Технология и организация строительства

УДК 693.556

© Г. Д. Макаридзе, канд. техн. наук

© Ю. И. Тилинин, канд. техн. наук

© Е. В. Хорошенькая, инженер

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: mgd1966@yandex.ru, tilsp@inbox.ru,

khoroshenkaja.e.v@lan.spbgasu.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-74-80

© G. D. Makaridze, PhD on Sci. Tech.

© Yu. I. Tilinin, PhD on Sci. Tech.

© E. V. Khoroshenkaja, engineer

(Saint-Petersburg State University of Architecture

and Civil Engineering)

E-mail: mgd1966@yandex.ru, tilsp@inbox.ru,

khoroshenkaja.e.v@lan.spbgasu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДАЧИ БЕТОННОЙ СМЕСИ В ОПАЛУБКУ

IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SUPPLYING CONCRETE TO THE FORMWORK

В современном строительстве среди применяемых строительных систем наиболее универсальна строительная система на основе технологии монолитного строительства. Одна из основных проблем строительства монолитных зданий заключается в совершенствовании процесса подачи бетонной смеси в опалубку. Экспертная оценка применяемых способов подачи бетонной смеси в опалубку позволила определить научное направление совершенствования этого технологического процесса. Оснащение башенного крана вертикальным и горизонтальным бетонопроводом позволит создать новый агрегат, предназначенный не только для монтажа опалубки, но и для перекачки бетонной смеси, и послужит очередным научным шагом к решению проблемы автоматизации технологических процессов монолитного строительства.

Ключевые слова: возведение зданий, монолитные конструкции, бетонная смесь, перекачка бетононасосом, подача краном, распределительная стрела, технология.

In modern construction, among the applied building systems there is the most universal building system which is based on the technology of monolithic construction. One of the main problems of constructing monolithic buildings is the necessity of improving the process of supplying concrete to the formwork. An expert assessment of the methods used to supply concrete to the formwork allowed to determine the scientific direction for improving this technological process. Equipping the tower crane with a vertical and horizontal concrete pipeline will create a new unit, designed not only for the installation of formwork, but also for pumping concrete mix and will serve as another scientific step towards solving the problem of automation of technological processes of monolithic construction.

Keywords: constructing of buildings, monolithic structures, concrete mix, pumping by concrete pump, crane feed, distribution boom, technology.

В жилищном строительстве сформировались тенденции строительства в спальных районах, на новых территориях и строительство в исторической части города, в частности Санкт-Петербурга. Наиболее частое применение имеют следующие домостроительные технологии: традиционная кладочная, крупнопанельная, монолитная и сборно-монолитная. Применение той или иной домостроительной технологии обу-

словлено в первую очередь местом строительства, характеризуемым сложившейся застройкой, наличием инженерного обеспечения, геологическими условиями и производственными мощностями строительного комплекса [1–3].

Рассмотренные домостроительные технологии сравнивались на примере Санкт-Петербурга, авторами выбраны критерии сравнения технологий и проведена экспертная оценка, в результате

которой сделаны выводы о том, что наиболее универсальной в городских условиях строительства является технология монолитного домостроения [4, 5].

Значительное современное развитие технологии монолитного строительства обусловлено внедрением в практику строительного производства крупнощитовой опалубки, автобетоносмесителей, автобетононасосов, распределительных стрел [6–8].

Технологическая схема подачи бетонной смеси при помощи стационарного бетононасоса и распределительной стрелы показана на рис. 1.

Опыт монолитного домостроения на сегодняшний день требует постепенного развития технологического процесса подачи бетонной смеси в опалубку с целью полной автоматизации и роботизации рабочих операций на основе применения строительных манипуляторов из высокопрочных конструкционных сталей отечественного производства [9].

