УДК 624.016, 693.955

© А. Ф. Юдина, д-р техн. наук, профессор
© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор
© Ю. И. Тилинин, канд. техн. наук
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru, faat@spbgasu.ru,
tilinin.yu.i@lan.spbgasu.ru, tilsp@inbox.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-110-119

© A. F. Yudina, Dr. Sci. Tech., Professor
© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor
© Yu. I. Tilinin, PhD in Sci. Tech.
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru, faat@spbgasu.ru,
tilinin.yu.i@lan.spbgasu.ru, tilsp@inbox.ru

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

DEVELOPMENT OF HOUSING CONSTRUCTION TECHNOLOGIES IN ST. PETERSBURG

Рассмотрено развитие строительных технологий в Санкт-Петербурге. По заранее разработанной анкете методом экспертного опроса специалистов оценены архитектурные, прочностные и экономические характеристики строительных систем с различными технологиями. Выполнен анализ эволюции развития строительных технологий с учетом применяемых строительных материалов, средств механизации и способов строительства.

Ключевые слова: жилищное строительство, технология возведения зданий, крупнопанельное домостроение, монолитное домостроение, кирпичное домостроение, сборно-монолитное строительство, строительные краны, автобетононасосы, специализированный автомобильный транспорт, уровень механизации, место строительства, область применения технологии домостроения, анкета, баллы, экспертная оценка.

The article considers the development of construction technologies in St. Petersburg. Using a pre-developed questionnaire, architectural, strength and economic characteristics of construction systems with different technologies were estimated by the method of expert survey of specialists. Taking into account the applied construction materials, there has been made an analysis of evolution of construction technologies development, means of mechanization, and construction techniques.

Keywords: housing construction, building production technology, standardized large-panel housing construction, cast-in-place housing construction, brick housing construction, industrialized construction, construction cranes, truck concrete pumps, specialized road transport, level of mechanization, construction site, application of technology of housing construction, questionnaire, points, expert assessment.

Выбор из многообразия строительных технологий, применяемых производственными структурами строительного комплекса Санкт-Петербурга для крупномасштабного жилищного строительства, требует поиска рациональных областей их применения с учетом предполагаемого места строительства жилого здания и характерных технологических и потребительских особенностей возводимых зданий [1].

Многообразие типовых проектов и технологий возведения зданий в современном жилищном строительстве Санкт-Петербурга обусловлено сложившейся производственной базой

строительного комплекса, а также поступлением на строительный рынок импортного производственного оборудования. Область применения технологий кирпичного, панельного, монолитного и сборно-монолитного домостроения в современных условиях городского строительства имеет свои предпосылки, связанные в первую очередь с местом строительства, характеризующим сложившейся застройкой, наличием инженерного обеспечения, геологическими условиями и производственными мощностями строительного комплекса.

Краткий ретроспективный взгляд на эволюцию строительных грузоподъемных машин, применяемых материалов и соответствующих технологий строительства показывает неразрывную взаимосвязь и гармоничное соответствие применяемых в строительстве материалов, машин и способов строительства. Недостаток строительных кранов и их грузоподъемности обуславливал применение ручного труда, и с этой точки зрения кирпич стал наилучшим строительным материалом, который вначале применялся для строительства крепостей, а затем в промышленной и гражданской сфере. Отсутствие крановой техники ограничивало в первую очередь этажность зданий, поэтому историческая застройка центра Санкт-Петербурга представлена жилыми кирпичными домами средней этажности.

Выпускники Академии художеств и открытого в 1832 году Училища гражданских инженеров возводили в Санкт-Петербурге кирпичные многоквартирные доходные жилые дома в основном от двух до четырех этажей, а позднее и пятиэтажные. Тип многоквартирного доходного жилого дома окончательно сформировался в 1860–1870 годах [2].

Основной строительный материал для стен производился в 1860 году на кирпичных заводах. Применялась ручная формовка кирпича, работали звеном из двух человек. Средняя дневная выработка в расчете на одного рабочего не превышала одной тысячи штук кирпичей. Наиболее крупные заводы кирпича принадлежали купеческим династиям: Беляевых (Б. Ижора, Рыбацкое), Лядовых (Усть-Славянка, Новосаратовка), Кононовых (Усть-Ижора) и др. Заводы крестьян Захаровых на р. Ижора существовали с 1790 года. К началу XX века А. В. Захаров стал потомственным почетным гражданином, его наследники выпускали кирпич с клеймом «Колпино» до 1917 года [3]. В конце XIX века начато изготовление глазурованного кирпича и изразцов на заводах В. Е. Балашевой, В. Ф. Лядовой, М. В. Харламова и др.

