

## An analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures. A Review

Zhuravov Kirill Alekseevich <sup>1\*</sup> 

Rybakov Vladimir Alexandrovich <sup>1</sup> 

Nazmeeva Tatiana Vilsovna <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Steel Construction Development Association, Moscow, Russian Federation

Correspondence: \* email [kirill-zhuravov@mail.ru](mailto:kirill-zhuravov@mail.ru); contact phone [+79319749186](tel:+79319749186)

### Keywords:

Light Gauge Steel, Steel Structures, Steel Construction, Thin Walled Structures, Structural Analysis.

### Abstract:

During the analysis of construction using light steel thin-walled structures (LSTC), a number of criteria were proposed that will help to optimize the choice of construction technology and design solutions at the initial stages of construction projects implementation: construction time, the need for vehicles and mechanization means, their cost. Based on selected criteria established that for 2021 in the Russian Federation, light steel thin-walled structures in the construction of public buildings are more efficient compared to the use of traditional design solutions. Steel construction requires fewer vehicles and means of mechanization in the production of work, since up to 27% savings are achieved when using metal structures and up to 37% when using LSTK compared to traditional technologies. In this regard, it is proposed to develop a comprehensive assessment methodology and create a unified base of performance criteria for each type of design solutions, with which in the future it will be possible to automate the choice of construction technology and design solutions.

## 1 Введение / Introduction

В качестве объекта исследования выступает стальное строительство по технологии ЛСТК, а предметом исследования является эффективность стального строительства с применением данной технологии.

Строительство - одна из ведущих отраслей, но даже она во многом зависит от стабильности экономики страны и мира в целом. Возведение зданий имеет некий цикл, который прослеживается на протяжении всей "жизни" здания от этапов проектирования до ликвидации объекта. И поскольку процесс строительства сложно остановить, то в условиях нестабильной экономики предприятиям и организациям необходимо приспосабливаться к сложившимся условиям.

Потребность в строительстве общественных зданий, школьных и дошкольных учреждений, объектов культуры и спорта, коммерческих зданий и сооружений, складских и сельхоз помещений различного назначения, а также объектов жилого строительства и медицинских учреждений остается на прежнем уровне, несмотря на экономические спады.

Поскольку в 21 веке рынок строительных материалов постоянно расширяется, то уследить за новыми тенденциями в данной сфере становится сложнее. Именно поэтому множество научных деятелей исследуют эффективность тех или иных конструкций и материалов, поскольку правильный выбор эффективной технологии - это часть успешного проекта.

Исследования новых конструктивных решений и материалов для строительства представляют несомненный интерес. В работах [1]-[5], была рассмотрена эффективность применения стальных конструкций в жилищно-гражданском строительстве. Среди критериев оценки эффективности автором были выделены низкая стоимость стали по сравнению с другими металлами, возможность рециркуляции (многократного возвращения в производство),

Zhuravov K.A.; Rybakov V.A.; Nazmeeva T. V.

An overview analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures; 2021; AlfaBuild; 17 Article No 1702. doi: 10.34910/ALF.17.2



повышенная этажность, возможность монтажа укрупненными блоками и, как следствие, сжатые сроки возведения каркаса.

Экономическая составляющая - это один из важных показателей при выборе той или иной технологии. В статье [6], авторы изучили экономический эффект использования ЛСТК (Легких стальных тонкостенных конструкции) в строительстве.

Рациональное использование временных ресурсов на стадии расчета служит одним из критериев эффективности строительства в статье [7].

В статьях [8], [9] авторы рассказывают о модернизации конструктивных систем каркасных малоэтажных многоквартирных жилых домов и общественных зданий. В своей работе авторы производят сравнение на основе выделенных ими ранее критериев, таких как трудоемкость, скорость строительства, стоимость, экологичность применяемых материалов.

Еще одним критерием оценки эффективности стального строительства является последующая реализация данного объекта, а главное, его доступность потребителю. Именно об этом и говорится в статье [10].

Целью данной статьи является обзор возможных критериев оценки эффективности строительства для последующей разработки методики комплексной оценки эффективности стального строительства по многопараметрическим критериям.

Для достижения цели работы необходимо поставить и решить следующие задачи:

1. Изучить нормативную документацию и исследовательские работы по оценке эффективности строительства.
2. Провести анализ существующей экономической ситуации в России и иностранных государствах.
3. Провести сравнение и анализ существующих «Традиционных технологий» строительства
4. Провести анализ быстровозводимых зданий в Российской Федерации и иностранных государствах.
5. Проанализировать существующие технико-экономические модели оценки эффективности строительства.
6. Установить перечень возможных критериев оценки эффективности стального строительства.

## **2 Анализ экономической ситуации в Российской Федерации и иностранных государствах / Analysis of the economic situation in the Russian Federation and foreign countries**

На первоначальном этапе работы был проведен анализ рассматриваемой области с изучением экономической ситуации в Российской Федерации и иностранных государствах, который показал, что пандемия COVID-19, распространившаяся по всему миру, в той или иной области затронула практически все отрасли производства [11], [12], [13].

Отсутствие спроса, рост цен на строительные материалы и работы, высокая конкуренция и налоги, остановка производств, снижение денежной массы в мировой экономике, закредитованность корпораций и бизнеса - это лишь часть проблем, с которыми придется столкнуться строительной отрасли в сложившихся условиях. Эти и многие другие факторы, безусловно, влияют на экономику предприятия и страны в целом.

Пандемия за последний год, заставила пересмотреть подход к строительству: минимизировать затраты, сроки строительства, оптимизировать технологические процессы при возведении зданий и снижать трудоемкость при производстве работ. Но при всем этом качество, безопасность и долговечность должны остаться на прежнем уровне.

## **3 Сравнение и анализ традиционных технологий и стального строительства / Comparison and analysis of traditional technologies and steel construction**

В современной практике существует множество различных строительных материалов и технологий, но люди по-прежнему прибегают к традиционным способам строительства зданий,



обуславливая свой выбор технологиями, проверенными временем. По состоянию на 2020 год, существуют технологии в виде систем поддержки принятия решений в строительной сфере, которые позволяют более объективно подходить к выбору конструктивных систем [14].

