

К вопросу определения экономической эффективности прокладки канализационных трубопроводов¹

Терехов Лев Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Адрес: Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Севек Вячеслав Кыргысович, д.э.н., профессор, профессор кафедры «Экономика и менеджмент», Тувинский государственный университет

Адрес: Российская Федерация, 667000, Кызыл, Ленина, 36

E-mail: vsevek@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-8339-3035

Очиллов Акрам Одилович, академик Академии наук Турана, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика», Каршинский государственный университет

Адрес: Республика Узбекистан, 180119, Кашкадарьинская область, Карши, улица Кучабог, 17

E-mail: akram.oo@mail.ru

ORCID ID: 0009-0004-9254-188X

Майны Шончалай Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Строительство и ЖКХ», Тувинский государственный университет

Адрес: Российская Федерация, 667000, Кызыл, Ленина, 36

Аннотация. В статье определена экономическая эффективность прокладки канализационных трубопроводов. Основная задача проектирования канализационной сети заключается в назначении минимальной глубины заложения начального участка канализационной сети с учётом надёжности от замерзания в зимний период. Анализ проведенных исследований показывает, что одним из основных факторов, определяющих стоимость городской канализационной сети, является глубина заложения труб, так как стоимость земляных работ, особенно в зимнее время, составляет значительную часть общей стоимости работ по прокладке канализационных сетей. Экономический эффект внедрения разработанных положений может быть получен за счет сокращения ущерба от предотвращенных аварий, вызываемых деформацией трубопроводов с нарушением их герметичности вследствие изменения физико-механических свойств грунта.

Ключевые слова: строительство, экономическая эффективность, эксплуатационные затраты, электроэнергия, окружающая среда, прибыль, доходы

On the issue of determining the economic efficiency of laying sewer pipelines

Lev D. Terekhov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor in the Department of Water Supply, Wastewater Treatment, and Hydraulics, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Address: Russian Federation, 190031, St. Petersburg, Moskovsky Prospekt, 9

Vyacheslav K. Sevek, Doctor of Economics, Professor, Professor in the Department of Economics and Management, Tuva State University

Address: Russian Federation, 667000, Kyzyl, Lenin Street, 36

E-mail: vsevek@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-8339-3035

Akram O. Ochilov, Academician of the Turan Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department «Economics», Karshi State University

Address: Republic of Uzbekistan, 180119, Kashkadarya region, Karshi, Kuchabog street, 17

¹ По материалам: Терехов Л. Д., Севек В.К., Майны Ш.Б. Экономическая эффективность прокладки канализационных трубопроводов за счёт уменьшения глубины заложения. International scientific journal «science and innovation» special issue: green energy and economics. May 2-3, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.15383666

E-mail: akram.oo@mail.ru

ORCID ID: 0009-0004-9254-188X

Shonchalai B. Mainy, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Construction and Housing and Utilities, Tuva State University

Address: Russian Federation, Lenin Street 36, Kyzyl, 667000, Russian Federation

Abstract. This article determines the economic efficiency of sewer pipeline installation. The primary objective of sewer network design is to determine the minimum burial depth of the initial section, taking into account freeze resistance in winter. An analysis of the conducted research shows that one of the main factors determining the cost of an urban sewer network is the burial depth of the pipes, as the cost of excavation work, especially in winter, constitutes a significant portion of the total cost of sewer network installation. The economic benefit of implementing the developed provisions can be achieved by reducing damage from prevented accidents caused by pipeline deformation and loss of tightness due to changes in the physical and mechanical properties of the soil.

Keywords: construction, economic efficiency, operating costs, electricity, environment, profit, revenue

Введение

Как известно, проблема прокладки канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях включает в себя чрезвычайно широкий круг вопросов. Это говорит о том, что исследований в этой области недостаточны. Вопросы экономики проектирования и строительства инженерных сетей в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов имеют большое значение [1].

Анализ проведенных измерений показывает, что глубина промерзания грунта на территории Республики Тыва составляет 3,2 м. Столицей республики является г. Кызыл. В столице республики глубина заложения канализационных труб колеблется от 2 до 6 м. Глубина заложения неравномерна и в зависимости от рельефа местности может изменяться в значительных пределах. Как правило, канализационные сети прокладываются самотечными. Вследствие этого по ходу движения глубина всё время возрастает, поэтому для уменьшения стоимости работ чрезвычайно важно уменьшить до предела начальную глубину заложения [2].