С 1931 года на территории современного парка Победы действовал 1-й кирпичный завод, выпускавший 10 млн кирпичей в год.

В 1935 году завод «Победа», созданный на базе заводов Захаровых, выпускал в год 12,5 млн кирпичей, к 1941 году выпускалось свыше 23 млн [4].

Всесоюзным научно-исследовательским институтом по машинам и промышленности строительных материалов, созданным в 1954 году в г. Гатчина Ленинградской области, разработан кирпичный завод-автомат, внедренный на комбинате «Победа». В 1960–1965 годах начат выпуск пустотелого, силикатного и облицовочного кирпича [5].

В России производится кирпича в расчете на одного жителя приблизительно в восемь раз больше, чем в США, в связи с большими объемами капитального строительства в городах, в отличие от загородной малоэтажной жилой застройки из материалов низкой долговечности в США. Строительство и восстановление зданий в исторических центрах городов России в основном ведется по традиционной кирпичной технологии [6].

В 2005 году было создано объединенное предприятие «Победа ЛСР», в которое вошли кирпичные заводы «НПО «Керамика», ОАО «Ленстройкерамика», ЗАО «Победа». Кирпич применяется не только для кладки несущих стен, но как облицовочный материал монолитных стен, утепленных минеральной плитой из базальтовой ваты, и стен из легких мелких стеновых блоков.

Возвращаясь непосредственно к развитию строительных технологий в жилищном строительстве, отметим рост механизации строительных работ в первую очередь за счет внедрения строительных башенных кранов, значительно снижающих внутрипостроечные транспортные затраты. В кирпичном домостроении башенными кранами в поддонах подают кирпич на деланки каменщиков, кладочный раствор в ящиках, переставляют инвентарные подмости, монтируют металлические балки или железобетонные плиты перекрытий. По мере внедрения башенных кранов происходил постепенный переход к замещению конструктивных элементов здания, возводимых из кирпича или монолитного бетона, конструкциями, изготовленными вне строительной площадки. Внедрение сборных технологий с использованием строительных кранов произошло по примеру зарубежного опыта. В Англии строительный кран на паровом ходу был изготовлен в 1930 году, а спустя 17 лет, в 1847 году англичанами на строительный кран был установлен гидравлический двигатель, в Германии кра-

ны оснащались электрическими двигателями. Прототип строительного крана в современном представлении с грузовой тележкой и балочной стрелой был создан в 1928 году. К выпуску первых строительных кранов в России приступили еще в конце XIX столетия. Массовый выпуск заводами СССР строительных башенных кранов был начат в 1936 году. На стройках работало около 200 подъемных кранов. В 1950-х годах выпускается линейка кранов марки БКСМ. Кран БКСМ-14 имел грузоподъемность 5 т, применялся на строительстве 14-этажных зданий. Более поздняя модель БКСМ-5А имела грузоподъемность 8 т [6].

В 1964 году начинается выпуск крана КБ-100 грузоподъемностью 5 т и предназначенного для пятиэтажного строительства. В 1967 году на Николаевском заводе кранового оборудования выпущен башенный кран КБ-306, позднее завод выпустил кран КБ-308 для монтажа 12-этажных панельных домов. Грузовой момент крана КБ-308 составляет 100 тм, максимальная грузоподъемность крана 8 т при вылете 17,87 м, при максимальном вылете 25 м грузоподъемность крана 4 т.

Рост в городах промышленности, сопровождавшийся притоком рабочей силы, требовал от архитекторов повышения этажности жилой застройки с целью концентрации населения в жилых зонах, располагавшихся в окрестности промышленных предприятий.

Строительство секционных, сборных многоквартирных жилых домов из железобетонных конструкций заводского изготовления, выпускаемых в виде серийных комплектов, становится основой типовой многоэтажной застройки новых жилых районов промышленных городов [7].

В конце 1950-х — начале 1960-х годов в Ленинграде были созданы пять домостроительных комбинатов (ДСК), производивших выпуск комплектов сборных железобетонных строительных изделий, из которых на строительной площадке при помощи монтажных кранов собирались стены и перекрытия жилых зданий, а также школ и детских садов [8].

Показатели типовых проектов жилых панельных зданий по трем домостроительным комбинатам Главленинградстроя приводятся в табл. 1.

Жилая площадь дома определяется как сумма площадей всех жилых комнат.

Коэффициент сборности рассчитывается по формуле

$$K_{сб} = D / (D + M), \quad (1)$$

где D — стоимость сборных конструкций; M — стоимость материалов, кроме сборных конструкций.