Одной из самых старых технологий является строительство зданий и сооружений из кирпича. Безусловно, кирпичные сооружения обладают рядом преимуществ: экологичность, долговечность, хорошая тепло-звукоизоляция, но в XXI веке они уходят на задний план, поскольку имеют большую трудоемкость при производстве, строительно-монтажных работах, высокую стоимость, повышенные затраты на возведение фундамента в связи с большим весом; также при строительстве возникает необходимость в большом количестве материально-технической базы, большие сроки возведения, отсутствие необходимого количества квалифицированных специалистов [15], [16].

Со временем проявляются проблемы, возникшие в процессе эксплуатации кирпичных зданий и сооружений. Появление трещин и расслоений в несущих и ограждающих конструкциях, неравномерные осадки фундамента в связи с большими нагрузками, не своевременные ремонтные работы отмосток, цоколя, крыши и различного вида коммуникаций, которые приводят не только к нарушению грунтового основания, но и разрушению несущих конструкций. Все это заставляет застройщика искать более эффективные и современные решения [17].

Второй рассмотренной технологией является монолитное строительство, которое наиболее востребовано, особенно активная застройка с применением монолитного строительства ведется в последние 10 лет. По сравнению с кирпичным, монолитное строительство имеет не такую высокую трудоемкость, но имеет более сложный технологический процесс, также необходимы значительные затраты на устройство фундаментов, появляется и необходимость иметь большую материально-техническую базу [18].

К преимуществам в монолитном строительстве можно отнести: сжатые сроки при возведении зданий и сооружений, отсутствие стыков и швов, что приводит к улучшению прочности несущих конструкций, и как следствие не допускает образование трещин, что в свою очередь обеспечивает хорошую теплоизоляцию, свободные планировочные решения и архитектурные формы будущего здания.

Несмотря на преимущества, монолитное строительство имеет и свои недостатки: низкий уровень звукоизоляции, особенно от ударных шумов, отсутствие возможности перепланировки [19]. Так же можно выделить как вид, сборно-монолитное строительство [20].

Возведение здания в морозы существенно приводит к удорожанию, поскольку появляется необходимость в противоморозных добавках или утепления свежесушеного бетона с помощью пара, горячего воздуха. Но при этом небольшие сроки возведения, меньшая стоимость, свободная планировка вносят свой вклад в распространение монолитного строительства [21].

Еще одним из видов традиционного строительства выделяют панельное строительство. К преимуществам данного вида можно отнести маленькие сроки монтажа, невысокую стоимость, небольшую трудоемкость, долговечность, энергоэффективность, отсутствие усадки, прочность и стойкость к механическим повреждениям, огнестойкость, а к недостаткам - ограниченные планировочные решения, плохая тепло- и звукоизоляция, большая масса, коррозия фасадов, потребность в специальной технике [22-27].

Более современными считаются каркасно-панельные технологии. Они являются более универсальными и свободными в архитектурных и объемно планировочных решениях.

Все три вида традиционного строительства имеют один существенный недостаток. Они привязаны к той или иной местности, что непосредственно ограничивает радиус строительства в том или ином регионе.

Использование же металлоконструкции позволяет вести строительство в любой местности и практически в любых климатических условиях, что делает их в своем роде уникальными. И в свою очередь строительство из металла получает некий спрос на рынке в условиях нестабильной экономической ситуации.

Использование легких стальных тонкостенных конструкций в условиях экономического спада позволяет не только уменьшить сроки строительства из за отсутствия мокрых процессов и тем самым минимизировать простои, но и сэкономить на устройстве фундаментов, доставке материалов на площадку строительства, что в условиях кризиса весьма существенно. Стальные тонкостенные конструкции имеют большую прочность и долговечность, универсальность, технологичность, энергоэффективность, экологичность, что делает их популярными в строительной среде. К недостаткам использования стальных тонкостенных конструкций можно

отнести их плохую звукоизоляцию и отсутствие в нужном количестве квалифицированных специалистов [28-36].

Еще одним важным фактором при использовании данных профилей в несущих и ограждающих конструкциях является то, что они подвержены коррозии, а поскольку они тонкостенные, то недостаточно защищенные элементы могут разрушиться в короткий срок. Именно поэтому, при выборе данной технологии стоит ответственно подойти к данному вопросу и принять меры для недопущения возникновения коррозии [37], [38].

При производстве расчётов конструкций из легких стальных тонкостенных конструкций следует использовать актуализированные своды правил [39], [40].

#### 4 Анализ быстровозводимых зданий в Российской Федерации и иностранных государствах / Analysis of prefabricated buildings in the Russian Federation and foreign countries

Для объективной оценки сроков строительства был проведен более детальный анализ общественных быстровозводимых зданий в Российской Федерации и иностранных государствах.

На территории РФ в связи с экономической нестабильностью на фоне всеобщей пандемии строительство объектов здравоохранения набирает темпы [41]. На 2021 год ведется строительство более 16 новых медицинских центров, часть из них уже построена и функционирует (Рис. 1).

