



(24)-0411-1

## ЭКОНОМИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЕ МЕТАЛЛА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Виктор Николаевич Левченко<sup>1</sup>, Сергей Николаевич Машталер<sup>2</sup>,  
Елена Николаевна Оленич<sup>3</sup>, Наталья Сергеевна Смирнова<sup>4</sup>,  
Александр Андреевич Храмогин<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия  
<sup>1</sup>v.n.levchenko@donnasa.ru, <sup>2</sup>s.n.mashtaler@donnasa.ru, <sup>3</sup>e.n.olenich@donnasa.ru, <sup>4</sup>n.s.smirnova@donnasa.ru,  
<sup>5</sup>a.a.hramogin@donnasa.ru

**Аннотация.** Важнейшей задачей строительной отрасли является проблема снижения материалоемкости, напрямую связанная со сметной стоимостью строительства. Основными факторами при этом являются: трудоемкость и фондоемкость продукции. В статье рассмотрены основные направления повышения эффективности капитальных вложений при снижении материалоемкости строительства путем экономии материальных ресурсов с помощью антикоррозионной защиты металла в строительстве. Значимость проблемы определяется тем, что строительство является одной из самых материалоемких отраслей народного хозяйства (в строительстве используется более 20 % вырабатываемых в стране черных металлов). Качество конструктивных решений во многом определяется тем, насколько они соответствуют требованиям производства, экономичны в изготовлении и монтаже и, что весьма важно, эксплуатации. Взяв во внимание последний фактор в применении к стальным конструкциям, ключевым встает вопрос о коррозии металла, ведь ежегодно прямые потери составляют примерно 1 %, а косвенные достигают 25 % от объема производимых конструкций. Таким образом проблемы снижения и экономии материальных ресурсов строительства входят в число первоочередных заданий строительной отрасли.

**Ключевые слова:** материалоемкость, антикоррозионная защита, коррозия, агрессивная среда

**Для цитирования:** Экономия материальных ресурсов при антикоррозионной защите металла в строительстве / В. Н. Левченко [и др.]. // *Металлические конструкции*. 2024. Том 30, № 3. С. 135–146. doi: 10.71536/mc.2024.v30n3.3. edn: hnnjrq.

Original article

## SAVING OF MATERIAL RESOURCES DURING CORROSION PROTECTION OF METAL IN CONSTRUCTION

Victor N. Levchenko<sup>1</sup>, Sergey N. Mashtaler<sup>2</sup>, Elena N. Olenich<sup>3</sup>, Natalia S. Smirnova<sup>4</sup>,  
Aleksandr A. Khrmogin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia  
<sup>1</sup>v.n.levchenko@donnasa.ru, <sup>2</sup>s.n.mashtaler@donnasa.ru, <sup>3</sup>e.n.olenich@donnasa.ru, <sup>4</sup>n.s.smirnova@donnasa.ru,  
<sup>5</sup>a.a.hramogin@donnasa.ru

**Abstract.** The most important task of the construction industry is the problem of reducing material consumption, which is directly related to the estimated cost of construction. The main factors in this case are: labor intensity and capital intensity of products. The article discusses the main directions of increasing



the efficiency of capital investments while reducing the material consumption of construction by saving material resources through corrosion protection of metal in construction. The importance of the problem is determined by the fact that construction is one of the most material-intensive branches of the national economy (more than 20 % of the ferrous metals produced in the country are used in construction). The quality of design solutions is largely determined by how much they meet production requirements, are economical to manufacture and install, and, most importantly, operate. Taking into account the latter factor when applied to steel structures, the key question is about metal corrosion, because every year direct losses amount to about 1 %, and indirect losses reach 25 % of the volume of structures produced. Thus, the problems of reducing and saving the material resources of construction are among the priorities of the construction industry.

**Keywords:** material consumption, anti-corrosion protection, corrosion, aggressive environment

**For citation:** Saving of material resources during corrosion protection of metal in construction / V. N. Levchenko [et al.]. *Metal Constructions*. 2024;30(3): 135–146. (in Russ.). doi: 10.71536/mc.2024.v30n3.3. edn: hnnjrq.

## Введение

Применение для стальных конструкций эффективных марок стали и экономичных профилей проката позволяет снизить металлопотребление (без труб и рельсов) строительства примерно на 0,5–1 %. Вместе с этим 10 % выплавляемого в России металла ежегодно тратится на возмещение прокорродировавшего металла в построенных объектах. Поэтому следующим крупным резервом экономии металла в строительстве, и особенно при прогнозировании перспективной его потребности, является антикоррозионная защита стальных конструкций [5].

## Анализ исследований и публикаций

По данным академика Б. М. Колотилкина и к.т.н. В. Новаковского в бывшем СССР ежегодные прямые потери народного хозяйства от коррозии металла ориентировочно оценивались в 4 % национального дохода (или около 14 млрд руб.) [1].