Как видно из табл. 1, панельные дома в это время строили 5-этажными и они имели небольшое количество квартир по сравнению с современными многоэтажными жилыми зданиями. Стоимость сборных конструкций — не более 75 % от общей стоимости материалов. При этом большое количество типоразмеров применяемых изделий усложняло их комплектацию. Коэффициент использования кранов на строительстве здания был не более 0,75. Прогрессивные в 1960 году технологии домостроения к 1970 году устаревают, так как новые строительные краны пригодны для перемещения строительных конструкций значительно больших размеров и массы.

В начале 1970-х годов домостроительные комбинаты совместно с проектными институтами приступают к улучшению конструктивных и объемно-планировочных решений панельных зданий. Трудоемкость рассматривалась как критерий оценки эффективности технических и технологических решений [9].

Так, ДСК-3 организует производство комплектов сборных железобетонных изделий жилых домов новой серии 1-ЛГ-600, разработанной Ленинградским зональным институтом экспериментального проектирования (ЛенЗНИИЭП). Эти дома называли в быту «кораблями» за вытянутую форму в плане и необычные окна. Разработанная в 1959 году институтом «Ленпроект» типовая серия комплектов железобетонных изделий крупнопанельных многоквартирных жилых домов серии 1-ЛГ-504 возводилась до 1972 г. В 1966 году институт ЛенЗНИИЭП разработал усовершенствованный проект 1-ЛГ-504Д жилого девятиэтажного крупнопанельного дома с лифтом. За период до 2001 года построено 424 дома. На Обуховском ДСК в 1966 году приступили к производству серии 1-ЛГ-602. В 1980-е годы были модернизированы имеющиеся серии жилых домов, увеличена высота потолка до 2,7 м, площадь кухни стала не менее 8 м² [10].

Таблица 1

**Показатели некоторых типовых проектов крупнопанельных жилых домов, сооружаемых
домостроительными комбинатами Главленинградстроя**

Показатели	Домостроительные комбинаты								
	ДСК-1		ДСК-2				ДСК-3		
	Типовые проекты								
	1-335-1	1-335-20	ОД-4	ОД-6	1ЛГ502-6	1ЛГ502-9	Г-2и	Г-3и	Г-5
Проектные показатели									
Количество секций	4	5	4	6	6	9	5	7	1
Количество квартир	80	100	60	90	90	134	50	70	54
Средняя жилая площадь квартиры, м²	31,7	32,3	30,6	30,5	31,6	31,9	37,2	34,7	23,1
Объем здания, м³	12 022	15 136	9927	14 818	14 539	21 472	9046	11 832	7297
Этажность	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Общие показатели комплекта сборных конструкций									
Коэффициент сборности	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70	0,67	0,67
Количество марок изделий	61	61	47	47	47	47	114	114	114
Количество типоразмеров	48	48	33	33	33	33	91	91	91
Средний вес элемента, кг	1267	1267	1415	1415	1830	1830	760	760	760
Коэффициент использования крана	0,70	0,70	0,75	0,75	0,74	0,74	0,67	0,67	0,67
Удельные объемы видов общестроительных работ в расчете на 1 м² жилой площади									
Стены, м³	0,24	0,24	0,17	0,17	0,41	0,41	0,45	0,45	0,45
Перекрытия, м³	0,37	0,37	0,10	0,10	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Перегородки, м²	1,73	1,73	2,46	2,46	0,21	0,21	1,0	1,0	1,0
Проемы, м²	0,84	0,84	0,59	0,59	0,66	0,66	0,57	0,57	0,57
Полы, м²	1,57	1,57	1,42	1,42	1,37	1,37	1,36	1,36	1,36
Кровля, м²	0,44	0,44	0,40	0,40	0,40	0,40	0,36	0,36	0,36
Фундаменты, м³	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
Земляные работы, м³	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,72	0,72	0,72

В 1992 году ДСК-2 был преобразован в современное производство под брендом ДСК «Блок», выпускающее конструкции 137-й серии, оснащенной двумя лифтами (грузовым и пассажирским). В 2012 году на комбинате завершена очередная модернизация производства, начатая еще в 2006 году. В 2011 году к ЗАО «ДСК «Блок»» было присоединено ОАО «Гатчинский ДСК», которое с 1973 по 2005 годы выпускало 121-ю серию сборного панельного железобетонного дома высотой до 17 этажей с высотой жилых помещений 2,7 м, площадью кухонь 12 м². В домах 121-й серии в основном однокомнатные, двухкомнатные и трехкомнатные квартиры. В 2002 году ЗАО «ДСК «Блок»» вошло в состав группы компаний «ЛСР» [10].