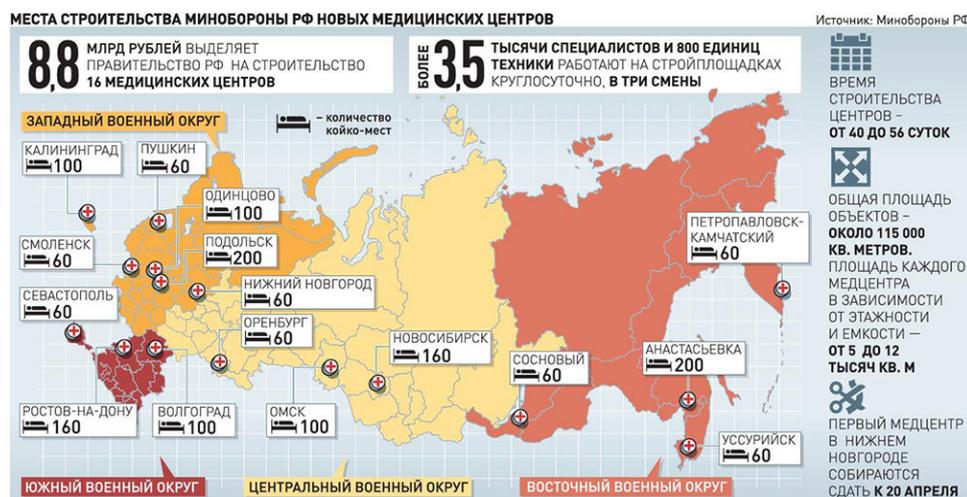


Рис. 1 - Места строительства медицинских центров РФ [42]

Fig. 1 - Construction sites of medical centers in the Russian Federation

Завершено строительство одного из крупнейших инфекционных центров в Российской Федерации в Москве, поселение Вороновское (Рис. 2).

Суммарная площадь зданий составит 81,3 тыс. кв. метров. Больница рассчитана на 656 коек с возможностью их трансформации под реанимационные, по мимо палат и прочих процедурных кабинетов комплекс содержит общежития для персонала, кислородную станцию и очистные сооружения.

При возведении было использовано более 3 тыс. тонн металлоконструкций, а также около 280 тыс. кв. метров сэндвич-панелей и около 14 тыс. кубометров бетона; кроме того проведено более 70 км инженерных сетей, в том числе 15 км газовых магистралей.



**Рис. 2 - Инфекционный центр. Российская Федерация, г. Москва, поселение Вороновское [43]**  
**Fig. 2 - Infection center. Russian Federation, Moscow, Voronovskoe settlement**

Завершено строительство модульного корпуса для инфекционной больницы на 200 койко-мест в Российской Федерации, г. Севастополь. Здание имеет каркас из ЛСТК (Рис. 3).



**Рис. 3 - Модульный корпус инфекционной больницы [44]**  
**Fig. 3 - Modular building of the infectious diseases hospital**

Завершено строительство торгового центра в Российской Федерации, Ярославская область, г. Гаврилов-Ям. Здание представляет собой железобетонный каркас с каркасно обшивными стенами (Рис. 4).



**Рис. 4 - Торговый центр [45]**  
**Fig. 4 - Shopping center**

Завершено строительство госпиталя. Китай, г. Ухань на 1500 больных (Рис. 5).



**Рис. 5 - Строительство госпиталя. Китай, г. Ухань [46]**  
**Fig. 5 - Hospital construction. China, Wuhan**

Несомненно, разработка новых стале и нового профиля- это хорошо, но можно сделать лучше, если подойти к процессу комплексно.



В условиях экономической нестабильности прибегнуть к комплексным решениям необходимо. Использование стальных конструкций, помимо стоимостных показателей, дает возможность сократить сроки строительства, минимизировать затраты на транспортировку материалов и погрузочно-разгрузочные работы, обеспечить комфортные и безопасные условия для дальнейшей эксплуатации, используя современные огнезащитные материалы, уменьшить вес конструкций. Все это следует рассматривать как единый критерий [47-49].

## 5 Анализ возможных критериев оценки эффективности стального строительства / Analysis of possible criteria for assessing the effectiveness of steel construction

На основе анализа объектов из быстровозводимых конструкций с целью определения эффективности стального строительства был выделен ряд возможных критериев.

**Первый критерий** - критерий оценки сроков строительства.

Для сравнения были подобраны объекты - аналоги со схожими параметрами площади и вместимости, но разными конструктивными решениями: металл и равноценные кирпичные или каркасно-панельные здания. В верхней части таблицы представлены уже реализованные и наиболее известные объекты медицинских учреждений, в нижней подобраны объекты - аналоги согласно СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий зданий и сооружений» (Табл. 1).

Таблица 1. Сроки строительства  
Table 1. Construction time

Рассматриваемые объекты					
№ п/п	Наименование объекта	Вместимость (Койко-мест)	Площадь здания	Срок строительства (Дней/ месяцев)	Вид конструкций
1	Инфекционный центр. Новая Москва	800-900	80 тыс. м <sup>2</sup>	36 /1,18	Металлоконструкции, сборные железобетонные конструкции
2	Корпус инфекционной больницы Г. Севастополь.	60	3,2 тыс. м <sup>2</sup>	56 /1,84	Металлоконструкции
3	Госпиталь г.Ухань	1300	34 тыс. м <sup>2</sup>	10 /0,33	Металлоконструкции
Объекты аналоги согласно СНиП 1.04.03-85					
№ п/п	Наименование объекта	Вместимость (Койко-мест)	Площадь здания	Срок строительства (месяцев)	Вид конструкций
1	Городская многопрофильная больница	600 (+ 900 посещений)	89 тыс. м <sup>2</sup>	30	Каркасно-панельное
2	терапевтический корпус	60	4,3 тыс. м <sup>2</sup>	11	Кирпичное
3	Инфекционная больница	300	33,3 тыс. м <sup>2</sup>	20	Каркасно-панельное

В результате сравнения был получен критерий оценки длительности стального строительства. Исходя из данных, представленных в таблице, видно, что сроки строительства зданий с применением легких стальных тонкостенных конструкций значительно меньше, чем сроки объектов- аналогов традиционных технологий.

Анализ критериев показал, что существующие СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий зданий и сооружений», не позволяет грамотно оценивать сроки стального строительства.

Zhuravov K.A.; Rybakov V.A.; Nazmeeva T. V.

An overview analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures; 2021; AlfaBuild; 17 Article No 1702. doi: 10.34910/ALF.17.2



**Второй критерий** - критерий оценки эффективности транспортных средств и средств механизации, используемых на строительной площадке в процессе строительства того или иного объекта (Табл. 2, 3).

