

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-91-1-115-121
УДК 69.05(075.8)

Шумаков И.В., Микаутадзе Р.И., Ляхов И.И.,
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61000, Украина;
e-mail: shumakov.hisi@gmail.com; revazmk@gmail.com; rgava69@mail.ru)

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Освещены основные тенденции при оптимизации и прогнозировании продолжительности строительства объектов различного назначения. Проанализированы современные данные, характеризующие частое превышение проектных сроков производства работ. Установлено, что такие ситуации ведут к увеличению стоимости строительства. На основе сравнительного анализа нормативных документов различных стран установлено, что большинство из них пользуются собственной национальной универсальной базой с данными по фактически реализованным проектам, которые выполняют функцию аналогов. Рассмотрено влияние индустриализации строительства, применения поточных методов, комплексной механизации работ на продолжительность строительства. Определено, что в любой из рассмотренных информационных систем среди прогнозируемых факторов управленческого типа идентифицированы геотехнические и гидрогеологические риски, логистические риски с учетом наличия и характеристик складских площадей на объекте, параметры механизации работ. В контексте оптимизации продолжительности строительства рассматривается ряд важных задач, среди которых: мониторинг производительности строительных машин, планирование циклов технического обслуживания, выявление тенденций по повышению эффективности логистики, оптимизация последовательности производства работ, в том числе, с учетом климатических условий, повышение эффективности использования топлива, минимизация незапланированных простоев, прогнозирование операционных сбоев. Представленные результаты исследований могут быть применены при формировании и совершенствовании электронных цифровых систем прогнозирования продолжительности строительства.

Ключевые слова: продолжительность строительства, оптимизация, прогнозирование, информационное моделирование, индустриализация, мониторинг.

Введение. Завершение строительства объекта в срок, равно как и непревышение бюджета – параметры успешности любого строительного проекта. В современных условиях увеличение продолжительности строительства в ряде случаев приводит к тому, что на сооружаемых объектах еще до ввода их в эксплуатацию архитектурные, конструктивные и организационно-технологические решения устаревают и на сегодняшний день очевидно стремление к обоснованным расчетам и соблюдению сроков строительства. В соответствии с недавно проведенными исследованиями [1] только 15% респондентов в строительстве энергетического сектора отметили, что они завершили проект в строго отведенный срок, и лишь 30% завершили проект без превышения бюджета. Примерно треть респондентов

из других сегментов промышленного строительства сообщили о подобных результатах. Современные мировые тенденции в данной сфере показывают, что строительные проекты становятся конструктивно сложнее, что будет продолжаться, и выводить задачу оптимизации продолжительности строительства в число первоочередных. Характерными в данном контексте являются известные объекты [2]. Например, при возведении тоннеля под Ла-Маншем расходы на строительство, по разным причинам, включая нарушения сроков производства работ, увеличились на 80%. При строительстве моста Большой Бельт в Дании перерасход средств составил 54%, мост Хамбер в Великобритании обошелся дороже на 175%. Крупный и сложный транспортный проект «Большой Бостонский туннель» (также известный как

«Big Dig» или «Big Dug») из-за увеличения продолжительности строительства превысил расходы на 275% [3].

Следует отметить, что внедрение новых методик для определения и технологических инноваций с целью сокращения продолжительности строительства является актуальной проблемой для Европейского союза. Так, например, в период 2005÷2009 гг. ЕС финансировал программу по преобразованию европейского подземного строительства в высокотехнологичную, высокодоходную отрасль деятельности с перспективой сокращения продолжительности строительства на 30 %, выделив на исследовательские задачи в этой области более 25 млн. евро [4].

Вопросам оптимизации и прогнозирования технико-экономических параметров строительства посвящено много трудов. В. А. Афанасьев [5] и В. П. Хибухин совместно с В. З. Величкиным и В. И. Втюриным [6] разрабатывали алгоритмы направленного перебора очередностей освоения частных фронтов, применимые к большинству схем организации работ. В совместном труде А. А. Шишкина и А. И. Шишкина [7] осуществлена оптимизация сроков строительства в зависимости от стоимостных показателей. В трудах [8–12] также отражены важные аспекты данной проблемы. Так, в работе М. Handa и R. M. Barcia [8] рассмотрена оптимизация продолжительности ритмичных потоков с непрерывным использованием ресурсов и выполнением работ каждого вида только одной бригадой. Оптимизационным вопросам посвящена совместная работа М. Rogalska, W. Bojeik и Z. Hejducki [9], где сокращение продолжительности с минимальными затратами достигается за счет использования резервов времени в не критических работах. Ряд украинских ученых в работах [17, 18] также рассматривали обозначенную проблематику, что явилось частью методик по оптимизации параметров строительства.

Цель статьи: проанализировать и сгруппировать методики в научных и нормативных источниках по проблеме оптимизации продолжительности строительства; выявить тенденции информационного моделирования, влияющие на данный параметр работ.

Результаты исследований. В Украине продолжительность строительства объектов определяется по государственному стандарту 2013 г. [13], где предлагается два метода её определения – табличный, и по проекту организации строительства (ПОС). При этом, как отмечалось на многих дискуссионных площадках, определяя усредненные показатели продолжительности по таблицам, уточнить ее в дальнейшем будет невозможно, так как именно на стадии ТЭО определяются основные технико-экономические показатели строительных объектов, и делается вывод о целесообразности строительства в целом. Участникам строительства, а особенно инвестору важно представлять минимально возможные сроки реализации строительного объекта. Следует отметить, что в данном стандарте сформулирован тезис о том, что необходимо учитывать положительный опыт и практические навыки при возведении аналогичных объектов. Таким образом, автору проекта необходимо проводить сравнительный анализ уже реализованных объектов строительства с проектируемым объектом. При этом очевидно, что далеко не каждый проектный институт, а тем более частные проектные организации имеют положительный опыт проектирования и полную рабочую документацию проектов-аналогов.

