

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-51-59>

УДК 631.6: 626.8



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОМЕМБРАН И ГЕОТЕКСТИЛЯ ДЛЯ ОБЛИЦОВКИ КАНАЛОВ

Ф.К. Абдразаков[✉], Э.Э. Сафин, А.А. Рукавишников

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; Институт инженерии и робототехники; 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, Россия

Аннотация. В работе рассматривается технико-экономическое сравнение двух технологий облицовки оросительных каналов: традиционного метода с применением бетонных плит и современной альтернативы – композитных материалов на основе геомембраны и геотекстиля. В рамках исследований выполнены: расчет объемов материалов (бетонные плиты, геомембрана, геотекстиль, анкеры); оценка трудозатрат и техники, необходимой для выполнения работ; анализ логистических затрат и количества транспортных рейсов; сравнение сроков службы и затрат на эксплуатацию в течение 30 лет; оценка полной стоимости строительства и обслуживания облицовки. Проведен сравнительный анализ по следующим критериям: стоимость материалов и монтажа, сроки выполнения работ, логистическая эффективность, эксплуатационные характеристики и долговечность конструкций. По результатам исследований установлено, что композитные материалы позволяют сократить общие затраты более чем в 3 раза, ускорить выполнение работ в 2,34 раза и снизить эксплуатационные расходы в 3,95 раза.

Ключевые слова: оросительный канал, противофильтрационная облицовка, геомембрана и геотекстиль, технико-экономическое обоснование, экологическая устойчивость

Формат цитирования: Абдразаков Ф.К., Сафин Э.Э., Рукавишников А.А. Технико-экономическое обоснование применения геомембран и геотекстиля для облицовки каналов // Природообустройство. 2025. № 4. С. 51-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-51-59>

Original article

FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF GEOMEMBRANES AND GEOTEXTILES FOR CHANNEL CLADDING

F.K. Abdrazakov[✉], E.E. Safin, A.A. Rukavishnikov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; Institute of Engineering and Robotics; 410012, Saratov, Peter Stolypin Avenue, building 4, constr.3. Russia

Abstract. This paper considers a technical and economic comparison of two technologies for lining irrigation channels: the traditional method using concrete slabs and modern alternative – composite materials based on geomembrane and geotextile. As part of the study, the following tasks were performed: calculation of the volume of materials (concrete slabs, geomembrane, geotextiles, anchors); assessment of labor costs and equipment required to perform the work; analysis of logistical costs and the number of transport trips; comparison of service life and operating costs over 30 years; assessment of the total cost of construction and maintenance of cladding. A comparative analysis was carried out according to the following criteria: the cost of materials and installation, the timing of work, logistical efficiency, operational characteristics and durability of structures. According to the results of the study, composite materials can reduce total costs by more than 3 times, accelerate work by 2.34 times and reduce operating costs by 3.95 times.

Keywords: irrigation channel, anti-filtration cladding, geomembrane and geotextile, feasibility study, environmental sustainability

Format of citation: Abdrazakov F.K., Safin E.E., Rukavishnikov A.A. Feasibility study of the use of geomembranes and geotextiles for channel cladding // Prirodobustroystvo. 2025. № 4. P. 51-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-51-59>

Введение. Разница между строительством, ремонтом и реконструкцией облицовок оросительных каналов при использовании традиционных материалов (таких, как бетонные плиты) и современных композитных решений, включающих в себя геотекстиль и геомембраны,

обусловлена не только технологическими особенностями материалов, но и их физико-химическими свойствами, экономической целесообразностью, а также долгосрочным воздействием на экосистему и эксплуатационную надежность. Эти процессы требуют принципиально разных подходов на каждом этапе: от проектирования до реализации и последующего обслуживания.

Строительство новой облицовки традиционными материалами – такими, как бетонные плиты, подразумевает создание жесткой монолитной структуры, которая обеспечивает механическую прочность и устойчивость к высоким гидравлическим нагрузкам. Бетон как материал обладает значительной массой, что требует тщательной подготовки основания: выравнивания дна и стенок канала, укладки песчано-гравийной подушки, а иногда и армирования. Однако бетонная облицовка подвержена постепенному разрушению ввиду циклов замораживания-оттаивания, коррозии арматуры и химического воздействия солей в воде. Эти факторы ограничивают срок службы конструкции 20-30 годами, после чего требуются масштабный ремонт или полная замена.

Цель исследований: технико-экономическое обоснование применения композитных материалов в качестве альтернативы традиционной бетонной облицовке оросительных каналов.

В рамках поставленной цели выполнен комплексный сравнительный анализ двух технологий по критериям: стоимость материалов и работ, трудозатраты, логистическая эффективность, срок службы, устойчивость к внешним воздействиям и затраты на эксплуатацию в долгосрочной перспективе.