В таблицах также представлены стоимостные показатели машино-часа единицы используемой техники, что позволяет наглядно увидеть количество транспортных средств и их стоимость при выполнении определенных работ влияет на стоимостной показатель всего здания.

Для более корректного сравнения были проанализированы расценки спецтехники в Москве и МО и в Вологодской области.

**Таблица 2. Критерий оценки эффективности ТС на строительной площадке в Москве и МО**  
**Table 2. Criterion for assessing the effectiveness of the vehicle at a construction site in Moscow and Moscow region**

№ п/п	Вид конструкций	Кирпич	Монолит	Металл	ЛСТК	Сборный жб
1	2	3	4	5	6	7
2	Рабочая единица	Экскаватор	Экскаватор	трактор (погрузчик /экскаватор)	трактор (погрузчик /экскаватор)	Экскаватор
	Руб. Час	1900	1900	1500	1500	1900
3	Рабочая единица	Кран башенный	Кран башенный	Автокран	Манипулятор	Кран башенный
	Руб. Час	1250	1250	1500	1500	1250
4	Рабочая единица	Автобетоно-смеситель	Автобетононасос	Манипулятор	Самосвал	Автобетоно-смеситель
	Руб. Час	1800	2250	1500	1750	1800
5	Рабочая единица	Полуприцеп	Автобетоно-смеситель	Самосвал	Каток	Панелевоз
	Руб. Час	1500	1800	1750	1700	1250
6	Рабочая единица	Самосвал	Самосвал	Каток	Автобетоно-смеситель	Самосвал
	Руб. Час	1750	1750	1700	1800	1750
7	Рабочая единица	Каток	Каток	Автобетоно-смеситель		Полуприцеп
	Руб. Час	1700	1700	1800		1500
8	Рабочая единица		Полуприцеп			Каток
	Руб. Час		1500			1700
	Итого руб/час	9900	12150	9750	8250	11150
	Итого руб/смена	79200	97200	78000	66000	89200

\*Примечание. Некоторые расценки транспортных средств взятые для однотипных работ имеют различия в связи с необходимостью выполнения работ разной сложности и объема.

Источники цен: полуприцеп, панелевоз, кран колесный, манипулятор, - ООО «Тяжеловоз»; Трактор (погрузчик /экскаватор), каток, Экскаватор - СК «Легион»; Самосвал - ООО «Аренда спецтехники»; Автобетононасос, сваебойная установка, башенный кран- ООО «АЛЬЯНС Трейд»; Автокран – ООО «Все манипуляторы»; Манипулятор ООО «МегаТранс».

По результатам анализа был сделан вывод о том, что стальное строительство требует меньшее количество ТС и средств механизации, и в связи с этим является более востребованным в условиях экономической нестабильности. До 20% экономии достигается при использовании спецтехники при строительстве с применением металлоконструкций и до 32 % с использованием ЛСТК по сравнению с традиционными технологиями.

В ходе сбора информации по стоимости единицы ТС в Вологодской области были проанализированы следующие организации в зависимости от автопарка спецтехники: Поскольку в городе при анализе прочих организаций были выделены незначительные отклонения стоимости как в большую, так и в меньшую стоимость, были приняты средние расценки на 2020 год.

Zhuravov K.A.; Rybakov V.A.; Nazmeeva T. V.

An overview analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures; 2021; AlfaBuild; 17 Article No 1702. doi: 10.34910/ALF.17.2



Важно учесть тот факт, что анализ производился внутри города, а при поездках техники за его пределы добавляется стоимость с каждого километра пути. Практически все организации сдают технику минимум от одной смены, что следует учитывать, поскольку при неправильной организации работ могут появляться дополнительные затраты.

**Таблица 3. Критерий оценки эффективности ТС на строительной площадке в г. Вологда и ВО**  
**Table 3. Criterion for assessing the effectiveness of the vehicle at the construction site in Vologda and Vologda region**

№ п/п	Вид конструкций	Кирпич	Монолит	Металл	ЛСТК	Сборный жб
1	2	3	4	5	6	7
2	Рабочая единица	Экскаватор	Экскаватор	трактор (погрузчик /экскаватор)	трактор (погрузчик /экскаватор)	Экскаватор
	Руб. Час	2200	2200	1800	1800	2200
3	Рабочая единица	Кран башенный	Кран башенный	Автокран	Манипулятор	Кран башенный
	Руб. Час	1250	1250	1500	1800	1250
4	Рабочая единица	Автобетоно-смеситель	Автобетононасос	Манипулятор	Самосвал 25м3	Автобетоно-смеситель
	Руб. Час	1700	3700	1800	1900	1700
5	Рабочая единица	Полуприцеп	Автобетоно-смеситель	Самосвал	Каток	Панелевоз
	Руб. Час	1800	1700	1900	2000	1300
6	Рабочая единица	Самосвал	Самосвал	Автобетоно-смеситель	Автобетоно-смеситель	Самосвал
	Руб. Час	1900	1900	1700	1700	1900
7	Рабочая единица	Каток	Полуприцеп	Каток		Полуприцеп
	Руб. Час	2000	1800	2000		1800
8	Рабочая единица		Каток			Каток
	Руб. Час		2000			2000
	Итого руб/час	10850	14550	10700	9200	12150
	Итого руб/смена	86800	116400	85600	73600	97200
<p>*Примечание. Некоторые расценки транспортных средств взятые для однотипных работ имеют различия в связи с необходимостью выполнения работ разной сложности и объема.  Источники цен: трактор погрузчик /экскаватор, самосвал, каток, манипулятор, полуприцеп- ООО «СпецСтройАвто»; Автобетононасос, автобетоносмеситель - ООО «Экобетон»; Башенный кран - ООО «Рент-Авто»; Панелевоз – ООО «Спецзаказ».</p>						

По результатам анализа был сделан вывод о том, что стальное строительство требует меньшее количество ТС (Транспортных средств) и средств механизации, в связи с чем является более востребованным. В условиях экономической нестабильности до 27% экономии достигается при использовании спецтехники при строительстве с применением металлоконструкций и до 37 % с использованием стальных тонкостенных конструкций по сравнению с традиционными технологиями.