Основная задача проектирования канализационной сети заключается в назначении минимальной глубины заложения начального участка канализационной сети с учётом надёжности от замерзания в зимний период [2].

Мелкая прокладка труб позволяет снизить затраты на разработку грунта при рытье траншей. Экономическая эффективность такого способа возрастает в случаях прокладки трубопроводов в мерзлых, скальных, полускальных грунтах, в неустойчивых сыпучих грунтах, требующих устройств креплений, при высоком уровне грунтовых вод, а также при сооружении канализационных сетей временных поселков и объектов.

Мелкая прокладка снижает затраты на ремонтные работы и работы по устранению повреждений трубопроводов. Подверженность трубопроводов замерзанию возрастает с уменьшением диаметра. С точки зрения теплотехники в наиболее неблагоприятных условиях находятся трубопроводы меньшего диаметра.

Одним из основных факторов, определяющих стоимость городской канализационной сети, является глубина заложения труб, так как стоимость земляных работ, особенно в зимнее время, составляет значительную часть общей стоимости работ по прокладке [2] канализационных сетей. Уменьшение глубины заложения канализационных сетей, например, на 1 м, на улицах, где ширина траншеи поверху должна быть минимальной, дает не только ощутимый экономический эффект, но и удобство в производстве строительно-монтажных и аварийно-восстановительных работ, а также снижает затраты на их прокладку, эксплуатацию и упрощает ликвидацию аварий. Сокращаются сроки строительства, что очень важно,

особенно в условиях большого города, где нельзя прерывать движение транспорта на длительное время.

Повышение эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию действующих сетей канализации, получение высоких результатов при наименьших затратах возможно лишь на основе экономического обоснования принимаемых проектных решений, использования в них достижений научно-технического прогресса, обеспечения их конкурентоспособности.

При прокладке канализационных трубопроводов рациональное решение зависит не только от технической, но и от экономической оценки возможных вариантов. Как правило, ряд вариантов рассматривается при разработке технологической части проекта. В этом случае производится технико-экономическое сравнение вариантов проектных решений [3, 4, 5].

При технико-экономическом выборе вариантов нет необходимости сравнивать все элементы системы. Варианты могут сравниваться только при условии их равноценности. Сравнительная экономическая эффективность вариантов определяется на основе таких показателей, как капитальные вложения, рассчитанные с помощью укрупненных измерителей, и годовые эксплуатационные затраты. Кроме основных показателей, при сравнении вариантов необходимо учитывать следующие дополнительные факторы: материалоемкость, трудоемкость и срок окончания строительства по каждому варианту, надёжность системы в работе и условия труда рабочих.

На предпроектной стадии рассчитываются текущие издержки: затраты на материалы, технологическое топливо, электроэнергию, амортизацию, ремонтный фонд и заработную плату рабочих.

Следует принимать в расчёт капитальные вложения и эксплуатационные затраты только по изменяющимся элементам, которые зависят от варианта проектного решения и не повторяются в одинаковом размере в рассматриваемых вариантах.

Материалы и методы исследования

Методы оценки эффективности прокладки канализационных трубопроводов инвестиционных проектов

При расчётах эффективности инвестиционных проектов необходимо соблюдать условия сопоставимости вариантов. В тех случаях, когда приведение сравниваемых вариантов в сопоставимый вид невозможно, выбор наилучшего производится по критерию максимума экономического эффекта от реализации средозащитных мероприятий.

В составе капитальных вложений экологического назначения можно выделить две части: одна из них направлена исключительно на охрану среды (затраты на сооружения и установки для очистки производственных и коммунальных сточных вод), другая часть вложений наряду с охраной среды связана с повышением эффективности производственного процесса. К этой части относятся капитальные вложения на создание новой техники и прогрессивной технологии, снижающих или совершенно исключают вредное воздействие тех или иных производств на окружающую среду и повышающих эффективность производственного процесса, например, затраты на строительство замкнутых систем водоснабжения.

Методы, используемые в анализе инвестиционной деятельности, можно подразделить на две группы:

- 1) основанные на дисконтированных оценках;
- 2) основанные на учётных оценках [5].

Предлагаемые методы оценки эффективности инвестиционных проектов основываются на методологии ЮНИДО, широко применяемой в современной международной практике [5].

Метод расчёта чистого приведенного эффекта. Этот метод основан на сопоставлении исходных инвестиции (IC) с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений, генерируемых ими в течение прогнозируемого срока. Поскольку

приток денежных средств распределен во времени, он дисконтируется с помощью коэффициента ставки рефинансирования ЦБ РФ, которая по состоянию на апрель 2021 года равна 5%.