Технология возведения крупнопанельного жилого дома заключается в следующем: вначале выполняется доставка автомобильным транспортом заводских железобетонных конструкций комплекта жилого дома с ДСК на строительную

площадку, затем бригада монтажников строительных конструкций осуществляет возведение здания, выполняя установку в проектное положение монтажным краном вентиляционных и лифтовых шахт, санитарно-технических кабин и стеновых панелей. Монтаж каждого сборного конструктивного элемента выполняется с выверкой и временным закреплением конструкции при помощи подкосов, струбцин, кондукторов, после чего сварщики бригады осуществляют электросварку закладных деталей в узлах соединения и антикоррозионную защиту сварных соединений, а бетонщики — бетонирование узлов. После твердения бетона в узлах сборных конструкций монтажники строительных конструкций приступают к монтажу панелей очередного междуэтажного перекрытия.

Внедрение технологии сборного домостроения уменьшило зависимость строительства объектов от климатических и погодных условий

по сравнению с каменными и бетонными работами. В настоящее время керамзитобетонные наружные стеновые панели заменены трехслойными, состоящими из наружного и внутреннего бетонных слоев, заключающих в середине теплоизоляционный слой.

Современные конструкции наружных стеновых панелей, изготовленных на импортном оборудовании, установленном на ДСК при модернизации в 2012 году, имеют трехслойную конструкцию и вертикальный стык с гибкими стальными связями (рис. 1) [11, 12].

С появлением на строительном рынке импортной крупнощитовой опалубки с палубой из водостойкой фанеры, закрепленной на металлическом каркасе, в 1990-е годы набирает темпы монолитное домостроение [13].

При монолитной технологии возведения зданий, так же, как и при полносборной, требуется монтажный кран.

Строительный кран при возведении монолитных зданий применяется в процессе установки щитов опалубки, подачи в рабочую зону строительной арматуры и бетонной смеси в бадах при бетонировании.

Значительное развитие технологии монолитного домостроения обусловлено внедрением в практику строительного производства промышленных комплектов опалубки, автобетононасосов, а также специализированного автомобильного транспорта [14].

Появление на строительном рынке кранов большой грузоподъемности, применяемых для подачи в котлован буровых установок и других строительных машин, открыло возмож-

ности устройства глубоких котлованов и, как следствие, ускорило освоение подземного пространства при строительстве жилых объектов повышенной этажности [15]. Например, автомобильный кран GROVE GMK 4100L имеет высоту подъема стрелы 60 м, выдерживает максимальную нагрузку 100 т и применяется для опускания строительной техники в котлован, монтажа строительных кранов и тяжелого технологического оборудования.

Башенный кран Liebherr High Top 280 EC-H 12 Litronic, устанавливаемый на анкера, при максимальном вылете 75 м имеет грузоподъемность 2,5 т, а при вылете 21 м — 12 т [16]. Такой кран позволяет осуществлять строительство 17-этажного здания, что по современным технологическим возможностям является средней высотой строительства.

Применение современного грейферного оборудования и буровых установок решает проблему технологии строительства фундаментов в слабых, насыщенных водой грунтах Санкт-Петербурга и тем самым открывает возможность возведения жилых зданий высотой 23 и более этажа [17].

Одно из перспективных направлений развития технологии жилищного строительства — сочетание сборных конструкций с монолитными участками. Одной из таких технологий является сборно-монолитная строительная система КУБ (каркас универсальный безбалочный), представляющая собой сочетание сборных железобетонных колонн сечением 400 × 400 мм, плит перекрытия толщиной 160 мм и монолитных участков, соединяющих в целостную конструкцию сборные элементы здания (рис. 2).

Такая строительная технология возведения каркаса из унифицированных колонн и плит без устройства балок образует сборно-монолитный каркас без ригелей [18]. Еще до 1970 года в ЦНИИЭП жилища были разработаны конструкции безбалочного перекрытия, не имеющие капители. В дальнейшем были разработаны модифицированные варианты систем сборно-монолитного безригельного каркаса КУБ 2,5, КУБ-3В. Особенностью строительства таких типов зданий является применение сборного безригельного каркаса, состоящего из следующих элементов:

Рис. 1. Вертикальный стык соединения наружных и внутренних стеновых панелей (показан вид сверху)

Рис. 2. Элементы каркаса (сборные колонны и плиты), соединяемые монолитными участками

1) составные сборные железобетонные колонны 400×400 мм длиной до 15 м (в местах примыкания перекрытия к колонне в колонне отсутствует бетон);

2) железобетонная плита перекрытия $3,0 \times 3,0$ м толщиной 160 мм;

3) железобетонные связи сечением 200×250 мм, обеспечивающие пространственную жесткость и устойчивость каркаса;

4) диафрагмы жесткости толщиной 160 мм [19].