Традиционный способ подачи бетонной смеси в опалубку заключается в перемещении бады или неповоротного бункера с бетонной смесью при помощи строительного крана [6]. Недостатками этого способа является низкая интенсив-

Рис. 1. Схема возведения здания в скользящей опалубке с подачей смеси на высоту бетононасосом:
1 — скользящая опалубка; 2 — положение распределительной стрелы манипулятора;
3 — распределительная стрела; 4 — рукав-компенсатор длины бетоновода; 5 — постамент с поворотно-стрелой;
6 — бетоновод; 7 — бетононасос; 8 — автобетоносмеситель [8]

ность бетонирования, составляющая около 27 м³ бетонной смеси в смену.

Для интенсификации процесса монолитного строительства применяют стационарные бетононасосы и распределительные стрелы на различных опорах¹.

Основные типы опор распределительных стрел схематически показаны на рис. 2.

С целью совершенствования технологического процесса подачи бетонной смеси в опалубку авторами проведена экспертная оценка применения различных технических средств перекачки и подачи бадьями бетонной смеси в процессе бетонирования. Результаты экспертной оценки приведены в табл. 1.

При обработке результатов анкетирования выполнялась оценка корректности присваиваемых

экспертами баллов посредством коэффициента вариации, определяемого по формуле

$$V_j = \frac{G_j}{M_j}. \quad (1)$$

При этом среднее квадратическое отклонение рассчитывалось по формуле:

$$G_j = \sqrt{D_j}. \quad (2)$$

Дисперсия D_j оценок, данных j -й технологии, определяется по формуле

$$D_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{ij} - M_j)^2, \quad (3)$$

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

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ij}. \quad (4)$$

Коэффициент вариации, рассчитанный по каждой технологии и соответствующему критерию, не превысил значения 0,28, что говорит

Рис. 2. Основные типы опор распределительных стрел: а — стрела на рамной опоре; б — на башенной трубчатой опоре; в — на башенной решетчатой опоре; г — на башенной решетчатой опоре с одной или двумя консолями

Таблица 1

Результаты экспертной оценки подачи бетонной смеси строительным краном в бадье и распределительной стрелой на различных видах опор

№ п/п	Критерий сравнительной оценки	Экспертная оценка критерия по 10-балльной шкале							
		Кран строительный		Распределительная стрела с различными видами опор					
		Стреловой	Башенный	Автомобиль	Рамная опора	Башенная трубчатая опора	Башенная решетчатая опора	Башенная решетчатая опора с одной или двумя консолями	Башенный кран — опора и стрела
1	Устойчивость к ветровой нагрузке и опрокидыванию	6	9	10	6	8	8	9	9
2	Мобильность (транспортбельность)	8	4	10	6	5	4	4	4
3	Высота подачи бетонной смеси	7	10	5	7	6	7	8	8
4	Самоподъемная функция опоры стрелы	7	10	7	4	7	7	8	8
5	Максимальный вылет удерживаемой стрелы	7	10	7	6	7	7	7	8
6	Выполнение смежной (грузоподъемной) функции с учетом высоты подъема груза	8	10	1	1	1	1	3	7
7	Наличие холостого хода	1	1	10	10	10	10	10	8
8	Необходимость перестановки краном	10	10	10	1	7	7	7	10
	Итого (универсальность)	54	64	60	41	51	51	56	62

о допустимой степени согласованности экспертов [10].

Проводя анализ результатов экспертной оценки, авторы определили область применения способов подачи бетона в опалубку.

Технология подачи бетонной смеси в опалубку при помощи строительного крана, поднимающего смесь в бадьях или неповоротных бункерах, является наиболее универсальной при возведении монолитных фундаментов, и особенно надземной части жилых зданий повышенной этажности. Однако наличие холостого хода крюка крана снижает его производительность при подаче бетонной смеси на высоту более 40 м.

В то же время перекачка бетонной смеси автобетононасосами, оборудованными распределительной стрелой, наиболее эффективна при

высоте подачи около 20 м. Для подачи бетонной смеси на высоту более 40 м применяется стационарный бетононасос и распределительная стрела с опорой в виде рамы, переставляемая башенным краном (рис. 3).

