

УДК 69.057

DOI 10.52928/2070-1683-2023-33-1-10-18

ТЕНДЕНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ В МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.Ю. ГУРИНОВИЧ¹⁾, д-р техн. наук, проф. С.Н. ЛЕОНОВИЧ²⁾, Д.А. ПОЗДНЯКОВ³⁾

^(1), 2) Белорусский национальный технический университет, Минск,

³⁾ Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», Минск)

¹⁾<https://orcid.org/0000-0001-8773-6149>, ²⁾<https://orcid.org/0000-0002-4026-820X>,

³⁾<https://orcid.org/0000-0003-1247-5655>, ¹⁾gurinovich@bntu.by, ²⁾sleonovich@mail.ru, ³⁾pozddzm@tut.by

Приоритетной задачей государственной политики в области жилищного строительства в Республике Беларусь является наращивание объемов возведения жилья и снижение его стоимости. Критериям возведения жилья в кратчайшие сроки, снижения его стоимости и обеспечения населения доступным жильем в большей степени соответствует индустриальное строительство, широкие возможности которого проверены временем. В статье представлены результаты исследований распределения объемов жилищного строительства в зависимости от технологии возведения зданий в Республике Беларусь и приведено сравнение объемов строительства зданий в индустриальном исполнении в мировой практике жилищного строительства. Определены актуальные направления и тенденции научных исследований в области индустриального строительства, структура цитирования публикаций, ключевые исследователи, страны и институты по вовлеченности в исследования в данной области. Результаты исследований показали, что индустриальное строительство является одним из наиболее интенсивно развивающихся и перспективных направлений научных исследований в области строительства и строительных технологий в мире.

Ключевые слова: жилищное строительство, индустриальное строительство, предприятия индустриального домостроения, производство сборных железобетонных конструкций, наукометрический анализ, библиографический поиск, сборные железобетонные конструкции.

Введение. В Республике Беларусь развитие жилищного строительства определено государственной политикой, ориентированной на наращивание объемов строительства жилья с минимальными затратами на его возведение, а также развитие индивидуального жилищного строительства. Среди основных задач государственной политики в области жилищного строительства можно отметить планомерное повышение обеспеченности населения жильем и доведение этого показателя до 27,3 кв. метров на человека при установленной средней стоимости 1 кв. метра в пределах эквивалентной 500 долл. США, обеспечение строительства не менее 40% индивидуальных жилых домов коттеджного типа от общего объема строительства жилья, в том числе повышение качества возводимого жилья с соблюдением нормативных сроков строительства.

С 2016 года объем жилищного строительства в Беларуси установился в среднем на уровне 4 млн. кв. метров в год. На рисунке 1 представлена динамика изменения объемов возведения жилья в республике в период с 2005 по 2020 гг.



Рисунок 1. – Общий объем ввода в эксплуатацию жилых домов

По объемам жилищного строительства Республика Беларусь среди стран Европы находится на достаточно высоком 9 месте с показателем 146 квартир на каждые 10 тыс. населения. При этом лидером в пересчете на численность населения страны с показателем 227 квартир на каждые 10 тыс. населения является Российская Федерация. Объемы жилищного строительства в странах Европейского региона представлены на рисунке 2.