Наружные стены в таком здании могут быть в виде панелей или кладки из мелких блоков и кирпича. Узел соединения сборных железобетонных колонн выполняется на уровне перекрытия. Для совпадения осей колонн предусмотрен стальной стержень, выступающий из торцевой грани в нижней части монтируемой колонны, который вставляется при монтаже в патрубок, расположенный в верхней торцевой грани колонны нижележащего этажа.

Кроме того, выполняется электросварное соединение выступающих из торцовых граней арматурных стержней каркасов соединяемых колонн (рис. 3) [19].

Бетонирование смеси предлагается с применением термовиброобработки бетонной смеси. Суть термовиброобработки бетонных смесей (ТВОБС) заключается в том, что перед укладкой в опалубку, в данном случае в стык, бетонную смесь обрабатывают в специальной установке комплексом воздействий, включающим разогрев электрическим током, виброактивацию, воздействие пара и избыточного давления. Активированная таким образом смесь позволяет обеспечить ускоренный набор прочности бетона: 40–45 % через 8 ч и 70–100 % через сутки при скорости остывания $1\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ (см. рис. 2). При этом удельный расход электроэнергии составляет $\approx 50\text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3$, исключаются безвозвратная потеря греющих проводов и трудозатрат на их установку [20]. В результате сравнения удельных затрат труда по технологиям сборного, монолитного и сборно-монолитного домостроения [21] авторами получены показатели соответственно 0,09; 0,26; 0,11 чел.-сут/ м^2 .

Авторами разработана анкета для проведения комплексной экспертной оценки строительных технологий, применяемых в жилищном строительстве Санкт-Петербурга. За основу взяты десять наиболее значимых критериев и десятибалльная оценка каждого критерия (каждый критерий оценивался от 1 до 10 баллов, а комплексная оценка изменяется в пределах от 10 до 100 баллов).

Рис. 3. Узел соединения колонн

Алгоритм принятия экспертного решения показан на рис. 4.

В экспертной оценке принимали участие кандидаты и доктора технических наук по специальности 05.23.08 «Технология и организация строительства». Собранные результаты ответов подверглись статистической обработке.

Результаты экспертной оценки строительных технологий возведения жилых зданий, применяемых в Санкт-Петербурге, приводятся в табл. 2.

Для оценки корректности экспертных оценок принят коэффициент вариации, определенный по следующей формуле:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j}, \quad (2)$$

где среднее квадратическое отклонение оценок, полученных j -й технологией, определяется по формуле

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}, \quad (3)$$

D_j — дисперсия оценок, данных j -й технологии, определяется по формуле

$$D_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{ij} - M_j)^2, \quad (4)$$

Рис. 4. Алгоритм принятия экспертного решения

Таблица 2

Результаты экспертной оценки технологии основных строительных систем жилых зданий, возводимых в Санкт-Петербурге

№ п/п	Десять критериев оценки технологии	Значение критерия оценки по десятибалльной шкале технологии строительных систем			
		Кладка	Панель	Монолит	КУБ
1	Фасадные архитектурные решения	10	3	6	6
2	Планировочные архитектурные решения	7	3	9	10
3	Звукоизоляция (минимальная — 1 балл)	9	3	5	4
	Итого архитектура и звукоизоляция (максимальное значение 30 баллов)	26	9	20	20
4	Этажность (минимальная — 1 балл)	7	8	10	9
5	Прочность и сейсмостойкость (минимальные — 1 балл)	4	7	10	8
8	Долговечность (минимальная — 1 балл)	10	7	10	8
	Итого этажность, прочность, долговечность (максимальное значение 30 баллов)	21	22	30	25
6	Капиталоемкость (минимальная — 10 баллов)	5	4	8	5
7	Себестоимость (минимальная — 10 баллов)	5	10	7	9
9	Трудоемкость (максимальная — 1 балл)	4	9	7	8
10	Массовость (минимальная — 1 балл)	4	10	8	9
	Итого экономичность и массовость (максимальное значение 40 баллов)	18	33	30	31
	Итого технология строительной системы (максимальное значение 100 баллов)	65	64	80	76

n — число экспертов; C_{ij} — оценка (в баллах) j -й технологии i -м экспертом; M_j — среднее арифметическое значение величины оценки технологии (в баллах):

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ij}. \quad (5)$$

В расчетах средних баллов по каждой технологии и соответствующему критерию определялся коэффициент вариации, который не превысил значения 0,28, что говорит о допустимой степени согласованности мнений экспертов [21].