Материалы и методы исследований. Методологическая основа исследования включает в себя комплексный технико-экономический подход, основанный на сравнении двух типов облицовки канала: бетонной и композитной. В рамках исследований выполнены: расчет объемов материалов (бетонные плиты, геомембрана, геотекстиль, анкера); оценка трудозатрат техники, необходимой для выполнения работ; анализ логистических затрат и количества транспортных рейсов; сравнение сроков службы и затрат на эксплуатацию в течение 30 лет; оценка полной стоимости строительства и обслуживания облицовки. Источниками данных выступили нормативные документы, справочные материалы, технические характеристики оборудования, а также расчеты, выполненные на основе практического опыта и отраслевых стандартов.

Результаты и их обсуждение. Бетонные конструкции обладают высокой прочностью на сжатие, но слабо сопротивляются растягивающим нагрузкам. Это приводит к характерным видам повреждений: трещинообразованию при неравномерной осадке, выкрашиванию кромок, коррозии арматуры [1].

Композитные материалы, напротив, демонстрируют высокую эластичность и способность к перераспределению нагрузок без разрушения. Геомембрана толщиной может удлиняться на 300-500% перед разрывом, что делает ее устойчивой к подвижкам грунта [2].

Работы с использованием композитных материалов – таких, как геомембраны в сочетании с геотекстилем, основаны на принципах гибкости и адаптивности. Геомембрана, выполняя роль гидроизоляционного барьера, укладывается на подготовленное основание, а геотекстиль служит защитным слоем, предотвращающим механические повреждения и распределяющим нагрузку. Такой подход минимизирует необходимость в тяжелой технике и сокращает сроки работ, поскольку не требует длительного набора прочности, как в случае с бетоном. Кроме того, композитные системы обладают высокой устойчивостью к химической агрессии и ультрафиолету, что продлевает их эксплуатацию до 30-50 лет [3].

Бетон крайне чувствителен к температурным колебаниям. Коэффициент температурного расширения бетона составляет около $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, что при суточных перепадах температуры в $10-20^\circ\text{C}$, характерных для Саратовской области, создает значительные внутренние напряжения. Это приводит к образованию температурных швов, ускоренному разрушению поверхности, потере герметичности стыков [4].

Геосинтетические материалы обладают значительно более высоким коэффициентом температурного расширения, но благодаря своей гибкости не накапливают разрушающие напряжения. Это делает их особенно устойчивыми в условиях континентального климата с резкими сезонными и суточными колебаниями температур [5].

Ремонт облицовки – процесс, который для бетонных конструкций часто превращается в борьбу с симптомами, а не с причинами разрушения. Трещины в бетоне заделываются растворами или герметиками, отслоившиеся плиты заменяются новыми. Однако локальный ремонт не устраняет системных проблем: неравномерной усадки грунта, коррозии арматуры или эрозии основания. Каждое вмешательство временно восстанавливает функциональность,

но не останавливает деградацию материала. В случае с композитными материалами ремонт чаще сводится к замене поврежденных участков геомембраны или к восстановлению защитного слоя геотекстиля. Поскольку эти материалы не подвержены коррозии и обладают эластичностью, повреждения обычно носят локальный характер (проколы, разрывы) и легко устраняются без остановки работы канала [6].

Реконструкция – наиболее сложный и ресурсоемкий этап, особенно для старых бетонных каналов, часто подразумевающий полный демонтаж разрушенных плит, укрепление основания и монтаж новой облицовки. В таких случаях переход на композитные материалы может стать стратегическим решением, позволяющим избежать повторения ошибок прошлого. Например, вместо демонтажа старых бетонных плит их можно использовать как основание для укладки геомембраны, что сокращает объем земляных работ и снижает затраты. Геотекстиль в этом случае играет роль амортизирующего слоя, компенсирующего неровности и предотвращающего контакт геомембраны с острыми краями бетона [6].

С точки зрения экологии и устойчивости композитные материалы демонстрируют значительные преимущества. Бетонное производство связано с высокими выбросами CO₂, а разрушение плит приводит к образованию строительного мусора, который сложно утилизировать. Геомембраны и геотекстиль, особенно из полимеров с повышенной устойчивостью к УФ-излучению, имеют меньший углеродный след на этапе производства и могут быть частично переработаны. Кроме того, их применение снижает почти

до нуля фильтрацию воды, что особенно важно в регионах с дефицитом водных ресурсов [7].

Эксплуатация в водной среде создает уникальные условия для биологического воздействия.

Бетон подвержен:

- биокоррозии (развитие водорослей, мхов);
- разрушению корневыми системами растений.

Геомембраны из современных полимеров (HDPE, LLDPE) обладают:

- биологической инертностью;
- устойчивостью к УФ-излучению;
- химической стойкостью к агрессивным средам.

Исследования показывают, что срок службы качественных геомембран в аналогичных условиях на 40-60% превышает показатели бетонных конструкций [8].

Рассмотрим технологию строительства канала композитными материалами взамен бетонной облицовки канала длиной 1 км, глубиной 3 м, а шириной по дну – 2,5 м, с общей площадью 8500 м² при укладке сечения канала бетонными плитами с параметрами (1,5 × 6 м и 3 × 6 м) (табл. 1, 2, рис. 1).