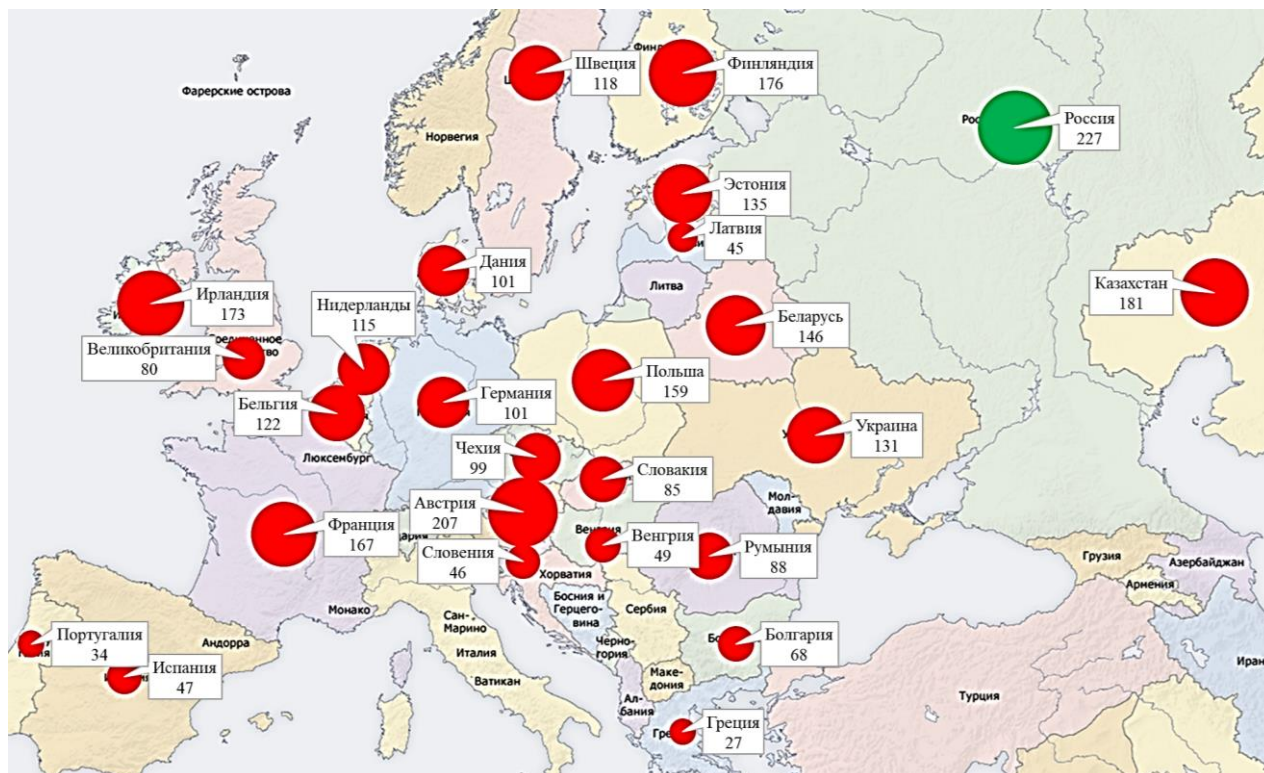


Рисунок 2. – Объемы жилищного строительства за 2017–2019 гг. на 10 тыс. населения в Европейских странах

В установившейся строительной практике жилые здания в зависимости от применяемых материалов и технологии возведения условно можно разделить на 3 основные группы:

- традиционные – здания со стенами из кирпича, камня, мелких блоков, деревянных брусьев, доля которых в общем объеме жилищного строительства за период 2016–2020 гг. составляет в среднем 53%;
- индустриальные из сборных железобетонных изделий – здания с различной степенью сборности: крупноблочные, каркасные, каркасно-панельные, крупнопанельные, блочно-панельные, объемно-блочные, доля которых за период 2016–2020 гг. составляет в среднем 42%;
- монолитные и сборно-монолитные – здания, возводимые с применением индустриальных типов опалубки и частичным применением индустриальных конструкций и деталей, доля которых за период 2016–2020 гг. находится в среднем на уровне 5%.

Распределение строительства жилья в зависимости от технологии возведения зданий в период с 2010 по 2020 гг. в республике представлено на рисунке 3.