Чистый приведённый эффект (NPV) соответственно рассчитываются по формулам [5]:

$$PV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}, \quad (1)$$

$$NPV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} - IC, \quad (2)$$

Очевидно, если $NPV > 0$, проект следует принять; если $NPV < 0$, проект следует отвергнуть; при $NPV = 0$ проект ни прибыльный, ни убыточный.

Для последовательного инвестирования финансовых ресурсов в течение m лет, то формула для расчёта NPV выглядит следующим образом [5]:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{IC_j}{(1+i)^j}, \quad (3)$$

где i – прогнозируемый средний уровень инфляции.

Метод расчёта индекса рентабельности инвестиции. Этот метод является следствием предыдущего. Индекс рентабельности (PI) рассчитывается по формуле [5]

$$PI = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} \div IC, \quad (4)$$

Очевидно, если $PI > 1$, проект следует принять; если $PI < 1$, проект следует отвергнуть; при $PI = 1$ проект ни прибыльный, ни убыточный [5].

Метод определения срока окупаемости инвестиций. Этот метод не предполагает временной упорядоченности денежных поступлений.

$$PP = \frac{IC}{PN}, \quad (5)$$

где IC – исходные инвестиции;

PN – показатель чистой прибыли.

Метод определения срока окупаемости инвестиций целесообразно применять, когда руководство предприятия в большей степени озабочено решением проблемы ликвидности, а не прибыльности проекта, – главное, чтобы инвестиции окупились и как можно скорее [5].

Метод расчёта коэффициента эффективности инвестиции. Этот метод не предполагает дисконтирования показателей дохода, а доход характеризуется показателем чистой прибыли PN (балансовая прибыль за минусом отчислений в бюджет). Коэффициент эффективности инвестиции (ARR) рассчитывается делением среднегодовой прибыли PN на среднюю величину инвестиции (коэффициент берется в процентах). Вследствие этого, получаем формулу для вычисления коэффициента эффективности инвестиции [5]:

$$ARR = \frac{PN}{1/2(IC - RV)}, \quad (6)$$

Этот показатель сравнивается с коэффициентом рентабельности авансированного капитала, рассчитывается путем деления общей чистой прибыли предприятия на общую сумму средств, авансированных в его деятельность (итог среднего баланса – нетто). Этот метод, к сожалению, имеет ряд существенных недостатков, в частности не учитывает временной составляющей денежных потоков [5].

Определение экономической эффективности от уменьшения глубины заложения канализационных трубопроводов

Уменьшение глубины заложения инженерных коммуникаций при сохранении надёжности работы в нормальном эксплуатационном режиме и обеспечении незамерзаемости в возможных аварийных ситуациях является актуальной задачей. Мелкое заложение трубопроводов имеет ряд технических и экономических преимуществ: уменьшение строительной стоимости и сокращение сроков строительства за счет уменьшения объёма земляных работ; уменьшение трудоёмкости ремонтных и восстановительных работ; быстрое обнаружение и устранение аварий, уменьшение объёма и сокращения сроков ремонтных и аварийно-восстановительных работ [6].

Для сети канализации в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов самая надёжная прокладка – это прокладка ниже глубины сезонного промерзания [7]. В этом случае значительно возрастает объём земляных работ, который в зимний период не всегда возможно выполнить, так как требуется мощная землеройная техника.

Для выявления экономического эффекта при прокладке канализационных трубопроводов в зависимости от уменьшения глубины заложения была проведена серия расчётов. Были выполнены расчёты стоимости строительства и эксплуатации для трубопроводов диаметром 300 мм, проложенных на глубине от 3 м до 6 м.

Расчёты произведены для следующих условий: район строительства – г.Кызыл, глубина заложения – от 3 до 6 м, участок на 1 км при глубине 4-5 м, глубина промерзания – 3,2 м, материал труб – чугун, диаметр труб – 300 мм, протяжённость канализационной сети: $l = 1$ км, разработка грунта в отвал экскаватором с ковшом вместимостью 2,5 м³, засыпка траншей и котлованов бульдозером, доработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м, планировка площадей бульдозером.

Основные результаты и обсуждение

Расчёт производился на 1 км трубопровода диаметром 300 мм для глубин заложения 1,5 и 3,2 м до верха трубопровода.