Проведено довольно много исследований (в том числе и в ДОННАСА [2; 12; 13]) по вопросу антикоррозионной защиты металла и разработки требования к черной металлургии по обеспечению антикоррозионной защиты проката для стальных строительных конструкций, арматуры сборного и монолитного железобетона [4; 16–18].

Естественно, коррозионные потери металла напрямую связаны с экономическими аспектами, подтвержденными в научных публикациях [3–8; 14], что является одним из ключевых аспектов в разработке эффективных конструкций.

## Описание объекта исследования

Объектом исследования является коррозионные повреждения металлических строительных конструкций и элементов.

## Цель работы

Анализ факторов влияющих на коррозионные потери металла строительных конструкций, разработка прогнозных предложений по коррозионной защите стали.

## Основной материал

На основе анализа тенденций развития строительства с учетом влияния научно-технического прогресса были сделаны заключения [2; 6; 7]:

- а) обоснованы методические подходы к выявлению потребности строительства в защите металла строительных конструкций от коррозии и к обоснованию экономической эффективности антикоррозионной защиты металла в строительстве;
- б) приведены расчеты потребности строительства в металле, защищенном от коррозии:
  - на выпуск сборного и монолитного железобетона с показателями объемов, структуры и сортамента металла;
  - на строительные металлоконструкции с приведением объемов и структуры стали эффективных марок и экономичных профилей проката;
  - на прочие нужды строительства.

В прогнозных работах объемы потребности в металле показаны во взаимодействии с динамикой расхода металла с антикоррозионной защитой на производство единицы продукции строительства (расход на 1 млн руб. сметной стоимости строительно-монтажных работ).

Исследования различных научных организаций и лабораторий показали, что из-за коррозии теряется около 10 % производимого металла в стране. Народнохозяйственные потери от коррозии не ограничиваются стоимостью ежегодной потери металла, а состоят из затрат на защиту строительных вложений, повышенных расходов на ремонтно-восстановительные работы. Сюда же относятся и потери, связанные с простоем основных производственных фондов предприятий, а также со снижением выпуска продукции во время проведения ремонтов и восстановительной защиты от коррозии.

Полные потери от коррозии подразделяются на прямые и косвенные. К прямым относятся все затраты непосредственно на защиту, ремонт и восстановление самих материальных ценностей, подвергающихся коррозионному разрушению. К косвенным – те убытки, которые порождаются ухудшением эксплуатационных характеристик производства, его простоями, выпуском загрязненной продукции и т. п. [8; 9].

Потери от коррозии металла и расходы по их защите ежегодно возрастают. Проблемы защиты металла от коррозии приобретают большое экономическое и социальное значение. Бурное развитие химии, энергетики и других областей техники резко усиливает агрессивные воздействия на металл как со стороны технологических сфер, так и со стороны все более загрязняемой природной среды. В результате темпы роста коррозионных потерь металла в народном хозяйстве в последнее время значительно превышают темпы роста производства металла.

Еще 20–25 лет назад на восстановление коррозионных потерь расходовалось примерно 10 % выплавляемого металла. С тех пор его доля, расходуемая на ремонт и замену прокорродировавшего металла, не только не уменьшилась, а и возросла. При таких масштабах неконтролируемый рост коррозионных потерь уже не может не мешать выполнению развития народного хозяйства [8; 9].

В строительстве прямые потери от коррозии металла конструкций зданий и сооружений,

подвергающихся действию агрессивных сред, в России ориентировочно оцениваются в размере 1,5 млрд руб. в год. Строительные конструкции производственных зданий и сооружений на промышленных предприятиях металлургической, химической, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, а также сельскохозяйственных зданий и животноводческих помещений подвержены интенсивному воздействию агрессивных сред. Агрессивные воздействия (включая атмосферные) наблюдаются также в зданиях и сооружениях энергетики, транспорта и водохозяйственного строительства. В таблице 1 проведено ориентировочное распределение агрессивных сред в производственных зданиях основных отраслей промышленности и сельского хозяйства в России.

Не менее существенны потери в нефте- и газопроводах, подземных и подводных трубопроводах. Срок службы неизолированных стальных трубопроводов в грунте не превышает 3–5 лет. Применяемая битумная изоляция обеспечивает защиту металлических труб в течение 10–15 лет, а в солончаковых грунтах битумная защита разрушается за 2–3 года. При значительных масштабах подземного строительства можно предполагать, что ежегодная потеря металла под воздействием подземной коррозии превышает 200–300 тыс. тонн. В настоящее время все больше для прокладки используются металлопластиковые и пластиковые трубы. Постоянно увеличиваются объемы замены старых металлических труб.