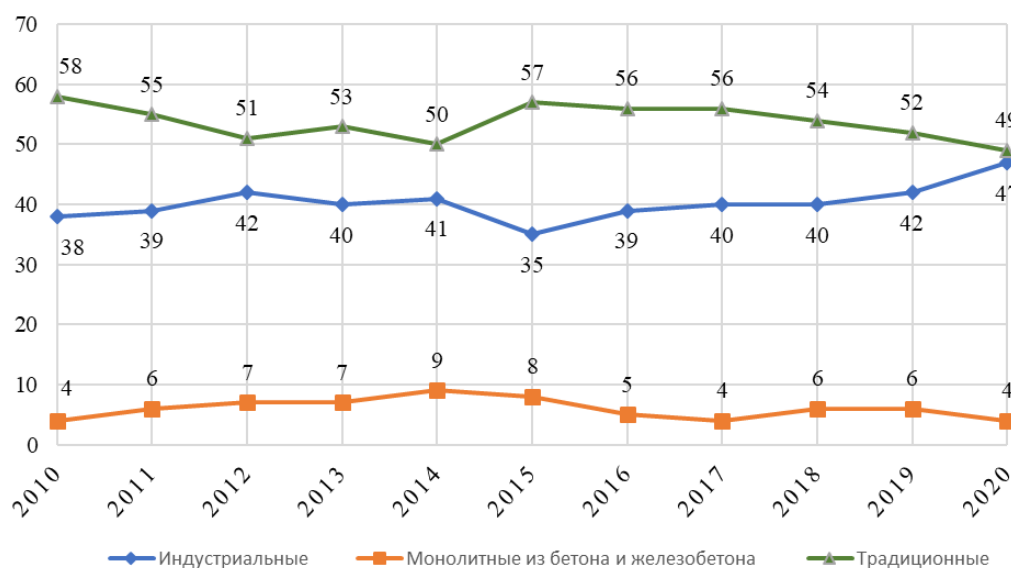


Рисунок 3. – Строительство жилых домов в зависимости от технологии возведения

Представленные на графике данные демонстрируют увеличение возведения жилья в индустриальном исполнении, начиная с 2015 года, что в свою очередь свидетельствует о росте интереса со стороны застройщиков и строительных компаний к индустриальному методу строительства в отечественной практике жилищного строительства.

Рост возведения жилья в индустриальном исполнении прежде всего можно обосновать основными преимуществами индустриального строительства в сравнении с альтернативными методами возведения жилых зданий, среди которых следует выделить: высокое качество строительно-монтажных работ, сокращение продолжительности и стоимости строительства, снижение трудовых и материальных ресурсов затрат, повышение безопасности строительства, а также экологичность строительства, которая обеспечивается сокращением отходов [1–6].

В свою очередь имеется ряд факторов, сдерживающих интенсивное развитие индустриального строительства, которые прежде всего обусловлены ограниченным архитектурным и конструктивно-планировочным разнообразием зданий в индустриальном исполнении, сложностью доставки крупногабаритных конструкций на стройплощадки в городских условиях и на дальние расстояния, полной зависимостью темпов строительства от производительности и эффективности организации производства предприятий индустриального домостроения. Следует также отметить, что в зарубежной строительной практике по данным [7–9] на развитие индустриального строительства в отдельных регионах оказывают влияние климатические условия, определяющие приоритет выбора альтернативных методов строительства.

Анализ публикационной активности результатов исследований показал, что индустриальное строительство в последнее время привлекает все больше внимания ученых и практикующих специалистов и является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в мировой практике исследований в области строительства и строительных технологий [10–12]. Теоретический анализ литературы в международной библиографической базе Scopus показал значительный рост количества публикаций по данной тематике, начиная с 2015 года [13], что подтверждается данными, представленными на рисунке 4.

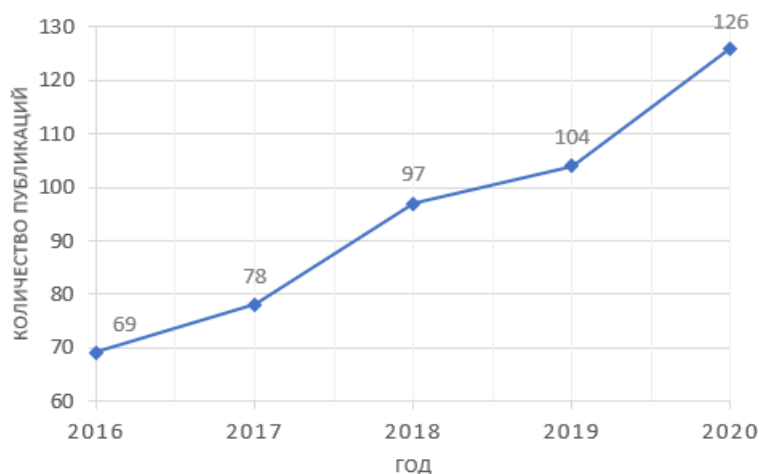


Рисунок 4. – Показатели роста публикаций в области индустриального строительства в реферативной базе Scopus за период 2016–2020 гг.

Интенсивный рост публикационной активности результатов исследований в области индустриального строительства, в том числе рост возведения жилых зданий в индустриальном исполнении в отечественной строительной практике, определили цель и задачи проведенных исследований. На основании вышеизложенного целью проведенных исследований стало изучение тенденций и ведущих направлений научных исследований в области индустриального строительства, структуры цитирования публикаций, ключевых исследователей, стран и институтов по вовлеченности в исследования в области индустриального строительства.

