

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-397-409>

УДК 69.057

Комплексное исследование развития индустриального домостроения

В. Ю. Гуринович¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2022
Belarusian National Technical University, 2022

Реферат. Индустриальное домостроение – одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений исследований в области строительства и строительных технологий в мире. Для изучения направлений и результативности научных исследований, определения ведущих стран, учреждений, научных журналов и уровня развития индустриального домостроения в Республике Беларусь в разрезе экономически развитых государств выполнен наукометрический анализ на базе аналитической системы SciVal с использованием инструментов визуализации, количественных и качественных наукометрических метрик. Интенсивный рост количества публикаций в области индустриального домостроения и показателей анализируемых наукометрических метрик подтверждает тот факт, что индустриальное домостроение привлекает все большее количество исследователей во всем мире и является перспективным направлением для изучения. По результатам анализа определено, что основные тематики исследований в области индустриального домостроения – это проектирование и информационное моделирование, организация строительства и производства сборных конструкций, доставка конструкций на строительную площадку и их монтаж, в том числе надежность, экономичность, экологичность индустриального домостроения. Следует отметить, что изучению технологий и организации производства железобетонных изделий в заводских условиях и управления производством уделяется меньшее внимание, поэтому необходимы исследования в данных направлениях. Результаты проведенного наукометрического анализа позволяют выявить тенденции, определить приоритетные направления научных исследований и их связь с другими областями науки и могут являться базой для обнаружения пробелов в текущих исследованиях в области индустриального домостроения.

Ключевые слова: наукометрический анализ, индустриальное домостроение, сборные железобетонные конструкции, производство сборных конструкций, наукометрические метрики, исследование, тематический кластер, библиографический поиск

Для цитирования: Гуринович, В. Ю. Комплексное исследование развития индустриального домостроения / В. Ю. Гуринович // *Наука и техника*. 2022. Т. 21, № 5. С. 397–409. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-397-409>

Comprehensive Study of Development of Prefabricated Construction

V. Yu. Gurinovich¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Prefabricated construction is one of the most intensively developing areas of research in the field of construction and building technologies in the world. To study the directions and effectiveness of scientific research, identify leading countries, institutions, scientific journals and the level of development of prefabricated construction in the Republic of Belarus in the context of economically developed countries, a scientometric analysis was carried out based on the SciVal analytical system using visualization tools, quantitative and qualitative scientometric metrics. The intensive growth in the number of publications in the field of prefabricated construction and the indicators of analyzed scientometrics metrics confirms the fact that prefabricated construction attracts an increasing number of researchers around the world and is a promising area

Адрес для переписки

Гуринович Виталий Юрьевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-74-12
Gurinovich@bntu.by

Address for correspondence

Gurinovich Vitaliy Yu.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-74-12
Gurinovich@bntu.by

of scientific research. Based on the results of the analysis, it was determined that the main topics of research in the field of prefabricated construction are design and information modeling, organization of construction and production of prefabricated structures, delivery of structures to the construction site and their installation, including reliability, efficiency, environmental friendliness of prefabricated construction. At the same time, less attention is paid to topics in the field of technology research and the organization of the production of reinforced concrete products in the factory and production management, which requires further research in these areas. The results of the executed scientometric analysis make it possible to identify trends, priority areas for further scientific research and their relationship with other areas of science, and can be a scientific basis for identifying gaps in current research in the field of prefabricated construction.

Keywords: scientometric analysis, prefabricated construction, precast reinforced concrete structures, precast production, scientometric metrics, research, topic cluster, bibliographic search

For citation: Gurinovich V. Yu. (2022) Comprehensive Study of Development of Prefabricated Construction. *Science and Technique*. 21 (5), 397–409. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-21-5-397-409> (in Russian)

Введение

Государственная политика в области жилищного строительства в части возведения доступного жилья и обеспечения прогнозных показателей средней стоимости 1 м² жилья способствует развитию в республике индустриального домостроения как основного метода, позволяющего строить жилье с минимальными затратами и в кратчайшие сроки [1, 2]. В ряде стран рост индустриального домостроения также определяется государственной политикой развития высокотехнологичных, экологических и экономических методов строительства вне стройплощадки [3].

Средняя доля зданий из сборного железобетона в государствах Европейского союза составляет 20–25 %, в странах Северной Европы она достигает 40–50 %, в Российской Федерации – порядка 30 %, а на долю Китая приходится более 30 % мирового рынка индустриального строительства [4, 5]. В Республике Беларусь доля возведения зданий в индустриальном исполнении составляет 40–45 %.

Технология строительства зданий из сборных железобетонных конструкций и элементов в мировой практике известна давно, но только в последнее десятилетие данное направление привлекает все больше внимания ученых и практикующих специалистов [6, 7]. Обзор литературы, входящей в международные базы научного цитирования, показывает значительный рост количества публикаций по данной тематике начиная с 2015 г.

Планирование проведения исследований

Для анализа направлений и тенденций научных исследований в области индустриального домостроения, определения уровня его развития в Республике Беларусь в разрезе экономи-

чески развитых государств, изучения структуры цитирования, ключевых исследователей, учреждений, стран и степени их взаимодействия проведен наукометрический анализ, который позиционируется как основной инструмент изучения отдельных направлений науки, сетей научных коммуникаций, средств оценки результативности научных исследований [8]. Наукометрический анализ выполнен в аналитической системе SciVal, которая обеспечивает представление и оценку результатов научно-исследовательской деятельности более 12000 организаций (вузов, научно-исследовательских организаций и центров) из 230 стран с использованием инструментов визуализации и современных метрик цитируемости. В SciVal все публикации сгруппированы по областям научных исследований в 1500 базовых тематических кластерах, которые включают 96000 отдельных предметных категорий. Анализ научных исследований в области индустриального домостроения проводился по состоянию на декабрь 2021 г. Исследования были разделены на отдельные этапы, очередность проведения которых представлена на рис. 1.

На первом этапе проведен библиографический поиск научной литературы в области индустриального домостроения в трех тематических кластерах аналитической системы SciVal, включающих более 250 отдельных предметных категорий в строительстве. На втором выполнены наукометрический анализ результатов исследований, тематик, ключевых слов, цитирования, журналов, авторов, учреждений и оценка результативности научных исследований в отобранных предметных категориях. На завершающем этапе проведено обсуждение результатов наукометрического анализа, закономерностей и тенденций в области индустриального домостроения.