График работы техники (для бетонных плит)

- Дни 1-10. Доставка материалов: 20 фур/день (всего 194 рейса) с бетонными плитами и сопутствующими материалами.

- Дни 11-15. 2 × Hitachi ZX350-6 (экскаваторы) выполняют выемку грунта на глубину 3,5 м (8 ч/день). Caterpillar D6T (бульдозер) выравнивает дно и откосы канала (6 ч/день).

Таблица 1. Необходимые машины для облицовки бетонными плитами

Table 1. Necessary machines for concrete slab cladding

Техника <i>Equipment</i>	Марка/Модель <i>Make / Model</i>	Характеристики <i>Characteristics</i>	Количество <i>Quantity</i>	Задачи <i>Tasks</i>
Экскаватор <i>Excavator</i>	Hitachi ZX350-6	Ковш 1,6 м ³ , мощность 203 л.с. <i>Bucket 1.6 m³, power 203 hp.</i>	2	Выемка грунта, планировка дна <i>Soil excavation, bottom planning</i>
Бульдозер <i>Bulldozer</i>	Caterpillar D6T	Ширина отвала 3,7 м, мощность 215 л.с. <i>Blade width 3.7 m, power 215 hp.</i>	1	Выравнивание дна и откосов <i>Leveling the bottom and slopes</i>
Кран <i>Crane</i>	Liebherr LTM 1050-3.1	Грузоподъемность 50 т, стрела 42 м <i>Load capacity 50 t, boom 42 m</i>	2	Укладка плит <i>Laying slabs</i>
Погрузчик <i>Loader</i>	Volvo L350H	Грузоподъемность 18 т <i>Load capacity 18 t</i>	1	Разгрузка плит <i>Unloading of slabs</i>
Виброплита <i>Vibratory plate</i>	Wacker Neuson DPU6050	Вес 650 кг, сила уплотнения 25 кН <i>Weight 650 kg, compaction force 25 kN</i>	2	Уплотнение песчано-гравийной подушки <i>Compaction of sand and gravel cushion</i>

Таблица 2. График работ с бетонными плитами

Table 2. Schedule of work with concrete slabs

Этап Stage	Дни Days	Техника/Персонал Equipment/Personnel	Детали Details
Доставка плит Delivery of slabs	10	20 фур/день 20 trucks / day	194 рейса 194 trips
Выгрузка Unloading	2	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Складирование Warehousing	1	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Подготовка канала Preparing the channel	5	2 × Hitachi ZX350-6, Caterpillar D6T	Выемка 3000 м³ грунта Excavation of 3,000 m³ of soil
Укладка плит Laying slabs	14	2 × Liebherr LTM 1050-3.1	58 плит/день 58 slabs / day
Герметизация швов Sealing of seams	2	Вспомогательный персонал Support staff	425 м³ раствора 425 m³ of solution
Контроль качества Quality control	1	Инженеры Engineers	Проверка уровня и герметичности Checking the level and sealing
Итого Total	35 дня 35 days		

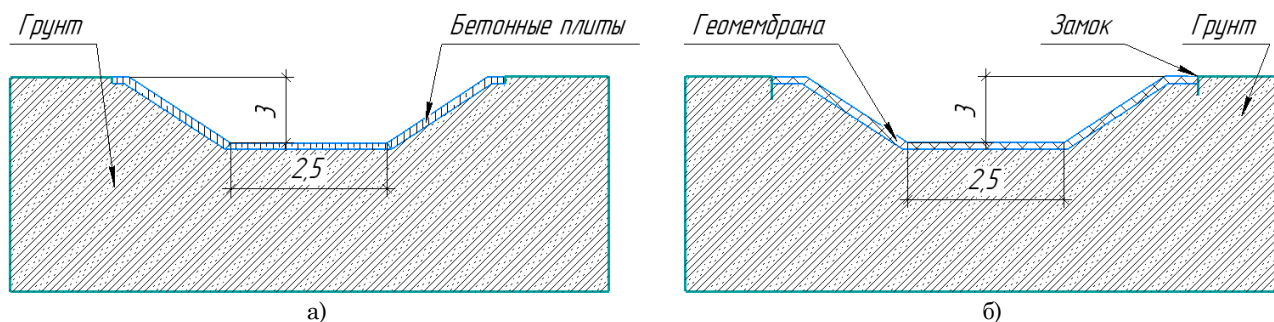
Рис. 1. Схематичные схемы укладки:
а) бетонных плит; б) композитного материала

Fig. 1. Schematic diagrams of laying

a) concrete slabs, b) composite material

– Дни 16-17. Volvo L350H (погрузчик) разгружает и складировает 806 бетонных плит (10 ч/день).

– Дни 18-32. 2 × Liebherr LTM 1050-3.1 (краны) укладывают 58 плит/день (8 ч/день).

– Дни 33-34. Рабочие герметизируют швы с помощью бетононасоса Putzmeister BSA 1409 D (расход – 425 м³ раствора).