Планирование проведения исследований. Изучение направлений и тенденций научных исследований в области индустриального строительства было проведено с помощью наукометрического анализа. Наукометрический анализ позиционируется как основной инструмент изучения отдельных направлений науки, сетей научных коммуникаций, средств оценки результативности научных исследований [14] и основан на применении наукометрических показателей, позволяющих сделать характеристики публикаций, авторов и прочих объектов измеримыми, сравнимыми и пригодными для анализа.

В качестве основных наукометрических показателей были выбраны метрики, определяющие производительность, влияние исследований и вовлеченность в исследования в анализируемой предметной области.

Исследования были проведены на базе аналитической системы SciVal международной библиографической базы Scopus в предметных категориях, содержащих публикации в области индустриального строительства, и разделены на отдельные этапы. На первом этапе был проведен библиографический поиск научной лите-

ратуры в области индустриального домостроения в трех тематических кластерах аналитической системы SciVal, включающих более 250 отдельных предметных категорий в области строительства. На втором этапе проводились анализ тематик, цитирования публикаций, стран и институтов по вовлеченности в исследования в области индустриального строительства и оценка результативности научных исследований в отобранных предметных категориях. На завершающем этапе проведено обсуждение результатов наукометрического анализа, закономерностей и тенденций в области индустриального домостроения.

Анализ развития индустриального строительства в зарубежной практике возведения жилья. 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 (Китай, Малайзия, Индия, Южная Корея, Иран и др.). При этом индустриальное строительство в зарубежной практике рассматривается как инструмент оптимизации строительства за счет развития производства строительных изделий вне строительной площадки [7; 15], а сборный железобетон – как один из методов строительства, использующих принципы индустриализации в строительном процессе. По данным [7] средняя доля зданий из сборного железобетона в странах Европейского Союза составляет 20–25%, в странах Северной Европы она достигает 40–50%. Объем строительства из сборных конструкций в Китае за последнее десятилетие достиг показателя более 30% в общем объеме строительного рынка страны [8]. Общий объем рынка индустриального домостроения в мире по данным¹ представлен на рисунке 5.

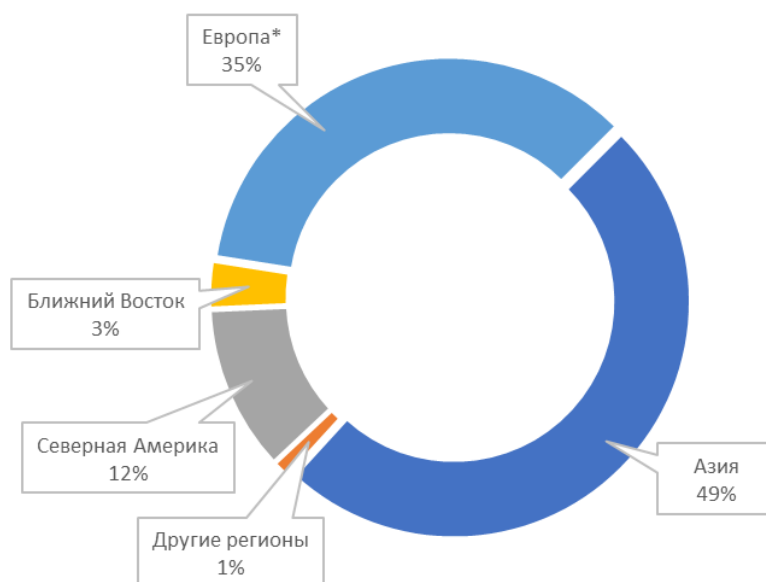


Рисунок 5. – Распределение объема рынка индустриального строительства

Примечание. * – включая Российскую Федерацию.

Среди лидеров современного индустриального строительства выделяются скандинавские страны, в частности, Швеция, а по уровню автоматизации и роботизации промышленного изготовления строительных конструкций мировое лидерство прочно удерживает Япония. Производительность японских предприятий индустриального строительства в 7 раз превышает соответствующие показатели европейских производителей [16].

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. Анализ результатов исследований развития индустриального домостроения в США и Турции позволил обосновать столь низкие показатели возведения жилья в индустриальном исполнении прежде всего отсутствием опыта проектирования зданий из сборных железобетонных конструкций, отсутствием квалифицированных рабочих и специалистов, низкой сейсмостойкостью зданий из сборного железобетона [7; 9].