Стоимость земляных работ больше зависит от глубины заложения трубопровода и от грунтовых условий, и в меньшей степени от диаметра трубопровода.

В таблице 1 приведена полная стоимость земляных работ и общая стоимость прокладки канализационного трубопровода, длиной 1 км, в зависимости от глубины заложения.

Таблица 1. / Table 1. Полная стоимость строительства канализационного трубопровода и земляных работ для г. Кызыла / The total cost of construction of a sewer pipeline and excavation work for the city of Kyzyl

Диаметр трубопровода, мм	Протяжённость, км	Глубина заложения до верха трубопровода, м			
		1,5		3,2	
		Стоимость земляных работ, тыс. руб.	Полная стоимость, тыс. руб.	Стоимость земляных работ, тыс. руб.	Полная стоимость, тыс. руб.
300	1	756,12	6007,53	1186,82	6692,56

Из полученных данных видно, что стоимость земляных работ составляет 30 % от общей стоимости работ по строительству канализационного трубопровода, что объясняется большой глубиной заложения трубопровода.

Исходные данные для расчёта годового экономического эффекта от применения мелкозаглубленной прокладки канализации диаметром трубы 300 мм с глубиной заложения трубопровода 1,5 м вместо традиционной прокладки трубопроводов того же диаметра с глубиной заложения 3,2 м приведены в таблице 2.

Базовый вариант – это трубопровод длиной 1 км и диаметром трубопровода 300 мм, проложенный в грунте согласно требованиям [7].

**Таблица 2. / Table 2. Технико-экономическое сравнение вариантов /
Technical and economic comparison of options**

Показатель	Вариант	
	базовый	предлагаемый
Диаметр и материал труб	300 мм, чугун	300 мм, чугун
Глубина заложения трубы, м	3,2	1,5
Прямые затраты, тыс. руб. / км	6035,42	5747,11
Трудовые затраты на земляные работы, чел.-дн./км	533,42	304,15
Накладные расходы, тыс. руб. / км	527,33	330,48
Себестоимость строительно-монтажных работ, тыс. руб. / км	6562,76	6077,6
Полная сметная стоимость прокладки системы канализации, тыс. руб. / км	6692,56	6007,53
Срок службы трубопровода, лет	50	50

Экономический эффект для чугунного трубопровода диаметром 300 мм при мелкозаглубленной прокладке 1,5 м по сравнению с базовым вариантом 3,2 м на 1 км составляет 685,03 тыс. руб.

Для комплексной оценки принятого проектного решения приведена система основных технико-экономических показателей проекта (табл. 3).

Таблица 3. / Table 3. Основные технико-экономические показатели сравниваемых проектов / Key technical and economic indicators of the compared projects

I вариант Прокладка канализационных с трубопроводов с $h = 3,2$ м	II вариант Прокладка канализационных с трубопроводов с $h = 1,5$ м
Годовая производительность системы $Q = 10,57$ млн м ³	Годовая производительность системы $Q = 10,57$ млн м ³
Капитальные вложения в строительство системы $K = 6692,56$ тыс. руб. в том числе НДС 20%	Капитальные вложения в строительство системы $K = 6007,53$ тыс. руб. в том числе НДС 20%
Удельные капитальные вложения $K_{уд} = 0,63$ руб. / м ³ воды	Удельные капитальные вложения $K_{уд} = 0,56$ руб. / м ³ воды
Стоимость строительства сети канализации 6692,26 тыс. руб.	Стоимость строительства сети водовода 6007,53 тыс. руб.
Протяжённость сети 1,0 км	Протяжённость сети 1,0 км
Стоимость строительства 1 пог. м сети 6,6 тыс. руб.	Стоимость строительства 1 пог. м сети 6,07 тыс. руб.
Годовые эксплуатационные расходы системы канализации 669,25 тыс. руб.	Годовые эксплуатационные расходы системы канализации 600,75 тыс. руб.

Годовая норма амортизации при линейном способе определяется по формуле

$$H_a = \frac{100\%}{T}, \quad (7)$$

где H_a – годовая норма амортизации, %; T – нормативный срок службы.

Нормативный срок службы (T) 10 лет.

Годовая норма амортизации составит:

- для I варианта 6692,56 тыс. руб. · 0,1 = 669,25 тыс. руб.;
- для II варианта 6007,53 тыс. руб. · 0,1 = 600,75 тыс. руб.