Привлекаемые кадры

– монтажники – 8 чел. (укладка плит, контроль уровня);

– операторы техники – 5 чел. (2 экскаватора, 1 бульдозер, 2 крана);

– вспомогательный персонал – 5 чел. (поднос материалов, очистка);

– итого – 18 чел.

Материалы

Бетонные плиты:

– 3 × 6 м (для дна): $2500 \text{ м}^2 / 18 \text{ м}^2 = 139$ плит (вес – 9 т/шт.).

– 1,5 × 6 м (для стенок): $6000 \text{ м}^2 / 9 \text{ м}^2 = 667$ плит (вес – 4,5 т/шт.).

– Всего: 806 плит (общий вес – 4846,5 т).

– Песчано-гравийная подушка – толщиной 15 см в объеме 1275 м³.

– Цементный раствор для швов – 425 м³.

Логистика

Фуры (25 т) – 194 рейса; график доставки – 20 фур/день → 10 дней.

Технологический процесс для облицовки бетонными плитами:

$$T_{\text{бетон}} = T_{\text{д.}} + T_{\text{в.}} + T_{\text{скл.}} + T_{\text{п.}} + T_{\text{у.}} + T_{\text{г.}} + T_{\text{к.к.}},$$

где $T_{\text{д.}}$ – время доставки бетонных плит на участок; $T_{\text{в.}}$ – время выгрузки плит; $T_{\text{скл.}}$ – время на складирование бетонных плит недалеко от места проводимых работ; $T_{\text{п.}}$ – время подготовки участка канала (очистка, выравнивание, укладка геотекстиля, подготовка песчано-гравийной подушки); $T_{\text{у.}}$ – время укладки бетонных плит; $T_{\text{г.}}$ – время герметизации швов между плитами; $T_{\text{к.к.}}$ – время контроля качества облицовки.

Расчет продолжительности работы по технологическому процессу

Для бетонной облицовки:

Т_{д.} = 10 дней (доставка плит);
Т_{в.} = 2 дня; Т_{скл.} = 1 день; Т_{п.} = 5 дней; Т_{у.} = 14 дней; Т_{г.} = 2 дня; Т_{к.к.} = 1 день; Т_{бетон} = 10 + 2 + 1 + 5 + 14 + 2 + 1 = 35 дней.

График работы техники

– Дни 1-3. JCB JS220 выполняет подготовку канала (8 ч/день).

– День 4. КамАЗ-6520 доставляет все материалы.

– Дни 5-9. Hyundai HL940TM монтирует геомембрану (3 рулона/день).

– Дни 10-11. Монтажники закрепляют анкеры с помощью Husky KH700.

Привлекаемые кадры

– монтажники – 6 чел. (раскатка, крепление); операторы техники – 3 чел. (экскаватор, кран); вспомогательный персонал – 4 чел.

Итого: 13 чел.

Таблица 2. График работ с бетонными плитами

Table 2. Schedule of work with concrete slabs

Этап Stage	Дни Days	Техника/Персонал Equipment/Personnel	Детали Details
Доставка плит Delivery of slabs	10	20 фур/день 20 trucks / day	194 рейса 194 trips
Выгрузка Unloading	2	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Складирование Warehousing	1	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	806 плит 806 slabs
Подготовка канала Preparing the channel	5	2 × Hitachi ZX350-6, Caterpillar D6T	Выемка 3000 м³ грунта Excavation of 3,000 m³ of soil
Укладка плит Laying slabs	14	2 × Liebherr LTM 1050-3.1	58 плит/день 58 slabs / day
Герметизация швов Sealing of seams	2	Вспомогательный персонал Support staff	425 м³ раствора 425 m³ of solution
Контроль качества Quality control	1	Инженеры Engineers	Проверка уровня и герметичности Checking the level and sealing
Итого Total	35 дня 35 days		

Таблица 3. Необходимые машины для облицовки композитными материалами

Table 3. Necessary machines for cladding with composite materials

Техника Equipment	Марка/Модель Brand/Model	Характеристики Characteristics	Количество Quantity	Задачи Tasks
Экскаватор Excavator	JCB JS220	Ковш 1,2 м³, мощность 160 л.с. Bucket 1.2 m³, power 160 hp.	1	Выемка грунта (глубина 3,5 м), планировка дна Excavation (depth 3.5 m), bottom planning
Бульдозер Bulldozer	Caterpillar D6T	Мощность: 215 л.с. Ширина отвала: 3,7 м Масса: 21,5 т Power: 215 hp Blade width: 3.7 m Weight: 21.5 t	1	Выравнивание дна и откосов Leveling the bottom and slopes
Складирование, выгрузка Warehousing, unloading	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	Грузоподъемность 18 т Load capacity 18 t	1	Складирование и выгрузка композитного материала Storage and unloading of composite material
Кран-манипулятор Crane-manipulator	Hyundai HL940TM	Грузоподъемность 3,5 т, стрела 21 м Load capacity 3.5 t, boom 21 m	1	Монтаж геомембраны Installation of geomembrane
Грузовик Truck	КамАЗ-6520	Грузоподъемность 20 т Load capacity 20 t	1	Доставка материалов Delivery of materials

Материалы

- геомембрана (HDPE, 2 мм) – 15 рулонов (600 м² каждый) → 10,2 т.
- геотекстиль (500 г/м²) – 8500 м² → 4,25 т.
- анкеры – 34000 шт. → 3,4 т.

