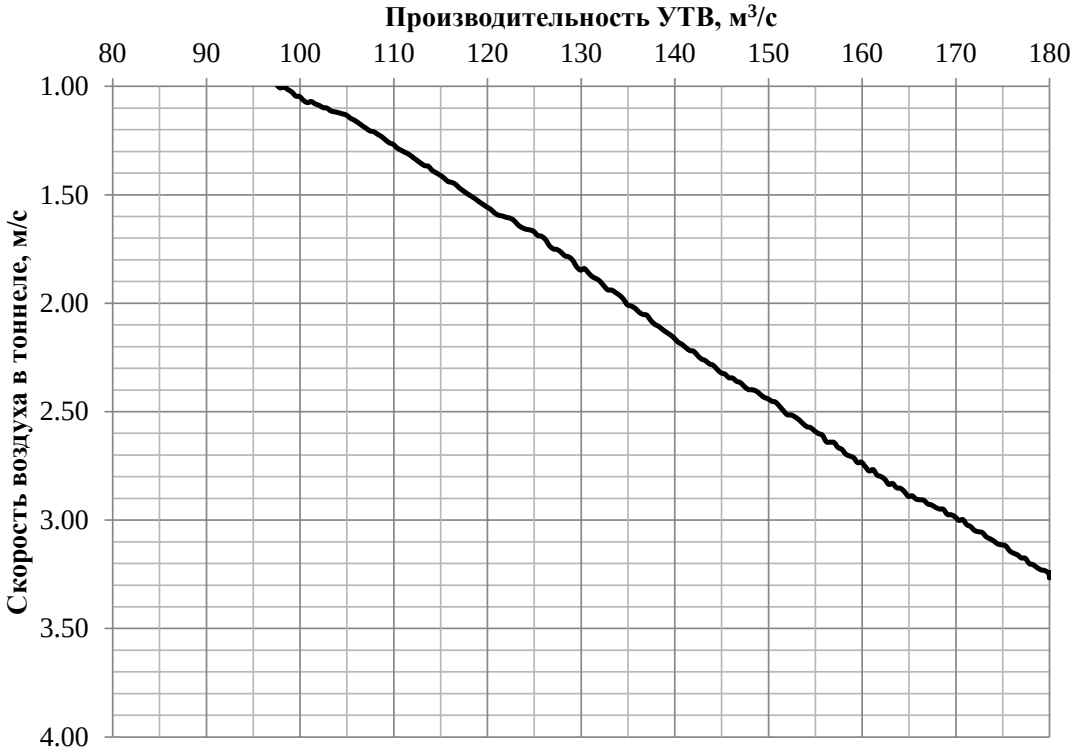


Рисунок В.60 **– Номограмма. Расстояние от УТВ 450–500 м. Уклон 50 ‰**

Библиография

[1] Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

[2] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

[3] Постановление Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме»

[4] ОАО «Метровагонмаш». Вагон метрополитена 81-760/761. Расчет пожарной нагрузки. Утвержден зам. главного конструктора В.Н. Крючкова. 2011 г.

[5] Заключение ВНИИПО МЧС России № 014-03.13 «Оценка соответствия вагонов метрополитена моделей 81-556, 81-557 и 81-558 требованиям НПБ 109–96 «Вагоны метрополитена. Требования пожарной безопасности»

[6] Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2012. – 242 с.

[7] Пожарная опасность строительных материалов / А.Н. Баратов, Р.А. Андрианов, А.Я. Корольченко и др.; Под ред. А.Н. Баратова. – М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.: ил. – ISBN 5-274-00114-9

[8] Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

[9] Волков В.П., Наумов С.А., Пирожкова А.Н., Храпов В.Г.. Тоннели и метрополитены. М.: Изд-во «ТРАНСПОРТ», 1975. – 551 с.

[10] NIST Special Publication 1018-3. Sixth Edition. Fire Dynamics Simulator. Technical reference Guide. Volume 3: Validation

[11] NFPA 502–2017 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways

УДК 697.921.47 ОКС 93.060

Ключевые слова: метрополитен, тоннель, пожар, система противодымной защиты, воздушный поток, динамика пожара