В действующих нормативных документах дается классификация агрессивных сред (слабая, средняя, сильная) в производствах различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. Агрессивная среда выступает в виде газообразной, жидкой и пылеобразной среды в сочетании с различной влажностью воздуха и температурными перепадами. Наличие агрессивных сред, их концентрацию и химический состав определяют по данным исследований, проведенных химическими лабораториями или службами технической эксплуатации зданий и сооружений. В отдельных случаях степень воздействия агрессивной среды определяется по состоянию конструкций, незащищенных от коррозии, которые обследованы специализированными проектными или научно-исследовательскими организациями (табл. 2) [2; 12; 13].

**Таблица 1.** Распределение агрессивных сред в производственных зданиях промышленности и сельского хозяйства, %

Наименование производственных предприятий промышленности и сельского хозяйства	Характеристика производственной среды			
	неагрессивная	слабо агрессивная	средне агрессивная	сильно агрессивная
Производственные здания по промышленности:				
металлургической	10	45	25	20
химической и нефтехимической	5	10	25	60
машиностроения и металлообработки	50	38	10	2
целлюлозно-бумажной	30	35	15	20
легкой и пищевой	20	50	25	5
прочих отраслей	94	3	2	1
Сельскохозяйственные производственные зданий:				
фермы крупного рогатого скота	15	30	50	5
свиноводческие и свиноматочные фермы	5	15	70	10
птицеводческие комплексы	10	75	12	3
склады минеральных удобрений	–	35	50	15
станции технического обслуживания сельхоз-техники	10	20	60	10
прочие сельскохозяйственные производства	70	20	8	2

**Таблица 2.** Ориентировочная оценка воздействия агрессивных сред на незащищенные металлические конструкции

Степень агрессивности среды	Скорость равномерной коррозии поверхности металла, мм/год	Среднегодовая потеря несущей способности конструкции при эксплуатации, %
Слабая	до 0,1	5
Средняя	0,1–0,5	10
Сильная	более 0,5	15

**Примечания:** 1. Среднегодовая потеря несущей способности конструкций в процессе эксплуатации по результатам натурных обследований нескольких лет (не менее трех), специальных испытаний оценки и экспертной оценки. 2. Предполагается, что конструкции изготовлены из материалов, удовлетворяющих требованиям нормативных документов, и подлежат капитальному ремонту или замене при потере 40–60 % несущей способности от действия расчетных нагрузок.

Для сохранения зданий и сооружений на предприятиях проводятся плано-предупредительные ремонты, которые подразделяются на капитальные и текущие. Фактические годовые затраты на текущие ремонты составляют 13–43 % среднегодовых расходов на капитальные ремонты (табл. 3) [5; 14].

Проведенные натурные обследования показывают, что среднегодовые эксплуатационные затраты по отдельным цехам зависят от степени агрессивности среды, от срока ввода объекта в эксплуатацию, а также от организации службы эксплуатации зданий и сооружений. По усредненным данным статической обработки наблюдений

пяти заводов установлено, что наибольшие затраты приходятся на ремонт и масляную окраску металлоконструкций и составляют более 60 %. На ремонт элементов кровли, перекрытий, стен и полов приходится в среднем по 5 % общей суммы эксплуатационных затрат в коксовом производстве. В химическом производстве коксификационных заводов наибольшие затраты также приходятся на ремонт и защиту металлоконструкций. Они составляют более 50 % общих затрат на капитальные ремонты строительных конструкций зданий и сооружений.

Порядок расчета при определении затрат на капитальные ремонты аналогичен принятому для

**Таблица 3.** Удельный вес балансовой стоимости зданий и затрат на капитальные ремонты по видам производств коксохимических заводов, %

Наименование коксохимических заводов	Удельный вес коксового производства		Удельный вес химического производства	
	по балансовой стоимости зданий	по среднегодовой стоимости капитального ремонта	по балансовой стоимости зданий	по среднегодовой стоимости капитального ремонта
1	2	3	4	5
Баглейский	69,3	44,5	30,7	55,5
Ясиновский	87,4	77,4	12,6	22,6
Макеевский	60,2	63,5	39,8	36,5
Запорожский	50,8	62,0	49,2	38,0
Магнитогорский	86,5	82,5	13,5	17,5
Усредненные показатели	76,0	68,0	24,0	32,0

определения затрат на производство строительно-монтажных работ. Стоимость работ по восстановлению (замене) антикоррозионной защиты строительных конструкций определяется с использованием действующих сметных норм РЭСН, ГЭСН на основе перечня работ по осуществлению антикоррозионных мероприятий. Сроки службы антикоррозионной защиты и периодичность ее замены определяются по опыту эксплуатации соответствующих конструкций в аналогичных агрессивных средах. Для традиционных защитных лакокрасочных покрытий сроки их восстановления принимаются по данным таблицы 4.

Однако не стоит отрицать влияние характера агрессивности среды различных типов местнос-

ти для открытых стальных конструкций. В таблице 5 представлены скорость коррозии в зависимости от местности [12;13].