Выбор технических средств подачи бетонной смеси в реальных условиях строительства зависит от характеристик строительного объекта и строительной площадки [11].

При выборе бетононасоса часто пользуются приблизительными расчетами, заключающимися в приведении всех вертикальных перемещений смеси к горизонтальному эквиваленту путем трехкратного увеличения суммы всех вертикальных участков бетонопровода и прибавления к ним длин горизонтальных бетонопроводов. Затем выбирается бетононасос с дальностью

Рис. 3. Перестановка краном распределительной стрелы с опорой в виде рамы (Источник: <https://spb.kapitalparts.ru/strely/polugidravlicheskaya-strela/betonoraspredelitel'naya-strela-bhd-13r3-boom-makina> (Дата доступа 02.04.2019))

горизонтальной перекачки не ниже расчетной. По производительности бетононасос выбирают, ориентируясь на объем бетонирования. Так, при объеме бетонирования до 1500 м³ выбирают насос с производительностью 10 м³/ч, при объеме от 1600 до 4000 м³ — 20 м³/ч, а при объеме 10 000 м³ — 40 м³/ч.

Если увеличение срока строительства не приводит к существенному росту накладных расходов и укладывается в сроки контракта, то рекомендуется выбирать бетононасос со средними параметрами, руководствуясь более низкой ценой аренды.

Большинство современных российских модификаций автобетононасосов подают бетонную

смесь на максимальную высоту от 21 до 47 м. При помощи бетононасоса, установленного на базе грузового автомобиля, например КамАЗ-65115, бетонная смесь из приемного бункера засасывается в цилиндр бетононасоса и выталкивается поршнем в бетонопровод, закрепленный на поворотной распределительной стреле.

На российских автобетононасосах, например модели 58153А (АБН-32), используются высокопрочные и легкие металлоконструкции распределительных стрел зарубежных производителей. Распределительные стрелы часто устанавливают на опоры-вышки. Технические характеристики некоторых модификаций распределительных стрел PutzmeisterMXR на вертикальных опорах-вышках приводятся в табл. 2.

По параметрам распределительных стрел PutzmeisterMXR, устанавливаемых на опорах-вышках, видно, что высота и дальность подачи бетонной смеси приблизительно такая же, как у автобетононасосов с распределительной стрелой. Поэтому при подаче бетонной смеси на высоту более 40 м целесообразно применять стационарный бетононасос и переставляемую башенным краном распределительную стрелу или традиционный способ подачи бетонной смеси башенным краном.

С учетом анализа данных экспертного опроса авторы считают, что перспективным направлением совершенствования процесса подачи бетонной смеси в опалубку является создание многофункционального подъемного крана, оснащенного вертикальным и горизонтальным бетонопроводами.

Таблица 2

Технические характеристики распределительных стрел PutzmeisterMXR на вертикальных опорах-вышках

Параметр стрелы	Модели распределительных стрел PutzmeisterMXR на вертикальных опорах-вышках		
	MXR 24-4	MXR 28-4 T	MXR 32-4 T
Высота подачи	23,8 м	27,6 м	31,4 м
Дальность подачи	23,8 м	27,7 м	31,6 м
Глубина подачи	20,9 м	24,6 м	27,7 м
Количество секций	4	4	4
Отдельно стоящая	До 26 м	До 22 м	До 22 м
Тип складывания стрелы	Z	Z	Z
Диаметр бетонопровода	125 мм	125 мм	125 мм

При этом проблему составляет устройство горизонтального бетонопровода стрелы крана. При решении этой проблемы целесообразно принять во внимание наработки в области создания бетонопроводов строительных принтеров [12]. Эти наработки на современном этапе могут быть внедрены в массовое строительство при создании многофункционального подъемного крана.

Таким образом, методом экспертного сравнения способов подачи бетонной смеси в опалубку установлено:

- при строительстве монолитных зданий в зависимости от их высоты наиболее экономичны башенные краны;
- при высотном строительстве и объемах бетонирования более эффективно совместное применение распределительной стрелы на рамной опоре, стационарного бетононасоса и башенного крана;
- менее производительным, но более экономичным способом подачи бетонной смеси на высоту до пяти этажей, по сравнению с автобетононасосами, является способ с использованием распределительных стрел, установленных на вертикальных опорах-вышках.