Логистика

1 рейс – КамАЗ-6520 (все материалы: 17,85 т).

Технологический процесс для облицовки композитным материалом

$$T^{\text{комполит}} = T^{\text{д.}} + T^{\text{в.}} + T^{\text{скл.}} + T^{\text{п.}} + T^{\text{у.}} + T^{\text{м.}} + T^{\text{г.}} + T^{\text{к. анк.}} + T^{\text{к.к.}},$$

где $T^{\text{д.}}$ – время доставки материалов на участок; $T^{\text{в.}}$ – время выгрузки материалов; $T^{\text{скл.}}$ – время на складирование композитных материалов недалеко от места проводимых работ; $T^{\text{п.}}$ – время подготовки участка канала (очистка, выравнивание); $T^{\text{у.}}$ – время на укладку

материала; $T^{\text{м.}}$ – время монтажа композитных панелей; $T^{\text{г.}}$ – время, требуемое для сварки материала; $T^{\text{к. анк.}}$ – время, необходимое для крепления композитного материала анкерами; $T^{\text{к.к.}}$ – время контроля качества облицовки.

Расчет продолжительности работы по технологическому процессу

Для композитной облицовки:

$$T^{\text{д.}} = 1 \text{ день (доставка материалов); } T^{\text{в.}} = T^{\text{с.}} = 1 \text{ день; } T^{\text{п.}} = 3 \text{ дня;}$$

$$T^{\text{у.}} = 2 \text{ дня; } T^{\text{м.}} = 5 \text{ дней; } T^{\text{к. анк.}} = 2 \text{ дня; } T^{\text{к.к.}} = 1 \text{ день.}$$

$$T^{\text{комполит}} = 1 + 1 + 3 + 2 + 5 + 2 + 1 = 15 \text{ дней.}$$

Вывод. Укладка композитной облицовки в 2,4 раза быстрее и требует на 194 рейса меньше.

Таблица 4. График работ с композитными материалами

Table 4. Schedule of works with composite materials

Этап Stage	Дни Days	Техника/Персонал Equipment / Personnel	Детали Details
Доставка материалов Delivery of materials	1	КамАЗ-6520 KamAz-6520	17,85 т 17,85 t
Выгрузка / Unloading	1	Погрузчик Volvo L350H Volvo L350H Loader	17,85 т 17,85 t
Подготовка канала Preparing the channel	3	JCB JS220	Выемка 1500 м³ грунта Excavation of 1,500 m ³ of soil
Укладка геотекстиля Laying geotextiles	2	Вспомогательный персонал Support staff	8500 м² 8500 m ²
Монтаж геомембраны Installation of geomembrane	5	Hyundai HL940TM	3 рулона/день 3 rolls / day
Крепление анкерами Fastening with anchors	2	Вспомогательный персонал Support staff	34 000 шт. 34 000 pcs.
Контроль качества Quality control	1	Инженеры Engineers	Проверка герметичности Checking for sealing
Итого / Total	15 дней 15 days		

Таблица 5. Техничко-технологические показатели сравниваемых технологий

Table 5. Technical and technological indicators of the compared technologies

Параметр Parameter	Бетонные плиты Concrete slabs	Композитная облицовка Composite cladding
Техника Equipment	6 ед. (2 крана, 2 экскаватора, 1 бульдозер, 1 погрузчик) 6 units (2 cranes, 2 excavators, 1 bulldozer, 1 loader)	3 ед. (1 экскаватор, 1 кран, 1 погрузчик) 3 units (1 excavator, 1 crane, 1 loader)
Привлекаемые кадры Personnel to be recruited	18 чел. 18 people.	13 чел. 13 people.
Материалы Materials	806 плит (4846,5 т) 806 slabs (4,846.5 t)	15 рулонов геомембраны + 8500 м² геотекстиля + 34000 анкеров 15 rolls of geomembrane + 8,500 m ² of geotextile + 34,000 anchors
Доставка / Delivery	194 рейса / 194 trips	1 рейс / 1 trip
Сроки / Deadlines	34 дня / 34 days	14 дней / 14 days

Таблица 6. Сводная таблица сравнения затрат
Table 6. Cost comparison summary table

Параметр Parameter	Бетонные плиты Concrete slabs	Композитные материалы Composite materials
ГСМ Fuel and lubricants	8132 л (570 000 руб) 8132 l (570 000 rbl)	1110 л (80 000 руб) 1110 l (80 000 rbl)
Доставка техники / Delivery of equipment	700 000 руб/rbl	300 000 руб/rbl
Аренда техники / Equipment rental	688 000 руб/rbl	232 000 руб/rbl
Итого (без материалов) / Total (excluding materials)	2,96 млн руб/ mln rbl	612 тыс. Руб/ thousand rbl

Технико-экономическое сравнение облицовки канала (1 км.)