Рис. 1. Схема проведения исследований

Fig. 1. Workflow of study

Библиографический поиск

Библиографический поиск выполнен в трех тематических кластерах аналитической системы SciVal: TC.295 «Строительство, строительная промышленность, управление проектами» (Construction, Construction Industry, Project Management), ТК.68 «Бетоны, прочность на сжатие, цементы» (Concretes, Compressive Strength, Cements) и ТК.137 «Железобетон, бетоны, сталь» (Reinforced Concrete, Concretes, Steel). Анализ публикационной активности в выбранных тематических кластерах за период с 2011 по 2020 г. показал интенсивный ежегод-

ный рост публикаций в каждом тематическом кластере начиная с 2015 г. (рис. 2).

По результатам проведения библиографического поиска в трех кластерах выбраны две предметные категории Т.26767 «Сборные здания, заводское производство, сборный железобетон» (Prefabricated Buildings, Off-Site, Precast Concrete) и Т.57073 «Готовые бетонные изделия, производство/планирование, управление» (Ready Mixed Concrete, Production/Scheduling, Dispatching), непосредственно отражающие результаты исследований в области промышленного домостроения.

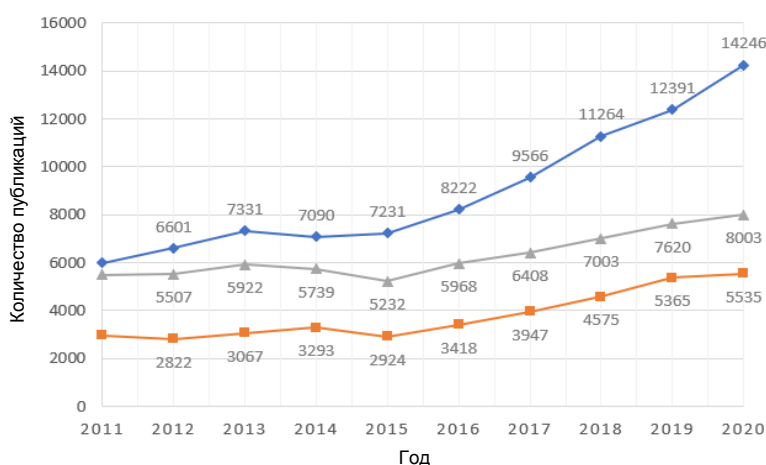


Рис. 2. Количество публикаций в тематических кластерах в 2011–2020 гг.:

—◆— ТК.68; —■— ТК.137; —▲— TC.295

Fig. 2. Number of publications in topic clusters in 2011–2020: —◆— concretes, compressive strength, cements (TK.68); —■— reinforced concrete, concrete, steel (TK.137); —▲— construction, construction industry, project management (TC.295)

Для повышения качества наукометрического анализа в отобранных предметных категориях были проанализированы только статьи в рецензируемых журналах, как демонстрирующие более полное и качественное представление результатов исследований в предметной области, и исключены книжные обзоры, тезисы, препринты и пр. Также дополнительно отсеяны публикации по областям исследований, которые включены в анализируемые предметные категории, но по направлению не относятся к индустриальному домостроению (биология, медицина, сельское хозяйство, наука о Земле и пр.).

Наукометрический анализ

Наукометрический анализ выполнен за период наибольшей публикационной активности результатов исследований с 2016 по 2020 г. по количественным и качественным показателям для 474 отобранных статей. В качестве количественных метрик приняты показатели количества публикаций, цитирований и просмотров публикаций, вовлеченности стран, учреждений и журналов, а в качестве качественных – показатели нормализованного по области индекса

цитирования, актуальности темы исследований, доли публикаций на квартиль журнала.

За период 2016–2020 гг. ежегодное количество публикаций результатов исследований в области индустриального домостроения в предметных категориях Т.26767 и Т.57073 увеличилось практически вдвое (рис. 3).

Общее количество публикаций показывает только публикационную активность, но не отражает значимости исследования и интереса к его результатам. Для определения значимости публикаций в научных исследованиях и интереса к публикациям проанализированы показатели цитируемости и количества просмотров публикаций за период 2016–2020 гг. (рис. 4).

Для определения ведущих стран, учреждений и журналов по вовлеченности в исследования в области индустриального домостроения отобраны и распределены по анализируемым показателям 20 стран, 20 учреждений и 20 научных журналов. Показатели научной результативности стран, учреждений и научных журналов в предметных категориях Т.26767 и Т.57073 за период 2016–2020 гг. представлены в табл. 1–3.

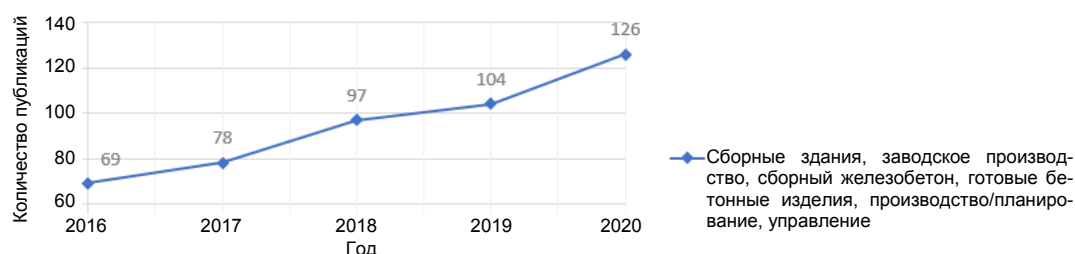


Рис. 3. Общее количество публикаций в предметных категориях Т.26767 и Т.57073

Fig. 3. Total number of publications in topics T.26767 and T.57073

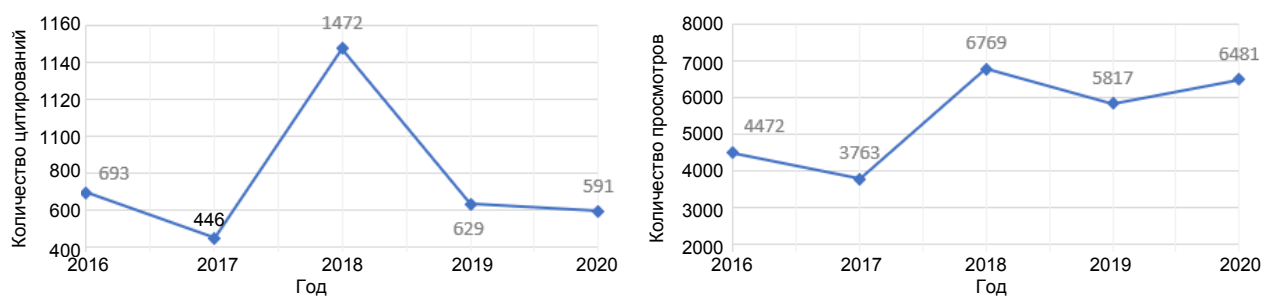


Рис. 4. Количество цитирований и просмотров публикаций в предметных категориях Т.26767 и Т.57073