С учетом вышеизложенных итогов анализа результатов экспертной оценки различных способов подачи бетонной смеси в опалубку авторы пришли к выводу, что наиболее эффективным является создание многофункционального башенного крана, оборудованного бетонопроводом.

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. 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.
4. Юдина А. Ф., Евтюков С. А., Тилинин Ю. И. Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1 (72). С. 110–119.
5. Юдина А. Ф., Тилинин Ю. И. Выбор критериев сравнительной оценки технологий жилищного домостроения // Architecture and Engineering. 2019. № 1. Рр. 47–52.
6. Юдина А. Ф., Верстов В. В., Бадьин Г. М. Технологические процессы в строительстве. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2014. 304 с.
7. 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.
8. Анпилов С. М. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: АСВ, 2010. 576 с.
9. Евтюков С. А., Тилинин Ю. И., Щербаков А. П. К вопросу автоматизации процессов монолитного домостроения с учетом исследования конструктивных сталей в строительной робототехнике // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 3 (74). С. 72–79.
10. Гуцыкова С. В. Метод экспертных оценок. Теория и практика. М.: Когито-Центр, 2011. 144 с.
11. Рыбнов Е. И., Егоров А. Н., Горюева Н. С. Развитие технологии контурного строительства // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 2 (67). С. 135–140.
12. Тилинин Ю. И., Казанбаева В. С., Климова А. В. Строительство зданий с применением 3 Д печати // Colloquium-journal. 2018. № 12 (23). Рр. 6–8.

References

1. Rybnov E. I., Egorov A. N., Khaydutskiy 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 of 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. Yudina A. F., D'yachkova O. N. Analiz variantov projektno-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.

4. Yudina A. F., Evtyukov S. A., Tilinin Yu. I. *Razvitie tekhnologiy zhilishchnogo stroitel'stva v Sankt-Peterburge* [Development of technologies of housing construction in St. Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 1 (72), pp. 110–119.

5. Yudina A. F., Tilinin Yu. I. *Vybor kriteriev sravnitel'noy otsenki tekhnologiy zhilishchnogo domostroeniya* [Selection of criteria for comparative evaluation of housing construction technologies]. "Architecture and Engineering", 2019, no. 1, pp. 47–52.

6. Yudina A. F., Verstov V. V., Bad'in G. M. *Tekhnologicheskie protsessy v stroitel'stve* [Technological processes in construction]. 2-nd ed., revised. Moscow, Akademiya Publ., 2014, 304 p.

7. 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.

8. Anpilov S. M. *Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy iz monolitnogo zhelezobetona* [Technology

of erecting buildings and constructions from monolithic reinforced concrete]. Moscow, ASV Publ., 2010, 576 p.

9. Evtyukov S. A., Tilinin Yu. I., Shcherbakov A. P. *K voprosu avtomatizatsii protsessov monolitnogo domostroeniya s uchetom issledovaniya staley v stroitel'noy robototekhnike* [To the question of automation of monolithic housing construction processes taking into account the study of steels in construction robotics]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 3 (74), pp. 111–118.

10. Gutsykova S. V. *Metod ehkspertnykh otsenok. Teoriya i praktika* [Method of expert assessments. Theory and practice]. Moscow, 2011, Kogito-Tsentr Publ., 144 p.

11. Rybnov E. I., Egorov A. N., Gorovaya N. S. *Razvitie tekhnologii konturnogo stroitel'stva* [Development of contour crafting technology]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 2(67), pp. 135–140.

12. Tilinin Yu. I., Kazanbaeva V. S., Klimova A. V. Construction of buildings with the use of 3 D print. *Colloquium-journal*, 2018, no. 12(23), Część 2 (Warszawa, Polska), pp. 6–8.