**Третьим критерием** оценки строительства является логистика.

Логистика - это один из основных инструментариев на производстве, который направлен на обеспечение материально-техническими ресурсами производства для бесперебойного и своевременного возведения объекта [50].



Одним из параметров логистических манипуляций также является критерий вместимости транспортного средства при разовой перевозке (Табл. 4).

Согласно техническим характеристикам транспортного средства был произведен расчет вместимости по габаритам и грузоподъемности используемых материалов и конструктивных элементов, а также выполнен расчет критерия «Коэффициент использования ТС»

### Расчет Коэффициента использования транспортного средства для перевозки холодногнутого профиля

При строительстве из металла для перевозки конструкций был подобран Кран-манипулятор.

Согласно техническим характеристикам данный прицеп обладает грузоподъемностью 20 т и длиной 6,4 м.

Вес 1 м.п.. Холодногнутого профиля ГПС 200x50x15x2,0 составляет 0,006 т (длина стержня 6,4 м), тогда вес 1 профиля длиной 6,4 м составляет 0.038 т соответственно.

Коэффициент использования автотранспорта, то есть ее грузоподъемности определяется по формуле:

$$K_{г} = \frac{m \cdot n}{P}, \quad (1)$$

где  $m$  - масса наиболее тяжёлого элемента, т;

$n$  - кол-во перевозимых элементов, шт;

$P$  - грузоподъемность транспортной единицы, т.

Максимальное кол-во перевозимых элементов за один рейс определяется по формуле:

$$n = \frac{P}{m}, \quad (2)$$

$$n = \frac{20}{0.038} = 526,3 - 526 \text{ шт}$$

тогда, коэффициент использования автотранспорта равен:

$$K_{г} = \frac{0,038 \cdot 526}{20} = 0,999$$

Значения для других материалов выполняются аналогично и заносятся в таблицу 4.

**Таблица 4. Критерий вместимости ТС при перевозке грузов**  
**Table 4. Criterion of vehicle capacity during the carriage of goods**

№ п/п	Наим.	Ед. Изм.	ТС	Кол-во	Вес, т (м)	Коэфф. Исп. ТС	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Кирпич	Поддон/шт	Полуприцеп МАЗ 2012	13/400	1,44	0,93	Кирпич керамический полнотельный
2	Панель	шт	Полуприцеп панелевоз ПП1207	4	2,7	0,9	Стеновая d 300 мм
3	Перемычки ЖБ	шт	Полуприцеп МАЗ 2012	123	0,16 2	0,99	ЗПБ-25-8 246x12x22
4	Плиты перекрытия	шт	Полуприцеп МАЗ 2012	9	2,08	0,94	ПБ 54-10-8
5	Сваи	шт	Полуприцеп МАЗ 2012	8	2,5	1	Свая забивная С 110-30-8
6	ЛСТК	шт	Кран-манипулятор 20 06	526	0,03 8	0,99	ГПС200x50x15x2,0 (длинна стержня 6 м)

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Арматура	шт	Полуприцеп МАЗ 2012	1052	0,01 9	0,99	Арматура d 16 (длинна стержня 12 м)



8	Черный металл	шт	манипулятор 20 06	148	0,13 5	0,99	№ 20 длина 6,4 м (ГОСТ 8239-89)
9	ГВЛВ кнауф	шт	Кран-манипулятор 20 06	476	0,04 2	0,99	12.5 мм 1200x2500 мм

Проанализировав, сколько груза может перевозить одно транспортное средство за рейс, можно сделать вывод о том, что легкие стальные конструкции позволяют более эффективно использовать грузоподъемность при эксплуатации выбранных для каждого вида конструкций транспортного средства.

Конструктивные решения также являются важными критериями оценки эффективности строительства. Применение современных материалов делает строительство более доступным как в техническом, так и экономическом аспекте.

Перекрытия с применением легких чальных тонкостенных профилей- еще один выбранный критерий для оценки эффективности стального строительства [51].

К преимуществам данной технологии можно отнести всепогодный монтаж, компактность профилей, высокие характеристики теплосбережения, сейсмоустойчивость, отсутствие тяжелой техники при строительстве, возможность полной утилизации дома. А к недостаткам – проблемы связанные с расчетами надежности конструкций в связи с геометрическими несовершенствами, а так же отсутствие заключений об электромагнитной безопасности, так как проектирование и монтаж зданий должны проводиться специалистами высокой квалификации [52-57].

## 6 Обсуждение / Discussion

В ходе выполнения данной работы были выделены ряд возможных критериев, позволивших дать оценку эффективности стального строительства.

Рассмотренные критерии позволили выделить направление строительства с применением металлоконструкций, а именно легких стальных тонкостенных профилей, как менее изученную отрасль.

Многие авторы обращают внимание на различные критерии оценки эффективности строительства, изучая их. Но единой методики так до сих пор и нет, на что и было обращено внимание и аргументирована ее необходимость.

В ходе изучения научных работ различных авторов в сфере строительства были рассмотрены методы анализа эффективности инвестиционных проектов [58], [59], в том числе оценка рисков, [60] оценка эффективности экономики в строительстве, критерии оценки экологической безопасности [61].

В дальнейшем с помощью выбранных критериев планируется разработка методики комплексной оценки эффективности стального строительства по многопараметрическим критериям.

## 7 Заключение / Conclusions

Данным обзором показано, что:

1. Строительство с применением технологии с применением ЛСТК на фоне экономической нестабильности является более востребованным как в России, так и за рубежом.
2. Стальные тонкостенные конструкции способны конкурировать с традиционными технологиями.
3. Действующие СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий зданий и сооружений», не позволяют грамотно оценивать стальное строительство.
4. Стальное строительство требует меньшее кол-во ТС и средств механизации при производстве работ, в связи с этим является более востребованным, поскольку до 27% достигается при использовании металлических конструкций и до 37% с использованием ЛСТК по сравнению с традиционными технологиями.