Типы плит и объемы. Плиты 3×6 м для дна: $2500 \text{ м}^2 / 18 \text{ м}^2 = 139$ плит (вес – 9 т/шт.); плиты $1,5 \times 6$ м для стенок: $6000 \text{ м}^2 / 9 \text{ м}^2 = 667$ плит (вес – 4,5 т/шт.);

всего: 806 плит, общий вес – 4846,5 т; песчано-гравийная подушка: 1275 м^3 ; цементный раствор для швов – 425 м^3 .

Логистика. Фуры (25 т): $4846,5 / 25 = 194$ рейса; график доставки: 20 фур/день $\rightarrow$ $\rightarrow$ 10 дней; стоимость доставки: $50 \text{ км} \times \times 40 \text{ руб/км} \times 194 \text{ фур} = 388000 \text{ руб.}$

Стоимость материалов и монтажа. Материал: $8000 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 68000000 \text{ руб.}$; монтаж: $2400 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 20400000 \text{ руб.}$

Итого: 88788000 руб. (с доставкой).

Композитный материал

Состав комплекта: геомембрана – 15 рулонов по $600 \text{ м}^2 \rightarrow 10,2 \text{ т}$; геотекстиль (500 г/м^2): $8500 \text{ м}^2 \rightarrow 4,25 \text{ т}$; анкеры: 34000 шт. $\rightarrow 3,4 \text{ т}$; общий вес: $17,85 \text{ т} \rightarrow 1$ рейс КамАЗ-6520; доставка: $50 \text{ км} \times 40 \text{ руб/км} \times 1 \text{ рейс} = 2000 \text{ руб.}$

Стоимость материалов и монтажа. Геомембрана: $2200 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 18700000 \text{ руб.}$; геотекстиль: 510000 руб. ; анкеры: 680000 руб. ; монтаж: $1200 \text{ руб/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 10200000 \text{ руб.}$

Итого: 30092000 руб. (с доставкой).

Итоговое сравнение экономических показателей технологий представлено в таблицах 6, 7.

Полная стоимость облицовки канала определяется следующим образом.

1. Бетонные плиты:

$$C_{\text{ц}} (\text{бетон}) = C_m + C_s + C_l + C_e + C_t + C_k,$$

где C_m – стоимость бетонных плит; C_s – стоимость строительно-монтажных работ; C_l – затраты на логистику (транспортировка); C_e – эксплуатационные затраты на 30 лет; C_t – затраты на герметизацию, швы и финишную обработку; C_k – контроль качества, лабораторные испытания и приемка.

2. Композитный материал (геомембрана):

$$C_{\text{ц}} (\text{композит}) = C_m' + C_s' + C_l' + C_e' + C_k',$$

где C_m' – стоимость композитной мембраны и анкеров; C_s' – стоимость монтажных и крепежных работ; C_l' – логистика (обычно 1 рейс); C_e' – эксплуатационные затраты на 30 лет; C_k' – контроль качества + герметизация швов

T бетонная плита $> T'$ композит

Выполнив анализ и расчеты, можно сделать вывод о том, что укладка композитного материала в 2,4 раза быстрее и требует на 194 рейсов меньше, а с экономической точки зрения применение композитного материала является в 3 раза более выгодным.

$$C = \frac{\text{Полная стоимость материалов и работ для облицовки}}{\text{Площадь канала}}, \text{ руб/м}^2$$

Таблица 7. Сравнительная таблица

Table 7. Comparative table

Материал Material	Материал + Монтаж (млн руб) Material + Installation (million rubles)	Доставка (руб) Delivery (rbl)	Итого (млн руб) Total (million rubles)	Количество рейсов Number of trips
Бетонные плиты Concrete slabs	90,7	388 000	90,49	194
Геомембрана Geomembrane	30,7	2000	30,702	1

Таблица 8. Срок службы и обслуживание

Table 8. Service life and maintenance

Материал Material	Срок службы, лет Service life, years	Обслуживание, млн руб Maintenance, million rubles	Затраты с учётом эксплуатации, млн Costs including operation, million
Бетонные плиты / Concrete slabs	20-30	16,6	107,09
Геомембрана / Geomembrane	30-50	4,2	34,902

$$\text{Сбет. плит} = \frac{107,09 \text{ млн руб.}}{8500 \text{ м}^2} = 12599, \text{ руб/м}^2$$

$$\text{Ском. мат} = \frac{34,902 \text{ млн руб.}}{8500 \text{ м}^2} = 4106, \text{ руб/м}^2$$

С (себестоимость + проводимые работы) ком. мат. < С (себестоимость + проводимые работы) бет. плит – в 3,06 раза.

Выводы и рекомендации заключаются в следующем:

– Геомембрана позволяет сократить затраты на этапе строительства примерно до 34%; существенно более низкими являются затраты на логистику: 1 рейс против 194.