Обзор тенденций научных исследований в области индустриального строительства. Проведенный анализ 30 рейтинговых предметных категорий по количеству публикаций и показателю актуальности тем в области индустриального домостроения в аналитической системе SciVal международной библиографической базы Scopus определил 8 основных направлений исследований в области строительства за период с 2016 по 2020 гг. (рисунок 6).

¹ Research and Markets: The Global Prefabricated Buildings Market – Key Trends and Opportunities to 2017 // Business Wire. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20140123005885/en/Research-and-Markets-The-Global-Prefabricated-Buildings-Market---Key-Trends-and-Opportunities-to-2017>.



Рисунок 6. – Основные направления исследований в области строительства











Анализ данных, приведенных на рисунке 6, показал, что наиболее востребованными тематиками исследований в области индустриального строительства являются информационное моделирование, организация и управление строительством, технология строительства и производство сборных железобетонных изделий, в том числе надежность, экономичность, экологичность индустриального домостроения и пр. При этом следует отметить, что в исследованиях преобладают темы, ориентированные на изучение архитектурных и конструктивных решений зданий, железобетонных конструкций заводского изготовления и их свойств, организации строительства в условиях строительной площадки и пр., а тематикам в области организации производства железобетонных изделий, управления производством, исследований технологий производства изделий в заводских условиях уделяется меньшее внимание. Актуальность развития исследований в перечисленных направлениях подтверждается результатами исследований, представленных в [8; 17; 18], которые показали, что эффективная организация производства сборных железобетонных изделий является основным фактором, обеспечивающим достижение всех основных преимуществ индустриального домостроения.

Анализ наукометрических показателей и обсуждение полученных результатов исследований. По данным [1; 10; 12] важную роль при проведении наукометрического анализа играет определение ведущих стран и учреждений по вовлеченности в исследования анализируемой области. В соответствии с этим для проведения исследований были отобраны и распределены по анализируемым показателям в области индустриального строительства 20 стран и 20 учреждений, показатели научной результативности которых за период 2016–2020 гг. приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. – Ведущие страны по результативности исследований

№ п/п	Страна/Регион	Количество публикаций	Количество просмотров	Нормализованный индекс цитирования	Количество цитирований
1	2	3	4	5	6
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

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
11		Германия	11	537	0,33	32
12		Российская Федерация	11	174	0,49	6
13		Сингапур	9	1410	3,3	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























низший  наивысшее значение метрики

Таблица 2. – Ведущие учреждения по результативности исследований

№ п/п	Учреждение		Количество публикаций	Количество просмотров	Нормализованный индекс цитирования	Количество цитирований
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	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	9	699	0,79	40
11		Университет Альберты	8	289	1,46	28
12		Университет Утара	8	463	0,23	18
13		Университет Западного Сиднея	8	553	1,84	63
14		Технический университет Кошице	7	370	0,84	21
15		Университет Цинхуа	7	616	4,22	181
16		Министерство образования Китая	6	269	0,7	22
17		Национальный университет Сингапура	6	1323	4,96	218
18		Технологический университета Квинсленда	6	767	2,15	86
19		Королевский Мельбурнский технологический институт	6	792	3,38	284
20		Ратгерский университет Нью-Джерси	6	872	4,1	200

низший  наивысшее значение метрики

Анализ данных, представленных в таблицах, показал общее лидерство Китая по количеству публикаций, просмотров и цитирований статей. Также следует отметить, что в топ-20 учреждений по количеству публикаций вошло 4 китайских учреждения. В свою очередь приведенные количественные показатели отражают только

публикационную активность и интерес к анализируемым публикациям, но не отражают значимости и актуальности исследований в рамках определенной области исследований в сравнении с другими областями исследований в мире. Одним из показателей, определяющих научный уровень и востребованность публикаций в исследуемой предметной области, является нормализованный по области показатель цитирования публикаций, и если он ниже значения 1,0, то это демонстрирует, что публикации цитируются и востребованы ниже среднего мирового уровня.

По нормализованному индексу цитирования Китай занимает только 6 место. При этом для Министерства образования и Харбинского технологического института показатель нормализованного индекса цитирования оказался ниже среднего мирового уровня на 30% и 34% и составляет 0,7 и 0,66 соответственно. Лидерами среди стран по значимости и востребованности публикаций результатов исследований в области индустриального строительства являются Сингапур, Гонконг и Австралия, а среди учреждений – Национальный университет Сингапура (Сингапур), университет Цинхуа (Китай) и Ратгерский университет (США), уровень цитирования публикаций которых в 4 раза выше среднего мирового.