Расчёты экономической эффективности по базовому варианту
Определение величины чистого приведённого эффекта NPV

Для окончательного выбора наиболее экономически выгодного варианта были найдены чистые доходы обоих вариантов по следующей методике. Сначала была определена величина годового расхода P_k

- для I варианта $P_1 = 669,25$ тыс. руб.;
- для II варианта $P_2 = 600,75$ тыс. руб.

Далее вычислена общая накопленная величина дисконтированных доходов PV и чистый приведенный эффект NPV по формулам (8)–(10).

$$PI = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}, \quad (8)$$

где P_k – годовые расходы; IC_j – исходные инвестиции; r – дисконт равная учётной ставке ЦБ РФ; k – шаг расчёта, годы; n – горизонт расчёта.

На основании технико-экономических показателей (таблица 2) для базового варианта годовые эксплуатационные затраты составляют 669,25 тыс. руб. Далее ведется расчёт дисконтирования величины годового расхода. Дисконт равен 5,5% ключевой ставке ЦБ России по состоянию на 21.06.2021 г. Приведем в денежном выражении дисконтированные доходы по каждому году (k от 1 до 15)

$PV_1 = \frac{669,25}{(1+0,055)^1} = 634,36$ тыс. руб.	$PV_8 = \frac{669,25}{(1+0,055)^8} = 437,41$ тыс. руб.
$PV_2 = \frac{669,25}{(1+0,055)^2} = 602,93$ тыс. руб.	$PV_9 = \frac{669,25}{(1+0,055)^9} = 415,68$ тыс. руб.
$PV_3 = \frac{669,25}{(1+0,055)^3} = 572,0$ тыс. руб.	$PV_{10} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{10}} = 393,67$ тыс. руб.
$PV_4 = \frac{669,25}{(1+0,055)^4} = 544,1$ тыс. руб.	$PV_{11} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{11}} = 371,8$ тыс. руб.
$PV_5 = \frac{669,25}{(1+0,055)^5} = 514,81$ тыс. руб.	$PV_{12} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{12}} = 352,23$ тыс. руб.
$PV_6 = \frac{669,25}{(1+0,055)^6} = 488,5$ тыс. руб.	$PV_{13} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{13}} = 334,62$ тыс. руб.
$PV_7 = \frac{669,25}{(1+0,055)^7} = 461,55$ тыс. руб.	$PV_{14} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{14}} = 317,2$ тыс. руб.

$$PV_{15} = \frac{669,25}{(1 + 0,055)^{15}} = 300,11 \text{ тыс. руб.}$$

Общая накопленная величина дисконтированных доходов будет вычислена как сумма PV за каждый год:

$$PV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} = 634,36 + 602,93 + 572,0 + 544,1 + 514,81 + 488,5 + 416,55 + \\ + 437,41 + 415,78 + 393,67 + 371,8 + 353,23 + 334,62 + 317,2 + 300,11 = \\ = 6740,97 \text{ тыс. руб.}$$

Чистый приведённый эффект тот же период

$$NPV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} - IC = 6740,97 - 6692,56 = 48,41 \text{ руб.}$$

Чистый приведенный эффект составляет 48,41 руб. Проект эффективный, так как $NPV > 0$, при его сроке эксплуатации в течение 15 лет.

Индекс рентабельности PI базового варианта прокладки канализационной сети:

$$PI = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} \div IC = \frac{6740,97}{6692,56} = 1,007.$$

Рентабельность инвестиции удовлетворяет условиям $PI > 1$.

Для определения внутренней нормы доходности (IRR) используем формулу интеграции.

Алгоритм определения данного показателя, следующий:

- экспертным путём выбираются два значения коэффициента дисконтирования $r_1 < r_2$, таким образом, чтобы в интервале (r_1, r_2) функция $NPV = f(r)$ могла менять своё значение с «+» на «-» или с «-» на «+»;
- определяется значение IRR по следующей формуле:

$$IRR = r_1 + \frac{f(r_1)}{f(r_1) - f(r_2)} \cdot (r_2 - r_1) \quad (11)$$

где r_1 – значение коэффициента дисконтирования, при котором $f(r_1) > 0$, $f(r_2) < 0$;

r_2 – коэффициент дисконтирования, при котором $f(r_2) < 0$, $f(r_1) > 0$.