5. Легкие стальные тонкостенные конструкции позволяют более эффективно использовать грузоподъемность транспортного средства.

На основании изученного материала предложено произвести оптимизацию строительных процессов путем разработки методики комплексной оценки и создания единой базы критериев по каждому виду строительных конструкций, что позволит оценить эффективность того или иного вида конструктивной схемы и в будущем даст возможность автоматизировать выбор и предоставить наиболее эффективные с точки зрения выделенных критериев варианты конструктивных решений еще на начальном этапе реализации строительного проекта.

## Список литературы / References

1. Hanisha, C.S.S., Siva Kishore, I. Experimental and finite element analysis of cold formed steel beam-column joint. *Materials Today: Proceedings*. 2020. 33. Pp. 480–483.

Zhuravov K.A.; Rybakov V.A.; Nazmeeva T. V.

An overview analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures; 2021; AlfaBuild; 17 Article No 1702. doi: 10.34910/ALF.17.2



- DOI:10.1016/j.matpr.2020.05.046. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.046>. (date of application: 13.03.2021).
2. Shamaeva, T. V., Zinkevich, E.S. Architecture of medium- And multistoried residential buildings with steel framework. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 944(1). DOI:10.1088/1757-899X/944/1/012033. (date of application: 13.03.2021).
  3. Böhm, M., Beránková, J., Břich, J., Polášek, M., Srba, J., Němcová, D., Černý, R. Factors influencing envelope airtightness of lightweight timber-frame houses built in the Czech Republic in the period of 2006–2019. Building and Environment. 2021. 194(January). Pp. 107687. DOI:10.1016/j.buildenv.2021.107687. (date of application: 13.03.2021).
  4. Andy Prabowo, P. Multi-storey Modular Cold-Formed Steel Building in Hong Kong: Challenges & Opportunities. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 650(1). DOI:10.1088/1757-899X/650/1/012033. (date of application: 13.03.2021).
  5. Namzeeva, T.V. Load-bearing capacity of compressed steel thin-walled elements of solid and perforated section from cold-formed C - profile. Engineering and Construction Journal. 2013.5 (40). Pp. 44-53. URL: [http://engstroy.spbstu.ru/index\\_2013\\_05/nazmeeva.pdf](http://engstroy.spbstu.ru/index_2013_05/nazmeeva.pdf). (date of application: 15.03.2021).
  6. Petersen, T., Krahwinkel, M., Behrens, M. Evaluation of the economic efficiency of honeycomb girders of roofs of industrial steel-framed buildings. ISEC 2015 - 8th International Structural Engineering and Construction Conference: Implementing Innovative Ideas in Structural Engineering and Project Management. 2015. Pp. 1259–1264. DOI:10.14455/isec.res.2015.188. (date of application: 15.03.2021).
  7. Abramov, I., Poznakhirko, T., Sergeev, A. The analysis of the functionality of modern systems, methods and scheduling tools. MATEC Web of Conferences. 2016. 86. DOI:10.1051/mateconf/20168604063. (date of application: 15.03.2021).
  8. Veljkovic, M., Johansson, B. Light steel framing for residential buildings. Thin-Walled Structures. 2007. 44(12). Pp. 1272–1279. DOI:10.1016/j.tws.2007.01.006. (date of application: 15.03.2021).
  9. Wang, L. The new bud light steel system and the geometric shape evolution of light steel framework for COVID-19 patients appointed hospital (Huoshenshan hospital). Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2020. 39(6). Pp. 9015–9026. DOI:10.3233/JIFS-189300. (date of application: 15.03.2021).
  10. Gatheeshgar, P., Poologanathan, K., Gunalan, S., Shyha, I., Sherlock, P., Rajanayagam, H., Nagaratnam, B. Development of Affordable Steel-Framed Modular Buildings for Emergency Situations (Covid-19). Structures. 2021. 31(December 2020). Pp. 862–875. DOI:10.1016/j.istruc.2021.02.004. (date of application: 15.03.2021).
  11. Bhatti, A.Q., Wahab, A. Analysis and design of emergency field isolation hospital building using innovative rapidly construction prefabricated units to treat patients infected with COVID-19. Innovative Infrastructure Solutions. 2021. 6(2). DOI:10.1007/s41062-020-00453-1. URL: <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00453-1>. (date of application: 15.03.2021).
  12. Biswas, A., Ghosh, A., Kar, A., Mondal, T., Ghosh, B., Bardhan, P.K. The impact of COVID-19 in the construction sector and its remedial measures. Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1797(1). DOI:10.1088/1742-6596/1797/1/012054. (date of application: 16.03.2021).
  13. Vasiljeva, M., Neskrodieva, I., Ponkratov, V., Kuznetsov, N., Ivlev, V., Ivleva, M., Maramygin, M., Zekiy, A. A predictive model for assessing the impact of the COVID-19 pandemic on the economies of some Eastern European Countries. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. 6(3). DOI:10.3390/JOITMC6030092. (date of application: 16.03.2021).
  14. Evstratov, V. Some aspects of intelligent decision support systems in construction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1030. Pp. 012066. DOI:10.1088/1757-899x/1030/1/012066. (date of application: 16.03.2021).
  15. Gamayunova, O., Petrichenko, M., Mottaeva, A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building. Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1614(1). DOI:10.1088/1742-6596/1614/1/012066. (date of application: 18.03.2021).
  16. Korniyenko, S. Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building:



- Case study. E3S Web of Conferences. 2018. 33. DOI:10.1051/e3sconf/20183302005. (date of application: 18.03.2021).
17. Opitz, M.W., Norford, L.K., Matrosov, Y.A., Butovsky, I.N. Energy consumption and conservation in the Russian apartment building stock. *Energy and Buildings*. 1997. 25(1). Pp. 75–92. DOI:10.1016/s0378-7788(96)00995-4. (date of application: 18.03.2021).
  18. Cherednichenko, N., Oleinik, P. Methods of erection of high-rise buildings. E3S Web of Conferences. 2018. 33. Pp. 1–6. DOI:10.1051/e3sconf/20183303040. (date of application: 18.03.2021).
  19. Topchiy, D., Bolotova, A., Pichugin, A. Analysis of Technological Errors that Caused the Monolithic Structures Collapse. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 953(1). DOI:10.1088/1757-899X/953/1/012031. (date of application: 18.03.2021).
  20. Serbin, S.A., Dedyukhin, P.O., Fomin, N.I. The analysis of technological parameters of precast-monolithic system with permanent formwork walls. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 481(1). DOI:10.1088/1757-899X/481/1/012051. (date of application: 18.03.2021).
  21. Pizoń, J. Long-term Compressive Strength of Mortars Modified with Hardening Accelerating Admixtures. *Procedia Engineering*. 2017. 195. Pp. 205–211. DOI:10.1016/j.proeng.2017.04.545. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.545>. (date of application: 18.03.2021).
  22. Cibis, J. Redefinition of prefabricated large panel building systems - Face lifting or disruptive revolution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 960(3). DOI:10.1088/1757-899X/960/3/032006. (date of application: 18.03.2021).
  23. Bezrukikh, O. Problematic aspects of the management system for large-panel low-rise construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 880(1). DOI:10.1088/1757-899X/880/1/012090. (date of application: 18.03.2021).
  24. Modin, A., Lukin, M., Vlasov, A., Hisham, E. Energy-efficient indicators of panel housing mass construction in the climatic conditions of central Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 896(1). DOI:10.1088/1757-899X/896/1/012063. (date of application: 18.03.2021).
  25. Hou, H., Ji, K., Wang, W., Qu, B., Fang, M., Qiu, C. Flexural behavior of precast insulated sandwich wall panels: Full-scale tests and design implications. *Engineering Structures*. 2019. 180(December 2018). Pp. 750–761. DOI:10.1016/j.engstruct.2018.11.068. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.068>. (date of application: 18.03.2021).
  26. Ahmad, S. Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction - A review. *Cement and Concrete Composites*. 2003. 25(4-5 SPEC). Pp. 459–471. DOI:10.1016/S0958-9465(02)00086-0. (date of application: 18.03.2021).
  27. O'Hegarty, R., Kinnane, O., Grimes, M., Newell, J., Clifford, M., West, R. Development of thin precast concrete sandwich panels: Challenges and outcomes. *Construction and Building Materials*. 2021. 267. Pp. 120981. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.120981. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120981>. (date of application: 18.03.2021).
  28. Gomes, A.P., De Souza, H.A., Tribess, A. Impact of thermal bridging on the performance of buildings using Light Steel Framing in Brazil. *Applied Thermal Engineering*. 2013. 52(1). Pp. 84–89. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2012.11.015. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.11.015>. (date of application: 18.03.2021).
  29. Zeynalian, M., Shelley, A., Ronagh, H.R. An experimental study into the capacity of cold-formed steel truss connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016. 127. Pp. 176–186. DOI:10.1016/j.jcsr.2016.08.001. (date of application: 19.03.2021).
  30. Korsun, N., Prostakishina, D. Bearing capacity of steel thin-walled profiles in reliability assessment. E3S Web of Conferences. 2019. 97. DOI:10.1051/e3sconf/20199704049. (date of application: 19.03.2021).
  31. Sovetnikov D. O., Videnkov N.V., T rubina D.A. LIGHT GAUGE STEEL FRAMING IN CONSTRUCTION OF MULTI-STOREY BUILDINGS. BUILDING OF UNIQUE BUILDING AND BUILDING. 2015. 30(3). Pp. 152–165. (date of application: 19.03.2021).
  32. Rybakov, V.A., Ananeva, I.A., Pichugin, E.D., Garifullin, M. Heat protective properties of enclosure structure from thin-wall profiles with foamed concrete. *Magazine of Civil Engineering*.