Анализ показал, что разрушающему воздействию атмосферных и производственных агрессивных средств подвергается от 15 до 75 % строительных конструкций зданий и сооружений. Данные обследований показывают, что стальные и железобетонные конструкции без соответствующей защиты от коррозии могут прийти в аварийное состояние в течение 5–10 лет и раньше. При отсутствии антикоррозионной защиты металла расходы на эксплуатацию зданий и сооружений с агрессивной средой в течение срока их службы в несколько раз превышают первоначальную стоимость объектов.

**Таблица 4.** Примерная периодичность капитального ремонта конструкций производственных зданий

Наименование конструктивных элементов	Периодичность капитального ремонта для различных условий эксплуатации, лет			
	в нормальных условиях	при степени агрессивности воздействия среды		
		слабой	средней	сильной
Колонны стальные	60	50	45	40
Фермы стальные	30	25	20	15
Покрытия стальные	20	20	18	16
Кровли металлические	15	10	8	5
Антикоррозионные лакокрасочные покрытия	10	6	4	3

**Таблица 5.** Скорость коррозии цинкового покрытия для различных типов атмосферы

Тип атмосферы	Скорость коррозии, мкм/год
Сельская	0,5–1,5
Приморская	1,5–2,5
Городская	2,5–4,0
Промышленная	4,0–6,0

Зачастую заказчиком при сравнении проектируемых конструкций производственных зданий и сооружений, а также способов их защиты от коррозии принимаются во внимание только их сметная стоимость. Чем ниже первоначальная стоимость, тем эффективнее считалось проектное решение независимо от предыдущих эксплуатационных затрат. В некоторых случаях эксплуатационные затраты принимались в процентах от первоначальной стоимости конструкций без учета долговечности и срока их службы. Таким образом, конструкция, обладающая повышенной долговечностью и коррозионной стойкостью и соответственно более высокой сметной стоимостью, считалась неэкономичной. В результате строительные конструкции, работающие в условиях воздействия агрессивных атмосферных и производственных сред, уже в первые годы эксплуатации требовали замены или капитальных ремонтов, значительно превышающих первоначальную стоимость конструкций. Подробная практика проектирования приводит к аварийным ситуациям и недоотпуску продукции, что влечет за собой значительный финансовый след.

При проектировании и строительстве промышленных зданий и сооружений, подверженных воздействию агрессивных сред, путем соответствующих мер защиты строительных конструкций от коррозии обеспечивается бесперебойная работа активной части основных производственных фондов предприятий в течение нормативного срока их службы. Это достигается применением следующих мер повышения антикоррозионной защиты конструкций:

- созданием и внедрением строительных материалов, обладающих повышенной коррозионной стойкостью;
- применением антикоррозионных защитных покрытий или специальных добавок, повышающих коррозионную стойкость стали и других материалов;
- разработкой конструктивных мер защиты от коррозии, связанных с совершенствованием стыковых соединений, предохраняющих конструкции от проникновения факторов агрессии, применением новых конструктивных форм сечения с минимальной поверхностью, подвергаемой агрессивным воздействиям (трубчатые конструкции) и т. п.;

– проектированием и внедрением антикоррозионных мероприятий, осуществляемых при изготовлении строительных конструкций, изделий и деталей, предназначенных для работы в агрессивной среде (металлизация, обработка и окраска поверхности и др.).

В настоящее время на рынке появились новые многообещающие антикоррозионные материалы и конструкции обладающие, по словам производителей, обычно повышенными сроками службы, но данные об их долговечности могут быть получены через несколько лет на основе обследования большого количества однотипных объектов с различными видами защиты конструкций от воздействия агрессивной среды. Поэтому в настоящее время для ориентировочного определения сроков службы предложенных вариантов антикоррозионной защиты использованы данные ускоренных лабораторных и натуральных исследований по долговечности традиционных и предложенных мер защиты [12;13].

Для определения народнохозяйственного эффекта от применения мероприятий, повышающих коррозионную стойкость строительных конструкций, сравниваются полученные по формуле (1) общие приведенные затраты по каждому из рассматриваемых вариантов:

$$P = P_{н.э.} + P_э, \quad (1)$$

где  $P_{н.э.}$  – приведенные затраты, осуществленные до начала эксплуатации;

$P_э$  – приведенные затраты, осуществляемые в процессе эксплуатации зданий и сооружений в течение нормативного срока службы.

Разность общих приведенных затрат дает экономический эффект на выбранную единицу измерения сравниваемых конструкций ( $m^3, m^2, шт.$ ).

Общий экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{общ} = (P_1 - P_2)AT_n, \quad (2)$$

где  $P_1$  – общие приведенные затраты по исходному уровню антикоррозионных мероприятий;

$P_2$  – общие приведенные затраты по предложенному антикоррозионному мероприятию;

$A_{T_n}$  – объем внедрения предложенного антикоррозионного мероприятия к  $T_n$ -му году его серийного внедрения;

$T_n$  – плановый период в годах, в течение которого научно-технический уровень предложенных мероприятий может считаться прогрессивным (в течение этого периода

мероприятие рекомендуется для широкого использования в народном хозяйстве).