В качестве r_2 используем 8 %. Тогда NPV составит

$$NPV_2 = \sum_{k=1}^{15} \frac{669,25 \cdot 15}{(1 + 0,08)^k} - 6692,56 = \frac{10038,75}{3,17} - 6692,56 = -3525,76 \text{ тыс. руб}$$

$$IRR = 5,5 + \frac{48,41}{48,41 + 3525,76} \cdot (8 - 5,5) = 5,53\%$$

Условия удовлетворяют, поскольку $IRR (5,53\%) > r (5,5\%)$.

Срок окупаемости проекта

$$DPP = \frac{IC}{PV_{\text{ср.годовой}}} = \frac{6692,57}{449,4} = 14,89 \text{ лет}$$

где $PV_{\text{ср. годовой}}$ – среднегодовой дисконтированный чистый приток

$$\left[PV = \frac{\sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}}{n} \right];$$

IC – исходные инвестиции.

$$PV_{\text{ср. годовой}} = (634,36 + 602,93 + 572,0 + 544,1 + 514,81 + 488,5 + 416,66 + 437,41 + 415,78 + 393,67 + 371,8 + 353,23 + 334,62 + 317,2 + 300,11) / 15 = 6740,97 / 15 = 449,4 \text{ тыс. руб.}$$

Расчёты экономической эффективности по предлагаемому варианту

Чистый дисконтированный доход (NPV)

$$PV_1 = \frac{600,75}{(1+0,055)^1} = 569,43 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_8 = \frac{600,75}{(1+0,055)^8} = 392,64 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_2 = \frac{600,75}{(1+0,055)^2} = 541,21 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_9 = \frac{600,75}{(1+0,055)^9} = 373,13 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_3 = \frac{600,75}{(1+0,055)^3} = 513,46 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{10} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{10}} = 353,38 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_4 = \frac{600,75}{(1+0,055)^4} = 488,41 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{11} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{11}} = 333,75 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_5 = \frac{600,75}{(1+0,055)^5} = 426,11 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{12} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{12}} = 316,18 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_6 = \frac{600,75}{(1+0,055)^6} = 438,5 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{13} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{13}} = 300,37 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_7 = \frac{600,75}{(1+0,055)^7} = 414,31 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{14} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{14}} = 284,71 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{15} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{15}} = 269,39 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} = 6014,98 \text{ тыс. руб.}$$

$$NPV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} - IC = 6014,98 - 6007,53 = 7,45 \text{ руб.}$$

Чистый приведенный эффект составляет 7,45 руб. Проект эффективный так как $NPV > 0$, при его сроке эксплуатации в течение 15 лет.

Индекс рентабельности PI предлагаемого варианта прокладки канализационной сети:

$$PI = \frac{\sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}}{IC} = \frac{6014,98}{6007,53} = 1,001$$

Рентабельность инвестиции удовлетворяет условиям $PI > 1$.

Внутренняя норма доходности (IRR)

В качестве r_2 используем 8 %. Тогда NPV составит:

$$NPV_2 = \sum_{k=1}^n \frac{600,75 \cdot 15}{(1+0,08)^k} - 6007,53 = \frac{9011,25}{3,17} - 6007,53 = -3164,86 \text{ тыс. руб.}$$

$$IRR = 5,5 + \frac{7,45}{7,45 + 3164,86} \cdot (8 - 5,5) = 5,5 \%$$

Условия удовлетворяют, поскольку $IRR (5,505 \%) > r (5,5 \%)$.

Срок окупаемости проекта

$$DPP = \frac{IC}{PV_{\text{ср.годовой}}} = \frac{6007,53}{401,0} = 14,98 \text{ лет.}$$

Оценка эффективности прокладки инвестиционного проекта сравниваемых проектов приведена в таблице 4.

Таблица 4. / Table 4. Оценка эффективности инвестиционного проекта (сравнение вариантов) / Evaluation of the effectiveness of an investment project (comparison of options)

Показатели эффективности	Значение	
	базовое	предлагаемое
Ставка дисконтирования, %	5,5 % ¹	5,5 %
Уровень инфляции, %	5 % ²	5 %
Чистый дисконтированный доход (NPV), руб.	48,41	7,45
Индекс доходности (PV), %	7	1
Индекс рентабельности	1,007	1,001
Внутренняя норма доходности (IRR), %	5,53	5,505
Дисконтированный срок окупаемости (DPP), лет	14,89	14,98
Примечания.		
¹ Учётная ставка рефинансирования (ключевая ставка) ЦБ России на 21.05.2023 г.		
² Уровень инфляции на 21.05.2023 г. Поскольку уровень инфляции не значительная, поэтому ее в расчёте экономической эффективности не учитывали.		