2020. 94(2). Pp. 11–20. DOI:10.18720/MCE.94.2. (date of application: 19.03.2021).
33. Umnova, O., Tudev, D., Giyasov, T. Design of low-rise buildings from thin-walled steel frame structures. MATEC Web of Conferences. 2018. 193. Pp. 1–9. DOI:10.1051/mateconf/201819303037. (date of application: 19.03.2021).
  34. Bhatti, A.Q., Wahab, A. Analysis and design of emergency field isolation hospital building using innovative rapidly construction prefabricated units to treat patients infected with COVID-19. Innovative Infrastructure Solutions. 2021. 6(2). DOI:10.1007/s41062-020-00453-1. URL: <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00453-1>. (date of application: 19.03.2021).
  35. Obst, M., Rodak, M., Paczos, P. Limit load of Cold formed thin-walled nonstandard channel beams. Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Poland). 2016. 54(4). Pp. 1369–1377. DOI:10.15632/jtam-pl.54.4.1369. (date of application: 19.03.2021).
  36. Iliescu, M., Rosu, M.M., Capatina, D. Optimization of the induction process on light gauge steel profiles used in metallic framed sustainable eco-constructions. Sustainability (Switzerland). 2019. 11(23). DOI:10.3390/su11236686. (date of application: 19.03.2021).
  37. Dudek, A., Andres, J., Wronska, A., Łogin, W. Effect of corrosion protection method on properties of RSW and RFSSW lap joints applied in production of thin-walled aerostructures. Materials. 2020. 13(8). Pp. 1–11. DOI:10.3390/MA13081841. (date of application: 19.03.2021).
  38. Kage, I., Sakamoto, Y., Takasaka, K., Fujita, S. Corrosion resistance of light gauge steels for steel framed house. 2003. 89(1). Pp. 188–195. DOI: 10.2355/tetsutohagane1955.89.1\_188. (date of application: 19.03.2021).
  39. SP 260.1325800.2016. Thin-walled steel structures from cold-formed galvanized profiles and corrugated sheets. Design rules. (Date of treatment 09.15.2020)
  40. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated edition of SNiP II-23-81 \* (with Amendment 1,2). (Date of treatment 20.03.2021)
  41. Complex of urban planning policy and construction of the city of Moscow. Access mode:<https://stroi.mos.ru/>. (Date of treatment 20.03.2021)
  42. Construction sites of the RF Ministry of Defense of new medical centers. Access mode: [https://stroi.mos.ru/uploads/media/main\\_image/0002/10/db60ed72cd6359728fb6011d0117efc22f6e5e40.jpeg](https://stroi.mos.ru/uploads/media/main_image/0002/10/db60ed72cd6359728fb6011d0117efc22f6e5e40.jpeg). (Date of treatment 20.03.2021)
  43. Infectious disease hospital in New Moscow. Access mode: <https://stroi.mos.ru/infiektionsionnaia-bolnitsa-v-novoi-moskvie?from=cl>. (Date of treatment 20.03.2021)
  44. Mass media, Network edition - Internet portal "Public Television of Russia". Access mode: [https://otr-online.ru/news/v-sevastopole-postroili-novyy-korpus-infekcionnoy-bolnicy-153612.html?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop&nw=1612465101000](https://otr-online.ru/news/v-sevastopole-postroili-novyy-korpus-infekcionnoy-bolnicy-153612.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&nw=1612465101000). (Date of treatment 20.03.2021)
  45. Company "MEDINSTROY" Access mode:<http://medinstroy.ru/> (Date of treatment 09.19.2020)
  46. Coronavirus Covid-19 Access mode: <https://coronavirus-24.ru/rasprostranenie/kitay/stroitelstvo-bolnicy-v-uhane-dlya-koronavirusa/>. (Date of treatment 20.03.2021)
  47. Burstrand, H. Light-gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing. Journal of Constructional Steel Research. 1998. 46(1–3). Pp. 183–186. DOI:10.1016/S0143-974X(98)00141-2. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0143-974X\(98\)00141-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0143-974X(98)00141-2). (Date of treatment 20.03.2021)
  48. Mark Lawson, R., Richards, J. Modular design for high-rise buildings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings. 2010. 163(3). Pp. 151–164. DOI:10.1680/stbu.2010.163.3.151. (date of application: 21.03.2021).
  49. Kalamees, T. Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia. Building and Environment. 2007. 42(6). Pp. 2369–2377. DOI:10.1016/j.buildenv.2006.06.001. (date of application: 21.03.2021).
  50. Nachi, Y., Suzuki, M., Tamura, M. Field survey and analysis on transportation conditions of building materials in building construction process. AIJ Journal of Technology and Design. 2010. 16(34). Pp. 871–876. DOI:10.3130/aijt.16.871. (date of application: 21.03.2021).
  51. Engel, P. Recent developments in dry floors using light gauge steel and composite components. Journal of Constructional Steel Research. 1998. 46(1–3). Pp. 83–84. DOI:10.1016/S0143-974X(98)00101-1. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0143-974X\(98\)00101-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0143-974X(98)00101-1). (date of application: 21.03.2021).



- 21.03.2021).
52. Samiee, P., Esmaili Niari, S., Ghandi, E. Fire performance of cold-formed steel shear wall with different steel grade and thicknesses. *Structures*. 2021. 29(November 2020). Pp. 751–770. DOI:10.1016/j.istruc.2020.11.073. URL: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.11.073>. (date of application: 21.03.2021).
  53. Belal, M.F., Serror, M.H., Mourad, S.A., Saadawy, M.M.E.L. Evolution of grinding energy and particle size during dry ball-milling of silica sand. *Journal of Constructional Steel Research*. 2020. 174. Pp. 106307. DOI:10.1016/j.jcsr.2020.106307. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106307>. (date of application: 21.03.2021).
  54. Borisevich, R., Dragan, A. The temperature distribution in the load-bearing designs using LSTC. *E3S Web of Conferences*. 2020. 212. Pp. 1–7. DOI:10.1051/e3sconf/202021202003. (date of application: 21.03.2021).
  55. Kornilov, T., Kychkin, I., Nazarov, T., Nikiforov, A. Light-gauge frame construction: Numerical analysis and research. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 456(1). DOI:10.1088/1757-899X/456/1/012020. (date of application: 21.03.2021).
  56. Chen, L.K., Yuan, R.P., Ji, X.J., Lu, X.Y., Xiao, J., Tao, J.B., Kang, X., Li, X., He, Z.H., Quan, S., Jiang, L.Z. Modular composite building in urgent emergency engineering projects: A case study of accelerated design and construction of Wuhan Thunder God Mountain/Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic. *Automation in Construction*. 2021. 124(October 2020). Pp. 103555. DOI:10.1016/j.autcon.2021.103555. (date of application: 21.03.2021).
  57. Liu, L., Yao, Y., Chu, Y., Liu, J. Study on Seismic Behaviour of Cold Formed Steel Structure Based on Simplified Mechanical Model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 794(1). DOI:10.1088/1757-899X/794/1/012065. (date of application: 21.03.2021).
  58. Shagiakhmetova, E., Borovskikh, O., Nizamova, A., Kazymova, T. Multivariate model of construction project operational efficiency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 890(1). DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012113. (date of application: 21.03.2021).
  59. Beliakov, S., Boriskina, Y., Gnevanov, M. Analysis of performance indicators of investment and construction sector of the Russian Federation in the conditions of economic crisis. *MATEC Web of Conferences*. 2017. 106. DOI:10.1051/matecconf/201710608105. (date of application: 21.03.2021).
  60. Korytárová, J., Hromádka, V. Risk assessment of large-scale infrastructure projects—assumptions and context. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. 11(1). Pp. 1–12. DOI:10.3390/app11010109. (date of application: 21.03.2021).
  61. Sparrevik, M., de Boer, L., Michelsen, O., Skaar, C., Knudson, H., Fet, A.M. Circular economy in the construction sector: advancing environmental performance through systemic and holistic thinking. *Environment Systems and Decisions*. 2021. (0123456789). DOI:10.1007/s10669-021-09803-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s10669-021-09803-5>. (date of application: 21.03.2021).