Fig. 4. Number of citations and views of publications in topics T.26767 and T.57073

Таблица 1

Ведущие страны по результативности исследований
Leading countries in research performance

№ п/п	Страна/регион	Количество		Нормализованный индекс цитирования	Количество цитирований
		публикаций	просмотров		
1	 Китай	120	7796	1,61	1626
2	 Австралия	69	6815	2,01	1245
3	 Малайзия	58	3943	0,83	254
4	 Великобритания	53	3922	1,15	521
5	 США	40	3095	2,32	544
6	 Гонконг	33	3990	3,06	786
7	 Индия	24	835	0,31	35
8	 Канада	18	1050	1,16	254
9	 Швеция	18	852	1,47	89
10	 Иран	13	716	1,89	102
11	 Германия	11	537	0,33	32
12	 Российская Федерация	11	174	0,49	6
13	 Сингапур	9	1410	3,30	218
14	 Словакия	8	480	1,03	23
15	 Египет	7	330	0,54	45
16	 Индонезия	7	263	0,11	4
17	 Новая Зеландия	7	378	1,42	31
18	 Южная Корея	7	588	1,41	65
19	 Чешская Республика	6	224	0,69	18
20	 Италия	6	520	0,87	41

Низшее  наивысшее значение метрики.

Таблица 2

Ведущие учреждения по результативности исследований
Leading institutions in terms of research performance

№ п/п	Учреждение	Количество		Нормализованный индекс цитирования	Количество цитирований
		публикаций	просмотров		
1	 Харбинский технологический институт	25	756	0,66	90
2	 Гонконгский политехнический университет	25	2652	2,58	572
3	 Мельбурнский университет	16	1734	2,17	407
4	 Университет Сайнс Малайзия	14	1109	0,82	74
5	 Чунцинский университет	12	1355	2,48	360
6	 Университет Технологии МАРА	12	764	0,35	22
7	 Технологический университет Лулео	11	436	1,34	38
8	 Университет Кертин	10	1056	2,71	216
9	 Университет Нового Южного Уэльса	10	665	0,98	105
10	 Университет Тун Хусейн Онн Малайзия	9	699	0,79	40
11	 Университет Альберты	8	289	1,46	28
12	 Университет Утара Малайзия	8	463	0,23	18
13	 Университет Западного Сиднея	8	553	1,84	63
14	 Технический университет в Кошице	7	370	0,84	21
15	 Университет Цинхуа	7	616	4,22	181
16	 Министерство образования, Китай	6	269	0,70	22
17	 Национальный университет Сингапура	6	1323	4,96	218
18	 Квинслендский технологический университет	6	767	2,15	86
19	 Мельбурнский королевский технологический институт	6	792	3,38	284
20	 Ратгерский университет штата Нью-Джерси	6	872	4,10	200

Низшее  наивысшее значение метрики.

Ведущие журналы по публикациям в области индустриального домостроения

Leading sources in the field of prefabricated construction

№ п/п	Издание	Количество		Нормализованный индекс цитирования	Количество цитирований
		публикаций	просмотров		
1	Journal of Cleaner Production	30	4534	2,88	1115
2	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	29	839	0,81	36
3	Journal of Construction Engineering and Management	15	1470	1,41	189
4	Malaysian Construction Research Journal	15	470	0,10	4
5	Automation in Construction	14	1916	3,27	559
6	International Journal of Construction Management	12	986	2,19	159
7	Procedia Engineering	12	706	2,28	153
8	Engineering, Construction and Architectural Management	9	675	2,37	93
9	Lecture Notes in Civil Engineering	9	518	0,89	7
10	Architectural Engineering and Design Management	8	1259	3,46	147
11	ICCREM 2020	8	23	0,76	2
12	Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering	8	345	0,60	31
13	Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Plant and Precast Technology	7	88	0	0
14	ICCREM 2017	7	176	1,09	8
15	International Journal of Civil Engineering and Technology	7	375	0,09	9
16	Jurnal Teknologi	7	640	0,61	35
17	Buildings	6	328	1,58	60
18	Construction Innovation	6	736	1,86	123
19	ICCREM 2018	6	152	0,53	4
20	ICCREM 2019	6	144	2,08	8

Низшее  наивысшее значение метрики.

Динамика изменения показателя нормализованного по области индекса цитирования (Field-Weighted Citation Impact), определяющего научный уровень публикаций, представлена на рис. 5. Для предметных категорий Т.26767 и Т.57073 среднее значение данного показателя за период 2016–2020 гг. составило 1,15, что демонстрирует цитируемость публикаций анализируемых предметных категорий на 15 % больше мирового.

Показатель актуальности темы исследований (Topic Prominence), который отражает популярность (известность) темы, изображен на рис. 6. Для предметных категорий Т.26767 и Т.57073 данный параметр увеличился с 2016 г. на 14,2 и 14,7 % соответственно.

Доля публикаций в журнальных квартилях отражает авторитетность публикации. За анализируемый период 2016–2020 гг. в журналах пер-

вого квартиля в среднем издавалось около 38 % публикаций предметных категорий Т.26767 и Т.57073. Распределение публикаций анализируемых предметных категорий по квартилям журналов за 2016–2020 гг. представлено на рис. 7.