На основе полученных расчётов вариант мелкозаглубленной экономически более эффективен, поскольку все показатели экономической эффективности удовлетворяют требованиям инвестора. Показатели экономической эффективности двух вариантов

одинаковы, однако в предлагаемом нами варианте прокладки канализационной сети имеются дополнительные преимущества, а именно: сметная стоимость прокладки системы канализации ниже на 685 тыс. руб. (10,2 %). Также следует отметить, что проект предложенный мелкозаглубленной прокладкой имеет минимальные затраты. Экономический эффект от прокладки одного километра канализационного трубопровода мелкого заложения составляет 685 тыс. руб.

Сравнительная экономическая эффективность двух проектов по минимальным затратам

Себестоимость продукции на стадии сравнения вариантов по прокладке канализационных сетей определена по формуле

$$C = M + \mathcal{E} + Z_p + A + P_\phi, \quad (12)$$

где C – себестоимость продукции (годовые эксплуатационные расходы), млн руб.;

M – затраты на материалы, млн руб.;

\mathcal{E} – затраты на производственную электроэнергию (на подъем и подачу воды), млн руб.;

Z_p – заработная плата основного производственного персонала, млн руб.;

A – амортизационные отчисления, млн руб.;

P_ϕ – затраты на ремонтный фонд, млн руб.

В нашем расчёте затраты на производственную электроэнергию системы канализации с протяжённостью 1 км не учитывается, так как для самотечной системы канализации электроэнергия не требуется.

Себестоимость продукции на стадии сравнения вариантов по прокладке канализационных сетей определяется по формуле

$$C = M + Z_p + A + P_\phi$$

1) для базового варианта:

$$C_I = M_I + Z_{pI} + A_I + P_{\phi I} = 433,57 + 41,18 + 1115,42 + 133,85 = 1724,02 \text{ тыс. руб.};$$

2) для предлагаемого варианта:

$$C_{II} = M_{II} + Z_{pII} + A_{II} + P_{\phi II} = 433,57 + 20,30 + 961,20 + 120,15 = 1535,22 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные затраты для двух вариантов определяются по формулам:

$$Z_I = C_I + E_n \cdot K_I,$$

$$Z_{II} = C_{II} + E_n \cdot K_{II},$$

где C – себестоимость продукции, вычисляемая по формуле (12), тыс. руб.;

K – капитальные вложения, тыс. руб.

E_n – коэффициент окупаемости капитальных вложений, равный $0,125 \text{ год}^{-1}$.

Рассчитаем приведенные затраты для двух вариантов:

$$Z_I = C_I + E_n \cdot K_I = 1724,03 + 0,125 \cdot 6692,56 = 2560,60 \text{ тыс. руб.}$$

$$Z_{II} = C_{II} + E_n \cdot K_{II} = 1535,22 + 0,125 \cdot 6007,53 = 2286,16 \text{ тыс. руб.}$$

На основе сравнительной экономической эффективности по приведенным минимальным затратам наилучшим вариантом является предлагаемый вариант – мелкозаглубленная канализационная система.

Выводы

1. Экономический эффект от применения мелкозаглубленной прокладки канализации для районов с глубоким сезонным промерзанием составил 685,03 тыс. руб. в год. Экономический эффект возникает, прежде всего, за счет снижения объемов земляных работ. Применение мелкозаглубленной прокладки сети канализации позволяет уменьшить глубину заложения трубопровода в среднем на 1 м.

2. Экономический эффект внедрения разработанных положений может быть получен за счет сокращения ущерба от предотвращенных аварий, вызываемых деформацией трубопроводов с нарушением их герметичности вследствие изменения физико-механических свойств грунта. В 2022 году экономия бюджетных средств Кызыла составила 21780,0 тыс. рублей, так как за счёт применения разработанного нами метода существенно уменьшилось количество аварий на канализационной сети и соответственно сократилось количество аварийно-восстановительных работ.

3. Трудовые затраты на земляные работы при применении мелкозаглубленной прокладки по сравнению с трудовыми затратами для обычной прокладки сократились в 2 раза, а продолжительность работы машин на земляных работах сокращается в 2–3 раза. Полученные результаты данной работы позволяют с большим запасом достоверности определять максимальные риски проекта, прежде всего в технико-экономическом плане.