Анализируя результаты экспертной оценки технологий жилищного строительства рассмотренных строительных систем, можно сделать следующие выводы:

1. Архитектурная пригодность и звукоизоляция наибольшие у кладочной технологии традиционной строительной системы; монолитная и сборно-монолитная технология при устройстве кирпичных стен на отдельный этаж уступают кирпичному зданию — в основном в звукоизоляции и несколько в фасадах, но компенсируют этот недостаток возможностью планировочных решений.

2. Наиболее долговечными оказались кирпичная и монолитная строительные системы с технологиями кладки и монолитного железобетона, наиболее прочной и сейсмостойкой с высокой этажностью является только монолитная строительная система. Монолитной строительной системе в прочности, этажности и долговечности незначительно уступает сборно-монолитная технология строительной системы КУБ. Традиционная строительная система с кладочной технологией уступает в том числе и панельной строительной системе с полносборной технологией — в основном в сейсмостойкости и незначительно в этажности.

Абсолютным лидером по критерию прочности, сейсмостойкости, долговечности и этажности является монолитное домостроение, далее следуют строительная система КУБ, возводимая по сборно-монолитной технологии, а затем панельное домостроение. Традиционная строительная система уступает панельной системе по сейсмостойкости.

3. Капиталоемкость, или удельные капитальные вложения в индустрию и строительное производство, по технологиям рассмотренных строительных систем оценены по десятибалльной

шкале следующим образом: наибольшая капиталоемкость у сборного домостроения; меньшая капиталоемкость у монолитного домостроения; средняя капиталоемкость у кирпичного домостроения. С точки зрения трудоемкости технологических процессов на строительной площадке и пригодности к массовому строительству недорогого жилья наиболее эффективно панельное домостроение и каркасно-монолитное домостроение с панельными наружными стенами.

Менее универсальны традиционная кладочная технология и панельное домостроение: одна наиболее пригодна для строительства в условиях исторической застройки, другая — в условиях массовой застройки недорогого жилья. Монолитная технология в сочетании с кладочной технологией наружных стен и новыми монолитными технологиями освоения подземного пространства является наиболее рациональной при строительстве зданий в среде существующей городской застройки, как в историческом центре, так и в жилых районах второй половины XIX века.

Подводя итог проведенному исследованию развития технологий жилищного строительства, можно сделать вывод о том, что монолитное домостроение в сочетании с кладочной технологией наружных стен наиболее оптимальная технология для городского строительства в Санкт-Петербурге и уступает сборному домостроению главным образом в трудоемкости работ, что может решаться разработкой и внедрением новых автоматизированных бетонных комплексов.

Библиографический список

1. Рыбнов Е. И., Егоров А. Н., Хейдуцкий З., Гдимиан Н. Г. Организация и планирование работы производственных структур при крупномасштабном жилищном строительстве // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 98–102.
2. Головина С. Г., Сокол Ю. В. К вопросу исследования совместной работы строительных материалов в наружных ограждающих конструкциях в бывших доходных домах исторического центра Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 112–117.
3. Смирнов В. Н., Ёлишин Д. Д. Кирпичные клейма Санкт-Петербургской губернии середины XIX – начала XX в. Каталог и исследование // Бюллетень ИИМК РАН. 2017. № 7. Материальная культура Санкт-Петербурга. Вып. 1. 214 с.

4. Инчик В. В. «Кирпичный стиль» и получение лицевого кирпича в Санкт-Петербургской губернии в XIX веке // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 5 (70). С. 117–122.

5. Инчик В. В. Исследование петербургского кирпича, изготовленного в XVIII–XIX вв., прошедшего многолетнюю эксплуатацию // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 107–115.

6. Тилинин Ю. И. Организация и технология производства работ при реконструкции жилых кирпичных зданий исторического центра Санкт-Петербурга // Сб. науч. тр. участников межвуз. науч.-практ. конф. «Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства» / под общ. ред. А. Н. Бирюкова. СПб.: ВИ (ИТ), 2015. С. 264–270.

7. Юдина А. Ф., Дьячкова О. Н. Анализ вариантов проектно-строительных решений жилых многоэтажных зданий (на примере Санкт-Петербурга) // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 2 (23). С. 115–122.

8. Кракович А. А. Техничко-экономические данные по вопросам строительства. М.; Л.: Стройиздат, 1964. 180 с.

9. Лихачев В. Д. Трудоемкость как критерий оценки эффективности технических и технологических решений // Материалы 72-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 5–7 октября 2016 г.: [в 3 ч.]. Ч. I. Архитектура и строительство. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 108–111.