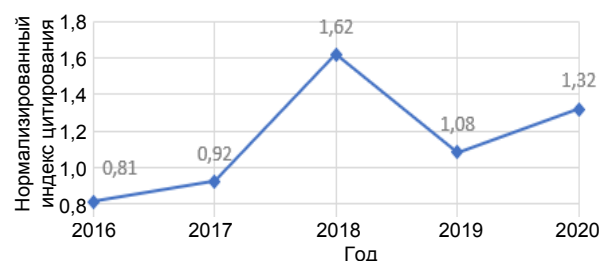


Рис. 5. Динамика изменения нормализованного показателя цитирования публикаций в предметных категориях Т.26767 и Т.57073

Fig. 5. Dynamics of change in the normalized citation rate of publications in topics T.26767 and T.57073

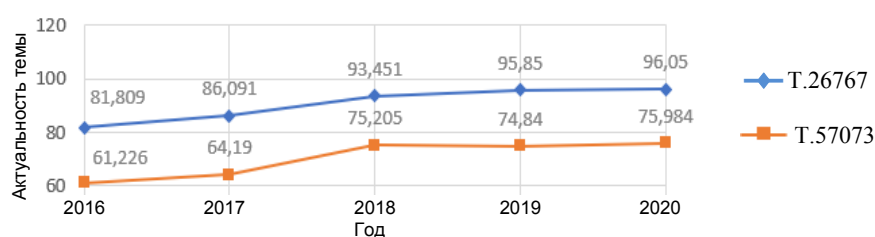


Рис. 6. Актуальность предметных категорий T.26767 и T.57073

Fig. 6. Topic prominence T.26767 and T.57073

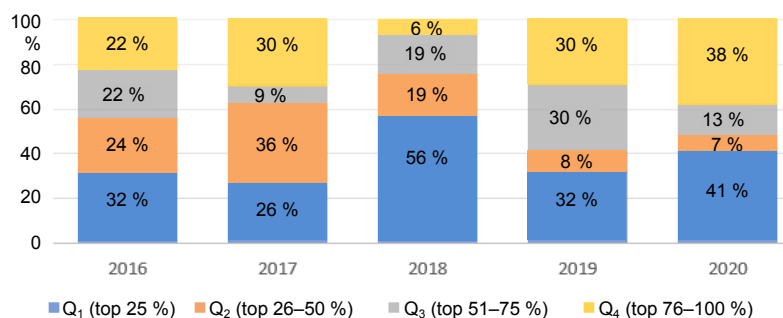


Рис. 7. Доля публикаций предметных категорий T.26767 и T.57073 в журнальных квартилях

Fig. 7. Proportion of publications of topics T.26767 and T.57073 in journal quartiles

Обсуждение результатов исследований

Возведение зданий и сооружений из сборных железобетонных конструкций является одним из основных методов строительства во многих европейских странах и в последнее время интенсивно развивается в Азиатском регионе – в Китае, Малайзии, Индии, Южной Корее, Иране и др. Индустриальное домостроение рассматривается в зарубежной практике как инструмент оптимизации строительства за счет развития производства строительных изделий вне стройплощадки [3, 9].

Среди лидеров по объемам индустриального домостроения выделяются скандинавские страны, в частности Швеция, а по уровню автоматизации и роботизации промышленного изготовления строительных конструкций мировое лидерство удерживает Япония. Производительность японских домостроительных заводов в семь раз превышает соответствующие показатели европейских предприятий [10].

Несмотря на успехи индустриализации жилищного строительства, в большинстве экономически развитых стран до сих пор преобладают методы строительства без применения сборных железобетонных конструкций.

Так, в США и Турции доля зданий из сборного железобетона составляет всего 6 и 2 % соответственно [4].

Преимущества технологии сборного железобетона представлены в исследованиях [11–16] и определяют, прежде всего, высокое качество, сокращение продолжительности и стоимости строительства, снижение трудовых и материальных ресурсов, повышение безопасности строительства, а также экологичность строительства, которая обеспечивается сокращением отходов. К основным ограничениям интенсивного развития индустриального домостроения в мировой строительной практике относят отсутствие квалифицированных рабочих и специалистов, опыта проектирования зданий из сборных железобетонных конструкций, ограниченное архитектурное разнообразие зданий, сложность доставки крупногабаритных конструкций на стройплощадки в городских условиях, низкую сейсмостойчивость зданий из сборного железобетона, а также государственную политику в области развития индустриального строительства [4]. Следует отметить, что на развитие индустриального домостроения в отдельных регионах оказывают влияние климатические условия, определяющие приоритет

выбора альтернативных методов строительства, имеющих преимущества по срокам и стоимости.

Результаты сравнения эффективности индустриального домостроения с традиционными методами возведения зданий, предусматривающими проведение всего цикла строительства в условиях стройплощадки, оказались весьма противоречивыми. Так, L. Jaillon и C. S. Poon [17] определили, что сборное строительство индивидуальных жилых домов в Индии по типовым проектам может быть эффективно для массового возведения более 100 жилых зданий площадью примерно 25 м², а строительство одного индивидуального двухэтажного жилого дома в индустриальном исполнении привело к увеличению стоимости на 21 %, но сокращению продолжительности строительства на 49 %. Однако, согласно исследованиям авторов [16], строительство из сборных железобетонных конструкций в Гонконге обеспечивает сокращение сроков до 15 % и потребность в рабочей силе на стройплощадке до 16 %, при этом стоимость строительства увеличивается незначительно, в среднем на 1,4 %. Также отмечено, что количество несчастных случаев на стройплощадке уменьшилось на 63 %, а строительных отходов – на 65 %.

Исследования индустриального домостроения в Китае, проведенные J. Hong с соавторами [18], показали, что себестоимость сборных зданий оказалась на 26,3–72,1 % больше, чем обычных домов, при этом, по мнению авторов [19], производство сборных железобетонных изделий, транспортировка и проектирование дизайна зданий – самые трудоемкие и затратные технологические переделы индустриального домостроения, а стоимость отделочных работ, сроки строительства и общее количество рабочих на стройплощадке определяют экономическую эффективность индустриального домостроения.

Анализ результатов исследований в [20–22] показал экономическую эффективность индустриального домостроения при условии применения передовых конструктивных и технологических решений, корректной организации работ на всех технологических этапах строительства. В то же время в [23, 24] на примере развития индустриального домостроения в Великобри-

тании и Китае показано, что внедрение современных технологий и инновационных подходов в индустриальном домостроении ограничивается недостаточным уровнем подготовки и нехваткой профессиональных навыков у руководителей и рабочих.

В отечественной строительной практике на высокоорганизованных и оснащенных средствами механизации строительных площадках при возведении крупнопанельных жилых зданий, по данным [5, 25], суммарные трудовые затраты на 1 м² общей площади сокращаются почти вдвое по сравнению с традиционными методами строительства, а до 60 % общих затрат труда переносится в заводские условия.

Исходя из перечисленного выше, эффективность индустриального домостроения необходимо рассматривать в контексте конкретной страны или региона и оценивать ее, применяя системный анализ затрат и выгод.