Интенсивное развитие индустриального домостроения в Китае обосновано государственной политикой в области экологической безопасности, в том числе требованиями сокращения вредных выбросов в строительной промышленности и внедрения экологичных строительных технологий. Данное утверждение подтверждается результатами анализа тематик публикаций, который показал, что ведущим направлением исследований в Китае является изучение воздействия развития индустриального домостроения на окружающую среду.

Высокие рейтинговые позиции Великобритании, Австралии, Гонконга и Малайзии прежде всего можно обосновать 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 (OSM). В Малайзии развитию индустриального домостроения способствовала принятая еще в 2003 году Дорожная карта, направленная на обеспечение создания индустриализированного строительного сектора. В том числе развитие индустриального домостроения среди застройщиков в Малайзии мотивируется освобождением от уплаты строительных налогов при строительстве зданий с применением сборных конструкций заводского производства (IBS) в объеме более 50% [11].

В мире наиболее рейтинговыми по нормализованному индексу цитирования являются публикации в области исследований ресурсосбережения и экологичности индустриального строительства на примере строительной практики Китая [19], организации, оптимизации и моделирования цепочки поставок железобетонных изделий «предприятие – строительная площадка» [20], анализа затрат и определения направлений снижения стоимости индустриального домостроения [21]. Показатель нормализованного по области индекса цитирования данных публикаций более 10.

Среди публикаций с наибольшим количеством просмотров выделяются работы по моделированию процессов индустриального домостроения [22], оптимизации индустриального домостроения путем разработки инновационных решений монтажных соединений и организации монтажа конструкций², исследованию тенденций развития индустриального домостроения и выявления проблемных вопросов развития индустриального домостроения в США³, нормализованный по области индекс просмотра публикаций которых составил 22,63; 15,25 и 13,85 соответственно.

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Государственная политика в области жилищного строительства в части строительства доступного жилья, обеспечения прогнозных показателей средней стоимости 1 кв. метра жилья и объемов строительства способствует развитию в Республике Беларусь индустриального строительства как основного метода возведения жилья с минимальными затратами и в кратчайшие сроки. Обзор литературы показал, что в ряде стран (Китай, Великобритания, Австралия, Малайзия и др.) развитие индустриального домостроения также определяется государственной политикой развития высокотехнологичных, экологичных и экономичных методов строительства.

2. Индустриальное строительство в последнее время является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в мировой практике строительства. Средняя доля зданий из сборного железобетона в странах Европейского Союза составляет 20–25%, в странах Северной Европы она достигает 40–50%, в Китае – более 30%. Проведенный анализ объемов жилищного строительства в Европейских странах показал высокий уровень возведения жилья в Республике Беларусь, при этом в отечественной практике жилищного строительства доля зданий, возводимых в индустриальном исполнении, составляет 42%.

² Liew J., Richard Y. Innovation in modular building construction // 9th International Conference on Advances in Steel Structures (ICASS 2018), Hong Kong, 5–7 December 2018. URL: <https://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-85084950376&origin=resultlist>.

³ Grosskopf K.R., Elliott J.W., Killingsworth J.E. 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 October 2016. – P. 393–398. URL: <https://experts.nebraska.edu/en/publications/offsite-construction-us-market-trends-in-prefabrication>.

3. Установлено, что основными тематиками исследований в области индустриального домостроения являются информационное моделирование, организация и управление строительством, технология строительства и производство сборных железобетонных изделий, а тематикам в области организации производства железобетонных изделий, управления производством, исследований технологий производства изделий в заводских условиях уделяется меньшее внимание. При этом эффективная организация производства сборных железобетонных изделий является основным фактором, обеспечивающим достижение всех основных преимуществ индустриального домостроения, что в свою очередь определяет актуальность и важность исследований в данных направлениях.

Проведенный наукометрический анализ установил рост интереса к исследованиям в области индустриального домостроения, что подтверждается ежегодным увеличением количества публикаций в данной области. Но несмотря на общемировой рост исследований в области индустриального домостроения, по результатам анализа вовлеченности стран и организаций определено, что в Республике Беларусь исследования в данном направлении ведутся недостаточно активно, хотя и наблюдаются высокие показатели возведения зданий в индустриальном исполнении.