10. Тилинин Ю. И. Перевооружение крупнопанельного домостроения в Санкт-Петербурге // Сб. науч. тр. участников межвуз. науч.-практ. конф. «Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства» / под общ. ред. А. Н. Бирюкова. СПб.: ВИ (ИТ), 2015. С. 271–274.

11. Киреева Э. И. Крупнопанельные здания с петлевыми соединениями конструкций // Жилищное строительство. 2013. № 9. С. 47–50.

12. Суур-аскола П. Технологически усовершенствованный продукт от компании Peikko — тросовая петля PVL // Жилищное строительство. 2013. № 3. С. 21–25.

13. Заренков В. А. Новые опалубочные системы в «ЛенСпецСМУ» // Сб. докл. науч.-практ. конф. «Постсоветское градостроительство. Проблемы и перспективы» 16–17 апреля 2011 г. СПб.: ВИТУ, 2001. С. 116–118.

14. Колчеданцев Л. М., Васин А. П., Осипенкова И. Г., Ступакова О. Г. Технологические основы монолитного бетона. Зимнее бетонирование / под ред. Л. М. Колчеданцева. СПб.: Лань, 2016. 280 с.

15. Гайдо А. Н., Верстов В. В., Иванов Я. В. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий. СПб.: СПбГАСУ, 2014. 368 с.

16. Евтюков С. А., Куракина Е. В., Евтюков С. С. Наземные транспортно-технологические машины /

под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ИД «Петрополис», 2016. 504 с.

17. Гайдо А. Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки // Жилищное строительство. 2015. № 9. С. 12–15.

18. Бадьин Г. М., Сычев С. А. Перспективные технологии строительства и реконструкции зданий. СПб.: Лань, 2017. 292 с.

19. Бадьин Г. М., Сычев С. А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.

20. Колчеданцев Л. М., Рошупкин Н. П. Жильё экономического класса — сборное, монолитное или сборно-монолитное? // Жилищное строительство. 2011. № 6. С. 26–25.

21. Колчеданцев Л. М., Zubov N. A., Рошупкин Н. П., Колчеданцев А. Л. Конструктивно-технологические решения сборно-монолитного здания экономического класса // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 37–39.

References

1. Rybnov E. I., Egorov A. N., Kheydutskiy Z., Gdimiyani N. G. *Organizatsiya i planirovanie raboty proizvodstvennykh struktur pri krupnomasshtabnom zhilishchnom stroitel'stve* [Organization and planning of production structures work at large-scale housing construction]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 3 (68), pp. 98–102.

2. Golovina S. G., Sokol Yu. V. *K voprosu issledovaniya sovmestnoy raboty stroitel'nykh materialov v naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh v byvshikh dokhodnykh domakh istoricheskogo tsentra Sankt-Peterburga* [To the issue of studying the joint performance of building materials in enclosing structures in the former profitable houses of the historical center in St. Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 3 (68), pp. 112–117.

3. Smirnov V. N., Yolshin D. D. *Kirpichnye kleyma Sankt-Petersburgskoy gubernii serediny XIX – nachala XX v. Katalog i issledovanie* [Brick stamps of the St. Petersburg province of the middle XIX – early XX century. Catalogue and research]. *Byulleten' IIMK RAN – Bulletin of the Institute of IIMK RAS*, 2017, no. 7. *Material'naya kul'tura Sankt-Peterburga* [Material culture of St. Petersburg]. Iss. 1, 214 p.

4. Inchik V. V. «*Kirpichnyy stil'*» i poluchenie litsevoogo kirpicha v Sankt-Petersburgskoy gubernii v XIX veke [“Brick style” and facing brick manufacturing in Saint-Petersburg province in the XIX century]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 5 (70), pp. 117–122.