– Более простой и быстрый монтаж.

– Эксплуатационные расходы в 3,95 раза меньше.

– Срок эксплуатации выше, чем с бетонными плитами.

Экономическая составляющая также играет ключевую роль. Первоначальные затраты на бетонные плиты могут казаться оправданными ввиду их кажущейся монументальности, но в долгосрочной перспективе частые ремонты и необходимость реконструкции делают этот вариант менее выгодным. Композитные материалы, напротив, требуют меньших вложений на этапе строительства и практически исключают затраты на обслуживание в первые 20-30 лет эксплуатации. Для сельскохозяйственных предприятий, которые часто работают с ограниченными бюджетами, это может стать решающим фактором [9].

Технологическая адаптивность – еще один аспект, который отличает композитные материалы. В условиях нестабильных грунтов или

сейсмической активности геомембрана благодаря своей гибкости компенсирует подвижки почвы без образования трещин. Бетонные плиты в таких условиях быстро теряют целостность, требуя дорогостоящего укрепления основания. Кроме того, композиты позволяют реализовывать сложные гидравлические профили каналов, тогда как монтаж бетонных плит ограничен их стандартными размерами и формой [10]. Однако у композитных материалов есть и ограничения.

Геомембраны являются чувствительными к механическим повреждениям при монтаже и эксплуатации, поэтому требуют аккуратной укладки и обязательного защитного слоя (песок, гравий, геотекстиль). Кроме того, в регионах с экстремальными температурами или агрессивными химическими средами необходимо тщательно подбирать тип полимера для геомембраны, чтобы избежать ее деградации [11].

Выводы

Проведенные исследования и экономические расчеты показывают, что для облицовки 1 км канала площадью 8500 м² с использованием бетонных плит потребуются общие затраты в 107,09 млн руб., а с применением композитных материалов – 34,902 млн руб. Из расчетов следует, что себестоимость облицовки 1 м² канала бетонной плитой составит 12599 руб., а себестоимость с использованием композитного материала – 4106 руб., то есть 1 м² облицовки канала из композитного материала в 3,06 раза дешевле, чем бетонная облицовка. Также при использовании композитных материалов в 2,34 раза увеличивается скорость укладки.

References

1. Abdrazakov F.F., Rukavishnikov A.A., Khalmetov A.A., Povarov A.V. (2019). Problems of Irrigation Channels and Modern Methods of Their Technical Improvement due to Innovative Concrete Materials and Technologies. 10.2991/isees-19.2019.73.
2. Koerner R.M., Koerner G.R. Durability and long-term performance of geomembranes: 30-year forensic analysis of field samples / Geosynthetic Institute. 2017. GRI Report #44. URL: <https://www.geomembrane.com/technical-info/durability/30-year-forensic-analysis.html> (дата обращения: 14.05.2025).
3. Абдразаков Ф.К. Применение геокомпозитных материалов для облицовки оросительных каналов / Ф.К. Абдразаков Э.Э. Сафин // Основы рационального природопользования: материалы X Нац. конф. с междунар. участием, Саратов, 15 ноября 2024 г. Саратов: СГСХА, 2024. С. 3-8. EDN: OEWOY
4. Ахметзянов Ф.Х. Классификация повреждений бетона, предпосылки оценки его остаточной несущей способности в строительных элементах бетона при отсутствии и наличии армирования с простым механическим нагружением // Известия КазГАСУ. 2009. № 2 (12).
5. Зверев А.О. Экспериментальные исследования работы геомембран / А.О. Зверев, М.П. Саинов //
1. Abdrazakov F.F., Rukavishnikov A.A., Khalmetov A.A., Povarov A.V. (2019). Problems of Irrigation Channels and Modern Methods of Their Technical Improvement due to Innovative Concrete Materials and Technologies. 10.2991/isees-19.2019.73.
2. Koerner R.M., Koerner G.R. Durability and long-term performance of geomembranes: 30-year forensic analysis of field samples / Geosynthetic Institute. – 2017. – GRI Report #44. URL: <https://www.geomembrane.com/technical-info/durability/30-year-forensic-analysis.html> (date of address: 14.05.2025).
3. Abdrazakov F.K. Application of geocomposite materials for lining irrigation channels / F.K. Abdrazakov, E.E. Safin // Fundamentals of rational nature management: materials of the X National Conference with international conferences participation, Saratov, November 15, 2024. Saratov: SGSHA, 2024. P. 3-8. EDN: OEWOY
4. Akhmetzyanov F.H. Classification of concrete damage, prerequisites for assessing its residual bearing capacity in concrete building elements in the absence and presence of reinforcement with simple mechanical loading // KazGASU News. 2009. № 2 (12).

Вестник евразийской науки. 2018. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-raboty-geomembran> (дата обращения: 14.05.2025).