ЛИТЕРАТУРА

1. A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China / Cao X., X. Li, Y. Zhu et al. // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – Vol. 109. – P. 131–143.
2. Precast concrete value engineering accommodates difficult sites / P. Hamill, C. Bechara, M. Bertolini et al. // *PCI Journal*. – 2006. – Vol. 51, № 4. – P. 2–25.
3. Case study-based challenges of quality concrete finishing for architecturally complex structures / J.D. Manrique, M.A. Hussein, A. Telyas et al. // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2007. – Vol. 133, № 3. – P. 208–216.
4. Towards adoption of prefabrication in construction / V.W.Y. Tam, C.M. Tam, S.X. Zeng et al. // *Building and Environment*. – 2007. – Vol. 42, № 10. – P. 3642–3654.
5. VanGeem M. Achieving sustainability with precast concrete // *PCI Journal*. – 2006. – Vol. 51, № 1. – P. 42–61.
6. Application of Sustainable Prefabricated Wall Technology for Energy Efficient Social Housing / R. Chippagiri, H.R. Gavali, R.V. Ralegaonkar et al. // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13, № 3. – P. 1195.
7. Polat, G. Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries // *Journal of Civil Engineering and Management*. – 2010. – Vol. 16, № 1. – P. 85–94.
8. Wang Z., Hu H., Gong J. Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components // *Automation in Construction*. – 2018. – Vol. 86. – P. 69–80.
9. Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices / M. Razkenari, A. Fenner, A. Shojaei et al. // *Journal of Building Engineering*. – 2020. – Vol. 29. – P. 101138.
10. A Review and Scientometric Analysis of Global Research on Prefabricated Buildings [Электронный ресурс] / L. Wenhui, Z. Hong, W. Qian et al. // *Advances in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2021/8869315> (дата обращения 2021-02-18).
11. Azman M.N.A., Ahamad M.S.S., Wan Hussin W.M.A. Comparative Study on Prefabrication Construction Process // *International Surveying Research Journal*. – 2012. – Vol. 2, № 1. – P. 45–58.
12. Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis / M.R. Hosseini, I. Martek, E.K. Zavadskas et al. // *Automation in Construction*. – 2018. – Vol. 87. – P. 235–247.
13. Гуринович В.Ю. Комплексное исследование развития индустриального домостроения // *Наука и техника*. – 2022. – Т. 21, № 5. – С. 397–409.
14. Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии: моногр. / М.А. Акоев, В.А. Маркусова, О.В. Москалева и др. – Екатеринбург: Урал. ун-т, 2014. – 250 с.
15. Alinaitwe H.M., Mwakali J.A., Hansson B. Assessing the degree of industrialisation in construction – A case of Uganda // *Journal of Civil Engineering and Management*. – 2006. – Vol. 12, № 3. – P. 221–229.
16. Vogler A. *The House as a Product*. – Amsterdam: IOS Press, 2015. – 186 p.
17. Kim T., Kim Y.W., Cho H. Dynamic production scheduling model under due date uncertainty in precast concrete construction // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 257. – P. 120527.
18. Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete Event Simulation [Электронный ресурс] / Z. Yuan, Y. Qiao, Y. Guo et al. // *Advances in Civil Engineering*. – 2020. – Vol. 2020. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2020/8814914/> (дата обращения 2021-02-18).
19. Unlocking the green opportunity for prefabricated buildings and construction in China / Y. Chang, X. Li, E. Masanet et al. // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2018. – Vol. 139. – P. 259–261.
20. Precast supply chain management in off-site construction: a critical literature review / Z. Wang, H. Hu, J. Gong et al. // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 232. – P. 1204–1217.
21. Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost-benefit analysis / J. Hong, G.Q. Shen, Z. Li et al. // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 172. – P. 649–660.
22. Goh M, Goh Y.M. Lean production theory-based simulation of modular construction processes // *Automation in Construction*. – 2019. – Vol. 101. – P. 227–244.

REFERENCES

1. Cao, X., Li, X., Zhu, Y. & Zhang, Z.A. (2015). Comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 109, 131–143. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.04.120.
2. Hamill, P., Bechara, C., Bertolini, M., Wilden, H. & Biebighauser, M. (2006). Precast concrete value engineering accommodates difficult sites. *PCI Journal*, 51 (4), 2–25. DOI: 10.15554/pcij.07012006.18.40.