При анализе тематик публикаций предметных категорий Т.26767 и Т.57073 установлено, что наиболее востребованными тематиками исследований в области индустриального домостроения являются проектирование и информационное моделирование, организация производства сборных конструкций, доставка конструкций на строительную площадку и их монтаж, в том числе надежность, экономичность, экологичность индустриального домостроения и пр. Для анализа тенденций в области исследований индустриального домостроения построен график публикационной активности для предметных категорий Т.26767 и Т.57073 (рис. 8).

График на рис. 8 подтверждает выводы, приведенные в [7], что интерес к индустриальному домостроению из сборных железобетонных конструкций в мире возрастает, но в исследованиях преобладают темы, ориентированные на изучение архитектурных и конструктивных решений зданий, железобетонных конструкций заводского изготовления и их свойств, на организацию строительства в условиях строительной площадки и т. д., а тематикам, связанным с организацией производства железобетонных изделий, управлением производством, исследованием технологий производства изделий в заводских условиях, уделяется меньшее внимание.

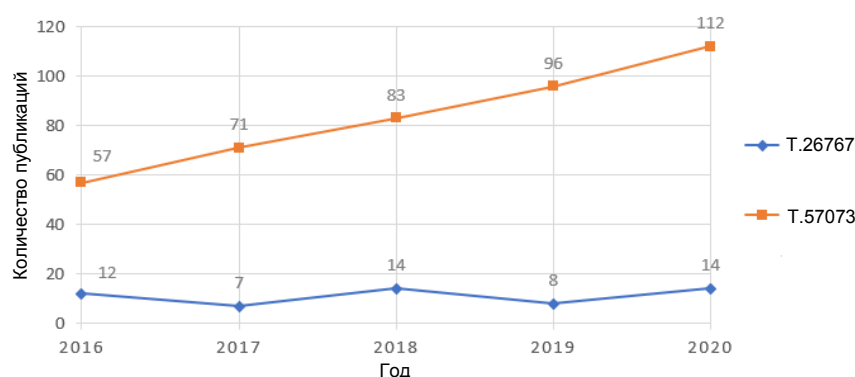


Рис. 8. Количество публикаций в предметных категориях T.26767 и T.57073

Fig. 8. Number of publications in topics T.26767 and T.57073

Согласно табл. 1–3, наукометрический анализ в области индустриального домостроения за период 2016–2020 гг. в разрезе стран, учреждений и исследований по количественным показателям показал общее лидерство Китая, на долю которого приходится 38 % публикаций, отобранных для анализа в предметных категориях T.26767 и T.57073. В топ-20 учреждений по количеству публикаций вошли четыре китайских учреждения. Однако по нормализованному индексу цитирования КНР занимает только 6-е место, при этом для Министерства образования Китая и Харбинского технологического института показатель нормализованного индекса цитирования оказался ниже среднего мирового уровня и составил 0,70 и 0,66 соответственно. Лидерами среди стран по нормализованному индексу цитирования являются Сингапур, Гонконг и Австралия, а среди учреждений – Национальный университет Сингапура, Университет Цинхуа (Китай) и Ратгерский университет (США), уровень цитирования публикаций которых в четыре раза больше среднего мирового.

Ведущим направлением исследований в Китае является изучение воздействия развития индустриального домостроения на окружающую среду. Приоритет данного направления обусловлен государственной политикой в области экологической безопасности КНР, в том числе сокращения вредных выбросов в строительной промышленности.

Интенсивность исследований в области индустриального домостроения в Великобритании, Австралии, Гонконге и Малайзии определяется государственной политикой развития

высокотехнологичных методов строительства в этих странах. В Великобритании разработаны программы поддержки развития и финансирования мероприятий, направленных на удовлетворение растущего спроса в доступном жилье и модернизацию технологий строительства с низким качеством и низкой производительностью на высокотехнологичные методы строительства, одним из которых является внеплощадочное строительство. В Малайзии развитию индустриального домостроения способствовала принятая еще в 2003 г. Дорожная карта, направленная на обеспечение создания индустриализированного строительного сектора. В том числе развитие индустриального домостроения в Малайзии мотивируется освобождением от уплаты строительных налогов застройщиков при возведении зданий с применением сборных конструкции заводского производства в объеме более 50 % [3].

Среди анализируемых журналов наибольшее количество опубликованных статей и самая высокая цитируемость публикаций за период 2016–2020 гг. отмечены в Journal of Cleaner Production и IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Наибольший показатель нормализованного индекса цитирования публикаций у Architectural Engineering and Design Management, что отражает востребованность и актуальность статей в области индустриального домостроения, издающихся в этом журнале.

Для определения учреждений и стран, активно публикующих результаты исследований в наиболее влиятельных журналах, из общего перечня были отобраны пять рейтинговых

изданий по количеству публикаций и пять по показателю нормализованного индекса цитирования публикаций. После сопоставления анализируемых наукометрических данных для журналов отобраны семь ведущих изданий: Journal of Cleaner Production, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Journal of Construction Engineering and Management, Malaysian Construction Research Journal, Automation in Construction, Architectural Engineering and Design Management, Procedia Engineering. Рейтинг этих журналов по метрике CiteScore представлен на рис. 9.

Наиболее влиятельными по метрике CiteScore являются Journal of Cleaner Production, Automation in Construction и Journal of Construction Engineering and Management, в которых за период 2016–2020 гг. опубликовано 59 статей из общего количества анализируемых публикаций. В данных журналах представлены публикации 67 учреждений из 17 стран мира. Наибольшее количество – от исследователей Гонконгского политехнического университета – 12 статей, Шанхайского университета Джао Тонг (Китай) и Ратгерского университета (США) – по пять статей соответственно. Среди стран наибольшее количество публикаций представлено исследователями Китая (30 статей), Гонконга (17) и Австралии (17 статей).

Анализ публикаций установил авторитетных исследователей и востребованные тематики в сфере индустриального домостроения. Наиболее рейтинговыми по нормализованному индексу цитирования являются публикации в области исследований ресурсосбережения и экологичности индустриального строительства на примере строительной практики Китая [26], организации, оптимизации и моделирования цепочки поставок железобетонных изделий «предприятие – строительная площадка» [27], анализа затрат и определения направлений снижения стоимости индустриального домостроения [18]. Показатель нормализованного по области индекса цитирования данных публикаций – более 10.