6. Абдразаков Ф.К. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации / Ф.К. Абдразаков, А.А. Рукавишников, Э.Э. Сафин // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 2. С. 32-36. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-32-36. EDN: JGRZRN

7. Чернов А.Н. Противофильтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления: дис. канд. техн. наук. М.: РУДН, 2014. 146 с. URL: <https://tekhnosfera.com/protivofiltratsionnye-konstruktsii-kanalov-i-vodoemov-s-primeneniem-geomembran-iz-polietilena-vysokogo-i-nizkogo-davleniy> (дата обращения: 14.05.2025).

8. Способ ремонта бетонных облицовок оросительных каналов: пат. RU2612419 C2 Российская Федерация. № 2015108263; заявл. 12.03.2015; опубл. 27.02.2017 / Е.И. Баев, А.А. Косиченко, А.П. Качанов. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2612419C2/ru> (дата обращения: 16.05.2025).

9. Баев О.А. Вопросы реконструкции крупных каналов и оценка их эффективности / О.А. Баев О.А., М.Ю. Косиченко // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 4. С. 287-301. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301. EDN: QMDUPX

10. Песков А.Н. Применение композитных материалов в современном строительстве / А.Н. Песков, Н.В. Шешенев // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф., Рязань, 17-19 апреля 2019 г. – Рязань: Рязаньпроект, 2019. С. 213-215. EDN: LEBSGZ

11. Феоктистов Д.О. Влияние композитных материалов на долговечность и водонепроницаемость строительных конструкций // Актуальные исследования. 2022. № 13 (92). URL: <https://apni.ru/article/3930-vliyanie-kompozitnyh-materialov-na-dolgovechnost-i-vodonepronizhaemost-stroitelnyh-konstrukcij>

Об авторах

Фярид Кинжаевич Абдразаков, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК»; <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>; abdrzakov.fk@mail.ru

Эмиль Эдиикович Сафин, аспирант, ассистент кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК»; <https://orcid.org/0000-0003-3203-9703>; mister.safimil@yandex.ru

Андрей Алексеевич Рукавишников, канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК»; <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>; andreirukavishn@gmail.com

Критерии авторства / Criteria of authorship

Абдразаков Ф.К., Сафин Э.Э., Рукавишников А.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 17.04.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2025

5. Zverev A.O. Experimental studies of geomembrane operation / A.O. Zverev, M.P. Sainov // Bulletin of Eurasian Science 2018. No. 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-raboty-geomembran> (date of address: 14.05.2025).

6. Abdrazakov F.K. Coating irrigation channels with innovative concrete sheets and adaptive methods of their operation / F.K. Abdrazakov, A.A. Rukavishnikov E. E Safin // Melioration and water management. – 2023. – No. 2. – P. 32-36. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-32-36. EDN: JGRZRN

7. Chernov A.N. Antifiltration structures of channels and reservoirs using geomembranes made of high- and low-pressure polyethylene: Candidate of Technical Sciences, Moscow: RUDN University, 2014, 146 p. URL: <https://tekhnosfera.com/protivofiltratsionnye-konstruktsii-kanalov-i-vodoemov-s-primeneniem-geomembran-iz-polietilena-vysokogo-i-nizkogo-davleniy> (date of request: 14.05.2025).

8. Method of repair of concrete linings of irrigation channels: pat. RU2612419 C2 Russian Federation. No. 2015108263; application no. 12.03.2015; published on 27.02.2017 / E.I. Baev, A.A. Kosichenko, A.P. Kachanov. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2612419C2/ru> (date of address 14.05.2025).

9. Baev O.A., Kosichenko M.Y. Issues of reconstruction of large channels and assessment of their effectiveness / O.A. Baev, M.Y. Kosichenko // Land reclamation and hydraulic engineering. – 2021. – Vol. 11, No. 4. – P. 287-301. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301. EDN: QMDUPX

10. Peskov A.N., Sheshenev N.V. Application of composite materials in modern construction / A.N. Peskov, N.V. Sheshenev // New technologies in the educational process and production: materials of the XVII International Scientific and Technical Conference, Ryazan, April 17-19, 2019. Ryazan: Ryazanproject, 2019. P. 213-215. EDN: LEBSGZ

11. Feoktistov D.O. Influence of composite materials on durability and water resistance of building structures // Current research. 2022. № 13 (92). URL: <https://apni.ru/article/3930-vliyanie-kompozitnyh-materialov-na-dolgovechnost-i-vodonepronizhaemost-stroitelnyh-konstrukcij>

About the authors

Fyarid K. Abdrazakov, Honored Scientist of the Russian Federation, DSs (Tech), Professor, Professor of the Department of Hydro-Melioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex; <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>; abdrzakov.fk@mail.ru

Emil E. Safin, Postgraduate Student, Assistant at the Department of Hydro-Melioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex; <https://orcid.org/0000-0003-3203-9703>; mister.safimil@yandex.ru

Andrey A. Rukavishnikov, CSs (Eng), Associate Professor at the Department of Hydromelioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex; <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>; andreirukavishn@gmail.com

F.K. Abdrazakov, E.E. Safin, A.A. Rukavishnikov performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.