3. Manrique, J.D., Hussein, M.A., 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. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:3(208).
4. Tam, V.W.Y., Tam, C.M., Zeng, S.X. & Ng, W.C.Y. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42 (10), 3642–3654. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.10.003.
5. VanGeem, M. (2006). Achieving sustainability with precast concrete. *PCI Journal*, 51 (1), 42–61. DOI: 10.15554/pcij.01012006.42.61.
6. 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. DOI: 10.3390/su13031195.
7. Polat, G. (2010). Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16 (1), 85–94. DOI: 10.3846/jcem.2010.08.
8. Wang, Z., Hu, H. & Gong, J. (2018). Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components. *Automation in Construction*, 86, 69–80. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.10.026.
9. Razkenari, M., Fenner, A., Shojaei, A., Hakim, H. & Kibert, C. (2020). Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices. *Journal of Building Engineering*, 29, 101138. DOI: 10.1016/j.job.2019.101138.
10. Wenhui, L., Hong, Z., Qian, W., Tianran, H. & Hong, X. (2021). A Review and Scientometric Analysis of Global Research on Prefabricated Buildings. *Advances in Civil Engineering*, 2021. DOI: 10.1155/2021/8869315.
11. 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. URL: <https://www.researchgate.net/publication/260202475>.
12. 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. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.002.
13. Gurinovich, V.Yu. (2022). Kompleksnoe issledovanie razvitiya industrial'nogo domostroeniya [Comprehensive Study of Development of Prefabricated Construction]. *Nauka i tekhnika [Science and Technique]*, 21 (5), 397–409. (In Russ, abstr. in Engl.). DOI: 10.21122/2227-1031-2022-21-5-397-409.
14. Akoev, M.A., Markusova, V.A., Moskaleva, O.V. & Pisyakov, V.V. (2014). *Rukovodstvo po naukometrii: indikatory razvitiya nauki i tekhnologii: monogr. [Handbook for Scientometrics: Indicators of science and technology development]*. Ekaterinburg: Ural. un-t. (In Russ, abstr. in Engl.). URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/40130>.
15. Alinaitwe, H.M. Mwakali, J.A., Hansson, B. (2006). Assessing the degree of industrialisation in construction – A case of Uganda. *Journal of Civil Engineering and Management*, 12 (3), 221–229. DOI: 10.3846/13923730.2006.9636396.
16. Vogler, A. (2015). *The House as a Product*. Amsterdam: IOS Press.
17. Kim, T., Kim, Y.W. & Cho H. (2020). Dynamic production scheduling model under due date uncertainty in precast concrete construction. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120527. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120527.
18. Yuan, Z., Qiao, Y., Guo, Y., Wang, Y., Chen, C. & Wang W. (2020). Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete Event Simulation. *Advances in Civil Engineering*, 2020. DOI: 10.1155/2020/8814914.
19. 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. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.08.025.
20. 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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.229.
21. 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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.171.
22. Goh, M. & Goh, Y.M. (2019). Lean production theory-based simulation of modular construction processes. *Automation in Construction*, 101, 227–244. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.12.017.

Поступила 23.02.2023

TRENDS AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF PREFABRICATED CONSTRUCTION IN THE WORLD AND DOMESTIC PRACTICE OF CIVIL CONSTRUCTION

V. GURINOVICH¹⁾, S. LEONOVICH²⁾, D. POZDNYAKOV³⁾

^{1), 2)}Belarusian National Technical University, Minsk,

³⁾RUE «Institute of Housing – NIPTIS named after S. Ataev», Minsk)

The main objective of the state policy in the sphere of civil construction in the Republic of Belarus is to increase the volume of civil construction and decrease its cost. The criteria of building in the shortest possible time, reducing its cost and providing the population with affordable housing is more consistent with the prefabricated construction, the wide possibilities of which are time-tested. In the article the results of studies of distribution of volumes of civil construction depending on the technology of erection of buildings in the Republic of Belarus are presented and the comparison of volumes of prefabricated construction in the world practice of housing construction is presented. The actual directions and tendencies of scientific research in the field of prefabricated construction, the structure of citation of publications, key researchers, countries and institutions by involvement in research in the field of prefabricated construction are determined. The results showed that prefabricated construction is one of the most intensively developing and promising areas of research in the field of construction and building technology in the world.

Keywords: civil construction, prefabricated construction, precast construction plants, precast production, scientometric analysis, bibliographic search, precast reinforced concrete structures.