С учетом изложенных методических подходов разработаны прогнозные документы по определению потребности строительства в металле с антикоррозионной защитой капитального строительства и капитального ремонта зданий и сооружений. Структура применения железобетонных и стальных конструкций принята исходя из имеющихся отчетных данных об объемах их применения и строительно-монтажных работ, а также уточнения уровня применения в строительстве материальных ресурсов.

Анализ экономии материальных ресурсов, полученный при внедрении предложений по антикоррозионной защите металла показал, что она достигнута благодаря [2; 5]:

- обеспечению строительства антикоррозионными арматурными сталями предложенного качества, сокращению металлоемкости железобетонных конструкций и повышению их надежности и долговечности;
- обеспечению строительства антикоррозионными сталями повышенной и высокой прочности и экономичными профилями проката для стальных строительных конструкций и заводской антикоррозионной отделке металлоконструкций;
- антикоррозионной защите прочих изделий, предназначенных для использования в агрессивной среде.

Это достигнуто благодаря внедрению новых видов арматурных сталей. Организовано термическое упрочнение арматуры в потоке непрерывных мелкосортных станов, создана свариваемая арматура с гарантируемым пределом текучести, внедрена высокопрочная термоупрочненная арматура повышенной коррозионной стойкости и низколегированная арматура для конструкций, работающих при низких температурах до  $-160^{\circ}\text{C}$ , а также самоанкерующаяся высокопрочная проволока.

Повысилась доля арматуры более высокой прочности, улучшены качественные показатели стали, применены специальные виды арматуры, устойчивые к особым эксплуатационным условиям, такими как динамические нагрузки, агрессивные среды и низкие температуры. Расширен объем и сортамент высокопрочной стержневой арматурной стали класса А-V, А<sub>T</sub>-V, А<sub>T</sub>-V1, проволочной арматуры классов В<sub>p</sub>-II, В-II канатов,

а также освоено производство и применение новых, еще более эффективных видов арматуры – стержневой свариваемой класса А-V1, коррозионностойкой классов А-V и А<sub>T</sub>V; термоупрочненной классов А<sub>T</sub>-VII и А<sub>T</sub>VIII для напрягаемой арматуры железобетонных конструкций. Применялась арматурная сталь и арматурные изделия повышенной коррозионной стойкости, в том числе со специальными покрытиями (цинковым, алюминиевым и др.).

Новым явилось также применение сортового и листового проката из низколегированных сталей как для «жесткой» арматуры, так и для поверхностного армирования конструкций и изготовления закладных деталей.

Возросло применение в строительстве и стальных строительных конструкций с антикоррозионной защитой. Увеличилось производство и применение в строительстве широкополочных двутавров; тонкостенных балок; ферм с поясами из широкополочных двутавров; ферм из круглых электросварных труб, из гнутосварных и замкнутых прямоугольных профилей; ферм с использованием предварительного напряжения; рамных конструкций; структур из объемных элементов; тонкостенных покрытий и тентовых оболочек; консольно-балочных покрытий; тросовых и складчатых покрытий из тонкого и алюминиевого листа; сетчатых оболочек из стандартных предварительно напряженных элементов; вантовых конструкций; цилиндрических и сферических резервуаров и газгольдеров; куполов больших диаметров и других. Стали повышенной коррозионной стойкости производятся легированием хромом, никелем, медью и фосфором. Стали типа «Кортен» применяются не только для изготовления коррозионностойких конструкций, но и для образования и последующего наращивания на поверхности изделий защитной пленки из этой стали. Для агрессивных сред применяются коррозионностойкие стали марок 10ХНДП, 10ХДН и 10ХГДАФ для фасонного и листового проката, как и сталь типа «Кортен».

Таким образом, анализ практики проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений в агрессивных атмосферных и производственных средах показал, что на антикоррозионную защиту металла в этих объектах расходуются колоссальные средства, составляющие почти половину всех прямых затрат, связанных

с коррозией, но расходуются они не рационально. Например, вместо того, чтобы использовать в строительстве атмосферостойкие и коррозионностойкие стали, которые всего на 8–20 % дороже обычных, а в защитных покрытиях не нуждаются, стальные конструкции красят и перекрашивают. Современное окрасочное оборудование не выпускается, а при использовании устаревших пневмораспылителей на покраску расходуется много ручного труда. В окружающую среду распыляется около трети всех наносимых, в том числе весьма дефицитных, лакокрасочных материалов. Наконец, пользуясь старыми низкокачественными лаками и красками получают быстро разрушающиеся покрытия. В результате стоимость перекрасок и восстановительного ремонта превосходила первоначальную стоимость самих металлоконструкций в неагрессивных условиях эксплуатационной среды через 10 лет, а при агрессивной – даже через 2–3 года. А коррозия продолжается, вызывая в конце концов длительную остановку производства.