Среди публикаций с наибольшим количеством просмотров выделяются работы в области моделирования процессов индустриального домостроения [28], оптимизации индустриального домостроения путем разработки инновационных решений монтажных соединений и организации монтажа конструкций [29], исследования тенденций развития индустриального домостроения и выявления проблемных вопросов развития индустриального домостроения в США [30], нормализованный по области индекс просмотра публикаций которых составил 22,63; 15,25 и 13,85 соответственно.

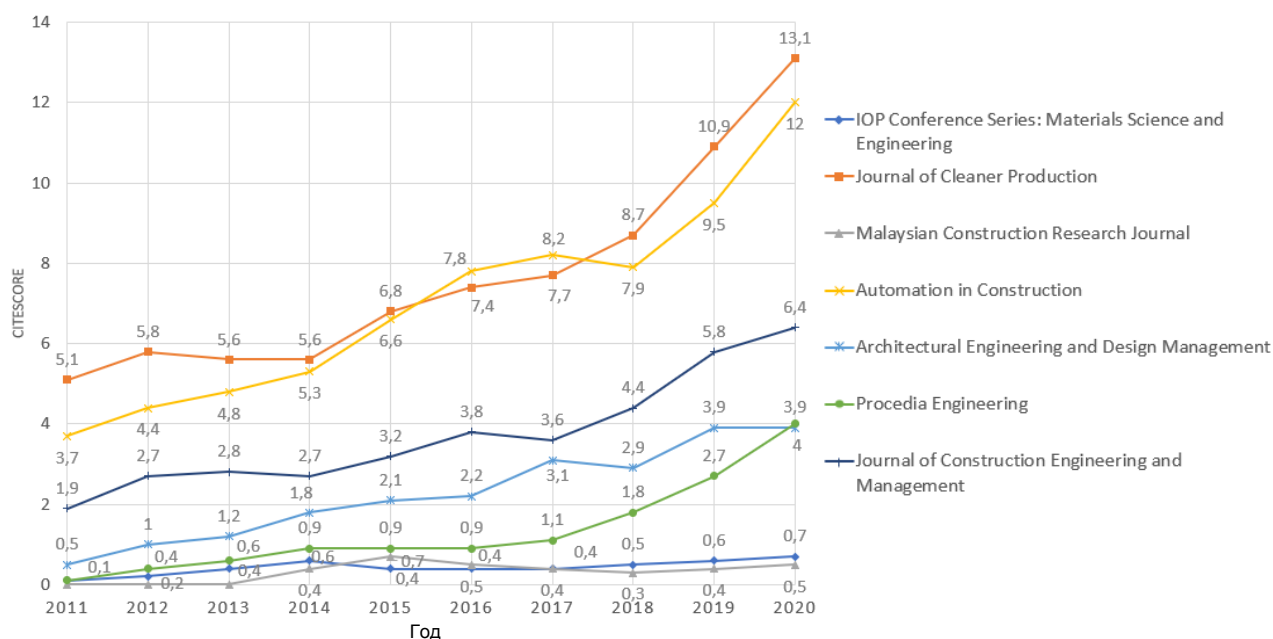


Рис. 9. Рейтинг журналов по показателю CiteScore

Fig. 9. Journal ranking by CiteScore

ВЫВОДЫ

1. Проведенный наукометрический анализ установил рост интереса к исследованиям в области индустриального домостроения, что подтверждается ежегодным увеличением количества публикаций в данной сфере, ростом наукометрических метрик, определяющих количественные и качественные показатели результатов исследований, в том числе актуальность, значимость и авторитетность исследований. Но, несмотря на общемировой рост исследований в области индустриального домостроения и высокие в отечественной строительной практике показатели возведения жилья в индустриальном исполнении в Республике Беларусь, исследования в этом направлении ведутся недостаточно активно.

2. Данные наукометрического анализа показывают, что наиболее активно исследования в области индустриального домостроения ведутся в Китае, Австралии, Малайзии, Гонконге, Сингапуре, США и Великобритании. Самыми рейтинговыми являются темы: ресурсосбережения и экологичности индустриального строительства; организации, оптимизации и моделирования цепочки поставок железобетонных изделий; анализа затрат и определения направлений снижения стоимости индустриального домостроения; разработки инновационных монтажных соединений и организации монтажа конструкций; исследование тенденций и выявление проблемных вопросов развития индустриального домостроения. А наиболее влиятельные издания по метрике CiteScore, в которых публикуются результаты исследований в данных областях, – это *Journal of Cleaner Production*, *Automation in Construction* и *Journal of Construction Engineering and Management*.

3. Обобщая ключевые слова и основные тематики исследований, можно отметить, что исследования в области индустриального домостроения проводятся по многим направлениям, таких как изучение архитектурных и конструктивных решений зданий, железобетонных конструкций заводского изготовления и их свойств, монтажных соединений, организация строительства в условиях строительной площадки и пр. Однако исследования в области технологий и организации производства желе-

зобетонных изделий в заводских условиях и управления производством ведутся в мировой практике не так интенсивно и требуют дальнейшего изучения в связи с внедрением на предприятиях высокопроизводительного оборудования и технологий, повышением уровня автоматизации и роботизации современных производств.

4. Развитие индустриального домостроения в мировой строительной практике сдерживается рядом факторов, среди которых отсутствие опыта проектирования зданий из сборных железобетонных конструкций и недостаточная квалификация рабочих и специалистов, ограниченное архитектурное разнообразие зданий, сложность доставки крупногабаритных конструкций на стройплощадки в городских условиях, низкая сейсмоустойчивость зданий из сборного железобетона. При этом эффективность индустриального домостроения определяется, прежде всего, применением передовых конструктивных и технологических решений, корректной организацией работ на всех технологических этапах строительства, внедрением современных технологий и инновационных подходов строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко, В. М. Перспективы развития индустриального домостроения в Республике Беларусь / В. М. Пилипенко, В. А. Потершук, Т. М. Пецольд // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: сб. Междунар. науч.-техн. ст. Минск: БНТУ, 2015. С. 8–14.
2. Государственная программа «Строительство жилья» на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 21 апр. 2016, № 325 // Право.by. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600325&p1=1>.
3. Azman, M. N. A. Comparative Study on Prefabrication Construction Process / M. N. A. Azman, M. S. S. Ahamad, W. M. A. Wan Hussin // *International Surveying Research Journal*. 2012. Vol. 2, No 1. P. 45–58.
4. Polat, G. Precast Concrete Systems in Developing Vs. Industrialized Countries / G. Polat // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2010. Vol. 16, No 1. P. 85–94. <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.08>.
5. Ефименко, А. З. Развитие и выявление резервов мощности предприятий стройиндустрии / А. З. Ефименко. М.: МГСУ, 2012. 198 с.
6. A Review and Scientometric Analysis of Global Research on Prefabricated Buildings [Electronic Resource] / Wenhui Liu [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–18. <https://doi.org/10.1155/2021/8869315>.