5. Inchik V. V. *Issledovanie peterburgskogo kirpicha, izgotovlennogo v XVIII–XIX vv., proshedshego mnogoletnyuyu ehkspluatatsiyu* [Study of brick made in Saint-Petersburg in the XVIII–XIX centuries with many years of operation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 4 (69), pp. 107–115.
6. Tilinin Yu. I. *Organizatsiya i tekhnologiya proizvodstva rabot pri rekonstruktsii zhilykh kirpichnykh zdaniy istoricheskogo tsentra Sankt-Peterburga* [Organization and technology of works in the reconstruction of residential brick buildings of the historic center of St. Petersburg]. *Trudy mezhvuz. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye napravleniya razvitiya tekhnologii, organizatsii i ehkonomiki stroitel'stva»* [Proc. of the inter-university sci.-pract. conf. "Modern trends in the development of technology, organization and construction of the economy"]. Ed. by Biryukov A. N. St. Petersburg, VI (IT) Publ., 2015, pp. 264–270.
7. Yudina A. F., D'yachkova O. N. *Analiz variantov proektno-stroitel'nykh resheniy zhilykh mnogoetazhnykh zdaniy (na primere Sankt-Peterburga)* [Analysis of the versions of design-construction solutions of residential multi-storey buildings (on the example of Saint-Petersburg)]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2010, no. 2 (23), pp. 115–122.
8. Krakovich A. A. *Tekhniko-ehkonomicheskie dannye po voprosam stroitel'stva* [Technical and economic data on construction]. Moscow; Leningrad, Stroyizdat Publ., 1964, 180 p.
9. Likhachev V. D. *Trudoemkost' kak kriteriy otsenki ehffektivnosti tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh resheniy* [Complexity as a criterion for evaluating the efficiency of technical and technological solutions]. *Trudy 72-y nauch. konf. professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta. 5–7 oktyabrya 2016 g. v 3 ch.. Ch. I. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Proc. of the 72-nd sci. conf. of professors, teachers, researchers, engineers and postgraduates of the University, October 5–7, 2016, in 3 parts. Pt I. Architecture and construction]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2016, pp. 108–111.
10. Tilinin Yu. I. *Perevooruzhenie krupnopanel'nogo domostroeniya v Sankt-Peterburge* [Re-equipment of large-panel housing construction in St. Petersburg]. *Trudy mezhvuz. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye napravleniya razvitiya tekhnologii, organizatsii i ehkonomiki stroitel'stva»* [Proc. of the inter-university sci.-pract. conf. "Modern trends in the development of technology, organization and construction of the economy"]. Ed. by Biryukov A. N. St. Petersburg, VI (IT) Publ., 2015, pp. 271–274.
11. Kireeva Eh. I. *Krupnopanel'nye zdaniya s petlevymi soedineniyami konstruktsiy* [Large-panel buildings with loop joints of structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2013, no. 9, pp. 47–50.
12. Suur-Askola P. *Tekhnologicheski usovershenstvovannyi produkt ot kompanii Peikko — trosovaya petlya PVL* [Technologically advanced product from the Peikko company as a cable loop PVL]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2013, no. 3, pp. 21–25.
13. Zarenkov V. A. *Novye opalubochnye sistemy v «LenSpetsSMU»* [New formwork systems in "LenSpetsSMU"]. *Trudy nauch.-prakt. konf. «Postsovetское gradostroitel'stvo. Problemy i perspektivy» 16–17 aprelya 2011 g.* [Proc. of the sci.-pract. conf. "Post-Soviet urban planning. Problems and prospects", April 16–17, 2011]. St. Petersburg, VITU Publ., 2001, pp. 116–118.
14. Kolchedantsev L. M., Vasin A. P., Osipenkova I. G., Stupakova O. G. *Tekhnologicheskie osnovy monolitnogo betona. Zimnee betonirovanie* [Technological basics of monolithic concrete. Winter-time concreting]. Ed. by Kolchedantsev L. M. Moscow, St. Petersburg, Lan' Publ., 2016, 280 p.
15. Gaydo A. N., Verstov V. V., Ivanov Ya. V. *Tekhnologii ustroystva ograzhdeniy kotlovanov v usloviyakh gorodskoy zastroyki i akvatoriy* [Technologies of building enclosing structures to ditches in conditions of city development and water areas]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2014, 368 p.
16. Evtyukov S. A., Kurakina E. V., Evtyukov S. S. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny* [Land transport-technological machines]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.
17. Gaydo A. N. *Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh resheniy ustroystva svaynykh fundamentov zhilykh zdaniy v usloviyakh gorodskoy zastroyki* [Ways to improve technological solutions of pile foundations of residential buildings in urban areas]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2015, no. 9, pp. 12–15.
18. Bad'in G. M., Sychev S. A. *Perspektivnye tekhnologii stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy* [Promising technologies of construction and reconstruction of buildings]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2017, 292 p.
19. Bad'in G. M., Sychev S. A. *Sovremennye tekhnologii stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy* [Modern technologies of construction and reconstruction of buildings]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2013, 288 p.
20. Kolchedantsev L. M., Roshchupkin N. P. *Zhil'yo ehkonomicheskogo klassa — sbornoe, monolitnoe ili sborno-monolitnoe?* [Economy class housing — prefabricated, monolithic or precast-monolithic?]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2011, no. 6, pp. 26–25.
21. Kolchedantsev L. M., Zubov N. A., Roshchupkin N. P., Kolchedantsev A. L. *Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya sborno-monolitnogo zdaniya ehkonomicheskogo klassa* [Construction and technological solutions of monolithic building of economic class]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 2011, no. 3, pp. 37–39.