4. Определена экономическая эффективность прокладки канализационных трубопроводов за счет уменьшения глубины заложения в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов, что позволяет снизить строительную стоимость и сократить сроки строительства за счет уменьшения объема земляных работ; минимизировать трудоемкость ремонтных и восстановительных работ. Предложенный способ прокладки повышает безопасность строительства и эксплуатации сети; дает возможность быстро обнаруживать и устранить аварии, уменьшать объемы и сокращать сроки ремонтных и аварийно-восстановительных работ.

5. Экономия от прокладки для чугунного трубопровода диаметром 300 мм при глубине заложения 1,5 м вместо базового варианта 3,2 м на 1 км составляет 685 тыс. руб.

Библиографический список

1. Майны, Ш. Б. Аналитическая модель теплотехнического расчёта канализационных сетей в условиях глубокого сезонного промерзания грунта / Ш. Б. Майны // Вестник Тувинского государственного университета. Выпуск 3. – Кызыл : ТувГУ. – 2011. – С. 39-42.

2. Майны, Ш. Б. Методика определения минимальной глубины заложения начального участка канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях / Ш. Б. Майны, Л. Д. Терехов, Н. П. Заборщикова // Вестник гражданских инженеров. – 2016. №3(56). – С. 116-122.

3. Кудрявцев А. С., Матосов Ю. Ю., Судникович В. Г., Ямщикова И. В. Техно-экономическое обоснование инвестиций в строительство безнапорной канализационной сети из двухслойных гофрированных полиэтиленовых труб КОРСИС / А. С. Кудрявцев, Ю. Ю. Судникович, И. В. Ямщикова. – Текст // Молодежный вестник ИрГТУ. 2011. № 3. С. 14.

4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – Москва : Экономика, 2000. – 421 с.

5. Розенгарт, Т. К. Техно-экономическое обоснование выбора проектных решений систем «ВиВ» / Т. К. Розенгарт. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения, 2014. – 36 с.

6. Майны, Ш. Б. Исследование изменения теплового режима канализационных сетей в зимний период / Ш. Б. Майны, Л. Д. Терехов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 12. – С. 42-47.

7. Майны, Ш. Б. Учёт однородности грунта в методиках теплотехнического расчёта канализационных трубопроводов в условиях глубокого сезонного промерзания грунта / Ш. Б. Майны // Естественные и технические науки. – 2011. – № 3. – С. 520-523.

8. 104 СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85.

References

1. Mainy, Sh. B. Analytical Model for Thermal Calculation of Sewer Networks under Conditions of Deep Seasonal Soil Freezing / Sh. B. Mainy // Bulletin of the Tuva State University. Issue 3. – Kyzyl: TuvSU. – 2011. – Pp. 39-42.

2. Mainy, Sh. B. Methodology for Determining the Minimum Installation Depth of the Initial Section of Sewer Pipelines in Harsh Climatic Conditions / Sh. B. Mainy, L. D. Terekhov, N. P. Zaborshchikova // Bulletin of Civil Engineers. – 2016. No. 3 (56). – Pp. 116-122.

3. Kudryavtsev A. S., Matosov Yu. Yu., Sudnikov V. G., Yamshchikova I. V. Feasibility Study of Investments in the Construction of a Gravity Sewer Network Made of Two-Layer Corrugated Polyethylene Pipes KORSIS / A. S. Kudryavtsev, Yu. Yu. Sudnikov, I. V. Yamshchikova. – Text // Youth Bulletin of IrSTU. 2011. No. 3. P. 14.

4. Methodological Recommendations for Assessing the Effectiveness of Investment Projects. – Moscow: Economica, 2000. – 421 p.

5. Rosengart, T. K. Feasibility Study of the Selection of Design Solutions for Water and Water Systems / T. K. Rosengart. – St. Petersburg: Petersburg State Transport University, 2014. – 36 p.

6. Mainy, Sh. B. Study of Changes in Thermal Regime of Sewer Networks in Winter / Sh. B. Mainy, L. D. Terekhov // Water Supply and Sanitary Engineering. - 2019. - No. 12. - Pp. 42-47.

7. Mainy, Sh. B. Taking into account the homogeneity of soil in the methods of thermal calculation of sewer pipelines under conditions of deep seasonal freezing of soil / Sh. B. Mainy // Natural and technical sciences. - 2011. - No. 3. - Pp. 520-523.

8. 104 SP 32.13330.2012 Sewerage. External Networks and Structures. Updated version of SNiP 2.04.03-85.