7. Critical Evaluation of Off-Site Construction Research: a Scientometric Analysis / M. R. Hosseini [et al.] // *Automation in Construction*. 2018. Vol. 87. P. 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.002>.
8. Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии / М. Акоев [и др.]; под ред. М. А. Акоева. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2014. 250 с. <https://doi.org/10.15826/b978-5-7996-1352-5.0000>.
9. Alinaitwe, H. M. Assessing the Degree of Industrialization in Construction – a Case of Uganda / H. M. Alinaitwe, J. A. Mwakali, B. Hansson // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2006. Vol. 12, No 3. P. 221–229. <https://doi.org/10.3846/13923730.2006.9636396>.
10. Vogler, A. The House as a Product / A. Vogler. Amsterdam: IOS Press, 2015. 198 p.
11. A Comparative Study of Environmental Performance between Prefabricated and Traditional Residential Buildings in China / X. Cao [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 109. P. 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>.
12. Precast Concrete Value Engineering Accommodates Difficult Sites / P. Hamill [et al.] // *PCI Journal*. 2006. Vol. 51, No 4. P. 2–25. <https://doi.org/10.15554/pcij.07012006.18.40>.
13. Case Study-Based Challenges of Quality Concrete Finishing for Architecturally Complex Structures / J. D. Manrique [et al.] // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2007. Vol. 133, No 3. P. 208–216. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:3\(208\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:3(208)).
14. Towards Adoption of Prefabrication in Construction / V. W. Tam [et al.] // *Building and Environment*. 2007. Vol. 42, No 10. P. 3642–3654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>.
15. VanGeem, M. Achieving Sustainability with Precast Concrete / M. VanGeem // *PCI Journal*. 2006. Vol. 51, No 1. P. 42–61. <https://doi.org/10.15554/pcij.01012006.42.61>.
16. Application of Sustainable Prefabricated Wall Technology for Energy Efficient Social Housing / R. Chippagiri [et al.] // *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No 3. P. 1195. <https://doi.org/10.3390/su13031195>.
17. Jaillon, L. Sustainable Construction Aspects of Using Prefabrication in Dense Urban Environment: a Hong Kong Case Study / L. Jaillon, C. S. Poon // *Construction Management and Economics*. 2008. Vol. 26, No 3. P. 953–966. <https://doi.org/10.1080/01446190802259043>.
18. Barriers to Promoting Prefabricated Construction in China: a Cost-Benefit Analysis / J. Hong [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 172. P. 649–660. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.171>.
19. Cost Analysis for Sustainable Off-Site Construction Based on a Multiple-Case Study in China / C. Mao [et al.] // *Habitat International*. 2016. Vol. 57. P. 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.08.002>.
20. Pan, W. Demystifying the Cost Barriers to Offsite Construction in the UK / W. Pan, R. Sidwell // *Construction Management and Economics*. 2011. Vol. 29, No 11. P. 1081–1099. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.637938>.
21. Li, Z. Critical Review of the Research on the Management of Prefabricated Construction / Z. Li, G. Q. Shen, X. Xue // *Habitat International*. 2014. Vol. 43. P. 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.04.001>.
22. Best Practice of Prefabrication Implementation in the Hong Kong Public and Private Sectors / V. W. Tam [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 109. P. 216–231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.045>.
23. Nadim, W. Offsite Production in the UK: the Way Forward? A UK Construction Industry Perspective / W. Nadim, J. S. Goulding // *Construction Innovation*. 2010. Vol. 10, No 2. P. 181–202. <https://doi.org/10.1108/14714171011037183>.
24. Zhai, X. Factors Impeding the Offsite Production of Housing Construction in China: an Investigation of Current Practice / X. Zhai, R. Reed, A. Mills // *Construction Management and Economics*. 2014. Vol. 32, No 1–2. P. 40–52. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.787491>.
25. Технология строительного производства и охрана труда / А. П. Коршунова [и др.]; под общ. ред. Г. Н. Фомина. М.: Архитектура-С, 2007. 375 с.
26. Unlocking the Green Opportunity for Prefabricated Buildings and Construction in China / Y. Chang [et al.] // *Resources, Conservation and Recycling*. 2018. Vol. 139. P. 259–261. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.025>.
27. Precast Supply Chain Management in Off-Site Construction: a Critical Literature Review / Z. Wang [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 232. P. 1204–1217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.229>.
28. Matthew, Goh. Production Theory-Based Simulation of Modular Construction Processes / Matthew Goh, Yang Miang, Goh Lean // *Automation in Construction*. 2019. Vol. 101. P. 227–244. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>.
29. Liew, J. Innovation in Modular Building Construction / J. Liew, Y. Richard // 9th International Conference on Advances in Steel Structures (ICASS 2018), Hong Kong, 5–7 Decem. 2018. P. 1–14. <https://doi.org/10.18057/ICASS2018.K.05>.
30. Grosskopf, K. R. Offsite Construction – U.S. Market Trends in Prefabrication Challenges for Technology Innovation: an Agenda for the Future / K. R. Grosskopf, J. W. Elliott, J. E. Killingsworth // *International Conference on Sustainable Smart Manufacturing (S2M)*, Lisbon, 20–22 Oct. 2016. P. 393–398. <https://doi.org/10.1201/9781315198101-69>.