Реализация прогнозных предложений по антикоррозионной защите металла путем совершенствования структуры потребления металлопродукции и улучшения структуры производства металлопроката показала, что основными направлениями повышения коррозионной стойкости металла, используемого в строительных конструкциях является:

- создание и применение в строительстве коррозионных сталей;
- создание и применение в строительстве высокопрочных термоупрочненных сталей, устойчивых к коррозионному растрескиванию;
- разработка и применение в строительстве новых видов защитных покрытий.

#### Список источников

1. Колотилкин, Б. М. Долговечность жилых зданий / Б. М. Колотилкин. – Москва : Стройиздат, 1975. – 255 с. – Текст : непосредственный.
2. Левченко, В. Н. Анализ эффективности применения строительных конструкций из различных материалов и исследование вопросов снижения материалоемкости строительства: учебное пособие /

Вместе с тем ежегодные прямые затраты в связи с коррозией металла в построенных зданиях и сооружениях еще очень велики. Поэтому имеются еще большие неиспользованные резервы повышения эффективности строительства и экономии материальных ресурсов путем антикоррозионной защиты металла.

#### Выводы

Проведенное исследование показало, что назрела необходимость резкого повышения уровня антикоррозионной защиты металла, используемого в строительстве. Наряду с введением санкций надежда на использование зарубежных технологий мала.

Внедрение прогнозных предложений по антикоррозионной защите металла в строительстве требует дополнительных мер:

- повышение выпуска атмосферостойкой стали, расширение выпуска коррозионностойкой стали и проката с готовым протикоррозионным покрытием;
- ликвидация дефицита в новом, в первую очередь, автоматическом оборудовании для прогрессивных процессов нанесения гальванических и лакокрасочных покрытий;
- расширение ассортимента и повышение качества защитных лакокрасочных материалов, изоляции для подземных трубопроводов, химикатов для гальванотехники, ингибиторов коррозии;
- выпуск широкого спектра новых приборов для контроля коррозии.

Эти мероприятия, хотя и связаны с первоначальными, порой даже значительными вложениями средств, в конечном итоге понизят расходы на саму противокоррозионную защиту строительных конструкций.

#### References

1. Kolotilkin, B. M. Durability of residential buildings. – Moscow : Stroyizdat, 1975. – 255 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Levchenko, V. N.; Levin, V. M.; Levchenko, D. V. Analysis of the effectiveness of the use of building structures made of various materials and the study of issues of reducing the material intensity of



- В. Н. Левченко, В. М. Левин, Д. В. Левченко. – Makeevka : Donbasskaya natsionalnaya akademiya stroitelstva i arkhitektury, EBS ACB, 2019. – 335 с. – Текст : непосредственный.
3. Левченко, В. Н. Актуальные вопросы проектирования экономических зданий и сооружений путем оптимизации проектных решений и реконструкции действующих предприятий : учебное пособие / В. Н. Левченко, Д. В. Левченко, Н. А. Невгенъ. – Makeevka : Donbasskaya natsionalnaya akademiya stroitelstva i arkhitektury, EBS ACB, 2018. – 198 с. – Текст : непосредственный.
  4. Лычев, А. С. Оценка нижней границы области вероятности – экономической оптимизации строительных конструкций / А. С. Лычев. – Текст : непосредственный // Известия ВУЗов. Строительство. – 1994. – № 2. – С. 101–103.
  5. Методика определения экономической эффективности антикоррозионной защиты строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / Научно-исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР. – Москва : [б. и.], 1987. – 83 с. – Текст : непосредственный.
  6. Иващенко, Л. М. Методические вопросы прогнозирования и выполнения резервов снижения материалоемкости строительства / Л. М. Иващенко. – Текст : непосредственный // Методические вопросы прогнозирования, развития и размещения строительного комплекса. – 1984. – Москва : НИИЭС. – С. 28–39.
  7. Иващенко, Л. М. Направления снижения материалоемкости строительства / Л. М. Иващенко. – Текст : непосредственный // Развитие экономических методов управления научно-техническим прогрессом в области строительства. – 1985. – Москва : НИИЭС Госстроя СССР. – С. 16–27.
  8. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / ПромстройНИИпроект. – Москва : Стройиздат, 1990. – 176 с. – Текст : непосредственный.
  9. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Правила проектирования. Основные положения : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 27 февраля 2017 г. № 127/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. : введен впервые : дата введения 2017-08-28 / исполнители АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство»), ЗАО «Центральный научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н. П. Мельникова» (ЗАО «ЦНИИПСК им. Н. П. Мельникова»), ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПб ГПУ). – Москва : Стандартинформ, 2017. – 137 с. – Текст : непосредственный.
  10. SP 28.13330.2017. Protection of building structures from corrosion. Design rules. Main provisions : official publication : approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation № 127/pr August 28, 2017 : introduced for the first time : of (Ministry of Construction of Russia) dated February 27, 2017 № 127/pr and effective from: introduced for the first time : date of introduction 2017-08-28 / executors JSC «Scientific Research Center «Stroitelstvo» (JSC «SIC Stroitelstvo»), CJSC «Central Scientific Research and Design Institute of Building Metal Structures named after N. P. Melnikova» (CJSC «TSNIIPSK named after N. P. Melnikova»), Saint Petersburg State Polytechnic University (SPb GPU). – Moscow : Standartinform, 2017. – 137 p. – Text : direct. (in Russian)
  11. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions : official publication : construction : a textbook. – 2019. – Makeevka : Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, EBS DIA. – 335 p. – Text : direct. (in Russian)
  12. Levchenko, V. N.; Levchenko, D. V.; Nevgen, N. A. Actual issues of designing economical buildings and structures by optimizing design solutions and reconstructing existing enterprises : a textbook. – 2018. – Makeevka : Donbass National Academy of Construction and Architecture, EBS DIA, – 198 p. – Text : direct. (in Russian)
  13. Lychev, A. S. Assessment of the lower boundary of the area of probability and economic optimization of building structures. – Text : direct. – In: *Izvestiya VUZov. Construction*. – 1994. – № 2. – P. 101–103. (in Russian)
  14. Methodology for determining the economic effectiveness of anticorrosive protection of building structures of industrial buildings and structures / Scientific Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete of the USSR State Construction. – Moscow : [s. n.], 1987. – 83 p. – Text : direct. (in Russian)
  15. Ivashchenko, L. M. Methodological issues of forecasting and fulfilling reserves for reducing the material intensity of construction. – Text : direct. – In: *Methodological issues of forecasting, development and placement of the construction complex*. – 1984. – Moscow : NIIES. – P. 28–39. (in Russian)
  16. Ivashchenko, L. M. Directions of reducing the material consumption of construction. – Text : direct. – In: *Development of economic methods for managing scientific and technological progress in the field of construction*. – 1985. – Moscow : NIIES Gosstroy of the USSR. – P. 16–27. (in Russian)
  17. Recommendations for ensuring the reliability and durability of reinforced concrete structures of industrial buildings and structures during their reconstruction and restoration PromstroyNIIProekt. – Moscow : Stroyizdat, 1990. – 176 p. – Text : direct. (in Russian)
  18. SP 28.13330.2017. Protection of building structures from corrosion. Design rules. Main provisions : official publication : approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation № 127/pr August 28, 2017 : introduced for the first time : of (Ministry of Construction of Russia) dated February 27, 2017 № 127/pr and effective from: introduced for the first time : date of introduction 2017-08-28 / executors JSC «Scientific Research Center «Stroitelstvo» (JSC «SIC Stroitelstvo»), CJSC «Central Scientific Research and Design Institute of Building Metal Structures named after N. P. Melnikova» (CJSC «TSNIIPSK named after N. P. Melnikova»), Saint Petersburg State Polytechnic University (SPb GPU). – Moscow : Standartinform, 2017. – 137 p. – Text : direct. (in Russian)
  19. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions : official publication :

10. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения = Concrete and reinforced concrete structures. General provisions : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 декабря 2018 г. № 832/пр : дата введения 2019-06-20 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России). – Москва : Стандартинформ, 2019. – 143 с. – Текст : непосредственный.
11. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции : издание официальное : утвержден постановлением Госстроя СССР от 20 августа 1984 г. № 136 и введен в действие с 1 января 1986 г. : введен впервые : дата введения 1986-01-01 / исполнитель НИИЖБ Госстроя СССР и ЦНИИпромзданий Госстроя СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с. – Текст : непосредственный.
12. Бакаев, С. Н. Оцинкованные опоры линий электропередачи с гарантированными показателями долговечности : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бакаев Сергей Николаевич ; Донбасская государственная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 1996. – 259 с. – Текст : непосредственный.
13. Шаповалов, С. Н. Теоретические основы и способы повышения эксплуатационных качеств электросетевых конструкций : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Шаповалов Сергей Николаевич ; Донбасская государственная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 1998. – 437 с. – Текст : непосредственный.
14. Методические рекомендации по определению экономической эффективности защиты от коррозии в строительстве / Государственное предприятие «Научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт и бетона и железобетона». – Москва : ГУП «НИИЖБ», 1999. – 15 с. – Текст : непосредственный.
15. Economic effects of metallic corrosion in the United States : in II parts : part I / L. H. Bennett, J. Kruger, R. L. Parker [et. al.]. – Текст : непосредственный // A report to the Congress by the National Bureau of Standards. – 1978. – Volume NBS Special Publication 511-1. – Publisher : National Bureau of Standards (U. S.). – 72 p.
16. RILEM Draft Recommendation for Damage Classification of Concrete Structures. – Текст : электронный // Materials and Structures. – 1994. Volume 27(170). – P. 362–369. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02473430>. – <https://doi.org/10.1007/BF02473430> (дата обращения: 30.08.2024).
17. Bergmeister, K.; Aktan, A. Emin; Bucher, C. [et al.]. FIB Bulletin 22. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures : State-of-art report prepared. – Lausanne, Switzerland : Federation approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation № 832/pr of December 19, 2018 : introduced for the first time : date of introduction 2019-06-20 / executors of prepared by the Department of Urban Planning and Architecture of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia). – Moscow : Standartinform, 2019. – 143 p. – Text : direct. (in Russian)
11. SNiP 2.03.01-84. Concrete and reinforced concrete structures : official publication : approved by Resolution № 136 of the USSR State Construction Committee dated August 20, 1984 and put into effect on January 1, 1986 : introduced for the first time : date of introduction 1986-01-01 / the contractor is NIIZhB Gosstroy of the USSR and Tsniipromzdaniy Gosstroy of the USSR. – Moscow : CITP Gosstroy of the USSR, 1985. – 79 p. – Text : direct. (in Russian)
12. Bakaev S. N. Galvanized poles of power transmission lines with guaranteed durability indicators : specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and structures» : abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Bakaev Sergey ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeyevka, 1996. – 259 p. – Text : direct. (in Russian)
13. Shapovalov S. N. Theoretical foundations and ways to improve the operational qualities of electric grid structures : specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and structures» : abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Shapovalov Sergey ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeyevka, 1998. – 437 p. – Text : direct. (in Russian)
14. Methodological recommendations for determining the economic effectiveness of corrosion protection in construction / The State Enterprise «Scientific Research Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete». – Moscow : GUP «NIIZHB», 1999. – 15 p. – Text : direct. (in Russian)
15. Bennett, L. H.; Kruger, J.; Parker, R. L. [et. al.]. Economic effects of metallic corrosion in the United States : in II parts : part I : A report to the Congress by the National Bureau of Standards. – Text : direct. – 1978. – Volume NBS Special Publication 511-1. – Publisher : National Bureau of Standards (U.S.). – 72 p.
16. RILEM Draft Recommendation for Damage Classification of Concrete Structures. – Text : electronic. – In: *Materials and Structures*. – 1994. Volume 27(170). – P. 362–369. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02473430>. – <https://doi.org/10.1007/BF02473430> (date of access: 30.08.2024).
17. Bergmeister, K.; Aktan, A. Emin; Bucher, C. [et al.]. FIB Bulletin 22. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures : State-of-art report prepared. – Lausanne, Switzerland : Federation

17. FIB Bulletin 22. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures : State-of-art report prepared / K. Bergmeister, A. Emin Aktan, C. Bucher [et al.]. – Lausanne, Switzerland : Federation internationale du beton (fib), 2003. – 303 p. – DOI: 10.35789/fib.BULL.0022. – Текст : непосредственный.
18. Buildings and structures corrosion of metal structures and effectiveness of its prevention / E. M. Murtazayev, Sh. A. Latipov\*, A. J. Norchayev [et al.]. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences : V International Scientific Conference «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO – 2023), 11 July 2023. – 2023. – Volume 401. – 9 p. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103013> (дата обращения: 30.08.2024).
- internationale du beton (fib), 2003. – 303 p. – DOI: 10.35789/fibBULL.0022. – Text : direct.
18. Murtazayev, E. M.; Latipov\*, Sh. A.; Norchayev, A. J. [et al.]. Buildings and structures corrosion of metal structures and effectiveness of its prevention. – Text : electronic. – In: *E3S Web of Conferences : V International Scientific Conference «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO – 2023)*, 11 July 2023. – 2023. – Volume 401. – 9 p. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103013> (date of access: 30.08.2024).

#### Информация об авторах

**Левченко Виктор Николаевич** – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Машталер Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных (сталефибробетонных) элементов при простых режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Оленич Елена Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: сравнение методик расчета высотных сооружений, расчет и проектирование зданий и сооружений, оценка состояния существующих конструкций, усиление конструкций.

**Смирнова Наталья Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, обеспечение безотказности воздушных линий электропередачи на основе теории управления рисками.

**Храмогин Александр Андреевич** – ассистент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий.

#### Information about the authors

**Levchenko Victor N.** – Ph. D. (Eng.), Professor; Head of the Department of Reinforced Concrete Structures, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

**Mashtaler Sergey N.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete (steel fiber concrete) elements under simple modes of power and temperature.

**Olenich Elena N.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: chimneys, comparison of methods of calculation of chimneys, calculation and designing of chimneys, estimation of a condition of existing designs, strengthening of structures.

**Smirnova Natalia S.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: operational reliability and longevity of power supply structures, and protection of overhead power transmission lines on the basis of the theory of risk management.

**Khramogin Aleksandr A.** – Assistant of the Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences.

*Статья поступила в редакцию 02.09.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 23.09.2024.*

*The article was submitted 02.09.2024; approved after reviewing 19.09.2024; accepted for publication 23.09.2024.*