Поступила 13.05.2022

Подписана в печать 14.07.2022

Опубликована онлайн 30.09.2022

REFERENCES

1. Pilipenko V. M., Potershchuk V. A., Petsold T. M. (2015) Prospects for Development of Industrial Housing Construction in the Republic of Belarus. *Sovremennye Problemy Vnedreniya Evropeiskikh Standartov v Oblasti Stroitel'stva: Sb. Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. St.* [Modern Problems of Implementation of European Standards in the Field of Construction: Collection of International Scientific and Technical Papers]. Minsk, Belarusian National Technical University, 8–14 (in Russian).
2. Government Program “Housing Construction” for 2016–2020: Approved by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on 21.04.2016 No 325. *Pravo.by*. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600325&p1=1> (in Russian).
3. Azman M. N. A., Ahamad M. S. S., Wan Hussin W. M. A. (2012) Comparative Study on Prefabrication Construction Process. *International Surveying Research Journal*, 2 (1), 45–58.
4. Polat G. (2010) Precast Concrete Systems in Developing Vs. Industrialized Countries. *Journal of Civil Engineering*

- and Management, 16 (1), 85–94. <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.08>.
5. Efimenko A. Z. (2012) *Development and Identification of Power Reserves of Construction Industry Enterprises*. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering. 198 (in Russian).
 6. Wenhui Liu, Hong Zhang, Qian Wang, Tianran Hua, Hong Xue (2021) A Review and Scientometric Analysis of Global Research on Prefabricated Buildings. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2021/8869315>.
 7. Hosseini M. R., Martek I., Zavadskas E. K., Aibinu A. A., Arashpour M., Chileshe N. (2018) Critical Evaluation of Off-Site Construction Research: a Scientometric Analysis. *Automation in Construction*, 87, 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.002>.
 8. Akoev M., Markusova V., Moskaleva O., Pisyakov V. (2014) Handbook for Scientometrics: Indicators of Science and Technology Development. Ekaterinburg, Publishing House of the Ural University. 250. <https://doi.org/10.15826/b978-5-7996-1352-5.0000> (in Russian).
 9. Alinaitwe H. M., Mwakali J. A., Hansson B. (2006) Assessing the Degree of Industrialization in Construction – a Case of Uganda. *Journal of Civil Engineering and Management*, 12 (3), 221–229. <https://doi.org/10.3846/13923730.2006.9636396>.
 10. Vogler A. (2015) *The House as a Product*. Amsterdam, IOS Press. 198.
 11. Cao X., Li X., Zhu Y., Zhang Z. (2015) A Comparative Study of Environmental Performance between Prefabricated and Traditional Residential Buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 109, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>.
 12. Hamill P., Bertolini M., Biebighauser M., Bechara C. H., Wilden H. (2006) Precast Concrete Value Engineering Accommodates Difficult Sites. *PCI Journal*, 51 (4), 2–25. <https://doi.org/10.15554/pci.07012006.18.40>.
 13. Manrique J. D., Al-Hussein M., Telyas A., Funston G. (2007) Case Study-Based Challenges of Quality Concrete Finishing for Architecturally Complex Structures. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133 (3), 208–216. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:3\(208\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:3(208)).
 14. Tam V. W., Tam C. M., Zeng S. X., Ng W. C. (2007) Towards Adoption of Prefabrication in Construction. *Building and Environment*, 42 (10), 3642–3654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>.
 15. VanGeem M. (2006) Achieving Sustainability with Precast Concrete. *PCI Journal*, 51 (1), 42–61. <https://doi.org/10.15554/pci.01012006.42.61>.
 16. Chippagiri R., Gavali H. R., Ralegaonkar R. V., Riley M., Shaw A., Bras A. (2021) Application of Sustainable Prefabricated Wall Technology for Energy Efficient Social Housing. *Sustainability*, 13 (3), 1195. <https://doi.org/10.3390/su13031195>.
 17. Jaillon L., Poon C. S. (2008) Sustainable Construction Aspects of Using Prefabrication in Dense Urban Environment: a Hong Kong Case Study. *Construction Management and Economics*, 26 (3), 953–966. <https://doi.org/10.1080/01446190802259043>.
 18. Hong J., Shen G. Q., Li Z., Zhang B., Zhang W. (2018) Barriers to Promoting Prefabricated Construction in China: a Cost-Benefit Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, 649–660. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.171>.
 19. Mao C., Xie F., Hou L., Wu P., Wang J., Wang X. (2016) Cost Analysis for Sustainable Off-Site Construction Based on a Multiple-Case Study in China. *Habitat International*, 57, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.08.002>.
 20. Pan W., Sidwell R. (2011) Demystifying the Cost Barriers to Offsite Construction in the UK. *Construction Management and Economics*, 29 (11), 1081–1099. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.637938>.
 21. Li Z., Shen G. Q., Xue X. (2014) Critical Review of the Research on the Management of Prefabricated Construction. *Habitat International*, 43, 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.04.001>.
 22. Tam V. W., Fung I. W., Sing M. C., Ogunlana S. O. (2015) Best Practice of Prefabrication Implementation in the Hong Kong Public and Private Sectors. *Journal of Cleaner Production*, 109, 216–231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.045>.
 23. Nadim W., Goulding J. S. (2010) Offsite Production in the UK: the Way Forward? A UK Construction Industry Perspective. *Construction Innovation*, 10 (2), 181–202. <https://doi.org/10.1108/14714171011037183>.
 24. Zhai X., Reed R., Mills A. (2014) Factors Impeding the Offsite Production of Housing Construction in China: an Investigation of Current Practice. *Construction Management and Economics*, 32 (1–2), 40–52. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.787491>.
 25. Korshunova A. P., Mushtaeva N. E., Nikolaev V. A., Senatorov N. Ya., Strunkin N. P., Fomin G. N. (2007) Technology of Construction Production and Labor Protection. Moscow, Arkhitektura-S Publ. 375 (in Russian).
 26. Chang Y., Li X., Masanet E., Zhang L., Huang Z., Ries R. (2018) Unlocking the Green Opportunity for Prefabricated Buildings and Construction in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 259–261. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.025>.
 27. Wang Z., Hu H., Gong J., Ma X., Xiong W. (2019) Precast Supply Chain Management in Off-Site Construction: a Critical Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1204–1217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.229>.
 28. Matthew Goh, Yang Miang, Goh Lean (2019) Production Theory-Based Simulation of Modular Construction Processes. *Automation in Construction*, 101, 227–244. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>.
 29. Liew J., Richard Y. (2018) Innovation in Modular Building Construction. *9th International Conference on Advances in Steel Structures (ICASS 2018)*, Hong Kong, 5–7 Decem. 2018, 1–14. <https://doi.org/10.18057/ICASS2018.K.05>.
 30. Grosskopf K. R., Elliott J. W., Killingsworth J. E. (2016) Offsite Construction – U.S. Market Trends in Prefabrication Challenges for Technology Innovation: an Agenda for the Future. *International Conference on Sustainable Smart Manufacturing (S2M)*, Lisbon, 20–22 Oct. 2016, 393–398. <https://doi.org/10.1201/9781315198101-69>.

Received: 13.05.2022

Accepted: 14.07.2022

Published online: 30.09.2022