В то же время учет параметров введенных в эксплуатацию объектов-аналогов осуществлен в Великобритании, где существует «Калькулятор» продолжительности, разработанный информационной службой строительных затрат (BCIS) в 2004 г. Данная электронная система дает быструю и надежную оценку того, сколько времени

потребуется на строительство здания на основе фактически реализованных проектов. Определение продолжительности строительства производится на основании фактических данных более чем 4,5 тыс. объектов, реализованных в Великобритании, собранных консультантами и клиентами строительной отрасли, начиная с 1998 г. Этот банк данных регулярно обновляется в соответствии с текущим положением экономики страны. Важно отметить, что в итоге, воспользовавшись данной системой, клиент получает не только усредненные показатели продолжительности строительства, но также минимально и максимально возможные сроки реализации проекта. Таким образом, для участников строительства становится возможным принятие оптимальных сроков продолжительности строительства с учетом эффективного использования финансирования.

Известно [5], что основными путями сокращения продолжительности строительства являются применение поточных методов строительства; индустриализация строительства; высокая степень и комплексность механизации работ.

Одним из значимых событий в области строительства за последние несколько лет стало создание «Building Information Modeling» (BIM) – системы информационного моделирования промышленных и гражданских объектов. BIM используется для построения виртуальных моделей здания в цифровом виде. Объект проектируется как единое целое и изменение какого-либо параметра влечет последующее изменение остальных параметров вплоть до отражения на календарном графике строительства. При эффективном использовании данная система облегчает процесс проектирования и строительства, что повышает качество, сокращает продолжительность работ и ведет к более эффективному использованию средств. Это может быть 3D проектирование, 4D (интегрирование времени) или 5D (включая стоимость) вплоть до «nD» (термин, который охватывает любую

другую информацию). Данная система направлена на создание прогнозируемых результатов. Инструменты 4D BIM позволяют проектировщикам визуально представлять и планировать деятельность в контексте времени и пространства. Это позволяет принять альтернативные подходы на этапе проектирования к организации строительной площадки, составлению графиков строительства, размещению кранов и т. д.

На сегодняшний день определение продолжительности строительства часто не полностью синхронизируется с конструктивными особенностями здания, что в итоге приводит к сложностям в интерпретации графиков продолжительности участниками строительства и в конечном итоге приводит к ее увеличению. Инструменты BIM позволяют создавать, оценивать и эффективно модифицировать 4D-модели, что ведет к определению оптимальной продолжительности строительства. Группировка объектов в модели здания выполняется в соответствии с этапами строительства. Например, если укладку бетона монолитной плиты выполняют в несколько этапов, то модель плиты разделяют на соответствующее количество частей, чтобы последовательность производства работ могла эффективно учитывать принципы поточности и могла быть проиллюстрирована. Кроме того, параметры основных строительных машин и временной трансформируемой строительной оснастки (например, строительные леса) также включаются в формируемую модель. Участие подрядчика очень важно при построении 4D-модели для определения продолжительности строительства. Так, на этапе проектирования здания подрядчик может внести ценные уточнения в конструктивные и организационно-технологические решения, которые в итоге могут повлиять на продолжительность.

Индустриализация строительства, как перманентный параметр отрасли, в последние годы в развитых странах мира особенно интенсивна (рис. 1). Данное условие сокра-

щения продолжительности строительства является необходимостью, но не является новшеством. Так, в Японии индустриализация жилищного строительства была заявлена еще с 1960-х гг., в Австралии – с 1970-х.

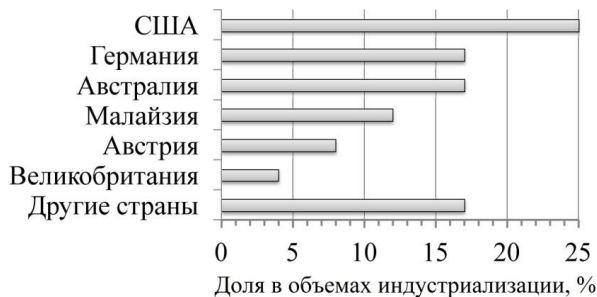


Рис. 1. Рыночная доля стран в общем объеме индустриализации строительства

В Великобритании современное содержание индустриализации строительства отражено в национальной системе требований «Modern methods of construction» (ММС), которая подразумевает внедрение объемных или модульных конструкций, элементов, опалубок; применение панельных строительных конструкций; использование систем и компонентов с максимальной заводской готовностью. Выполнение требований данной системы имеет несколько заявленных преимуществ по сравнению с традиционными конструктивными и организационно-технологическими решениями строительства (рис. 2):

- высокие темпы строительства;
- повышение показателей качества и экологичности;
- обеспеченность квалифицированной рабочей силой;
- минимизация материальных отходов;
- возможность прогнозирования затрат.

Среди прогнозируемых факторов управленческого типа здесь идентифицированы геотехнические и гидрогеологические риски, логистические риски с учетом наличия и характеристик складских площадей на объекте, параметры механизации работ. Потенциальные преимущества данной системы побудили британское правительство

ее продвигать с целью улучшения параметров жилищно-гражданского строительства с учетом повышения требований к качеству и энергоэффективности.

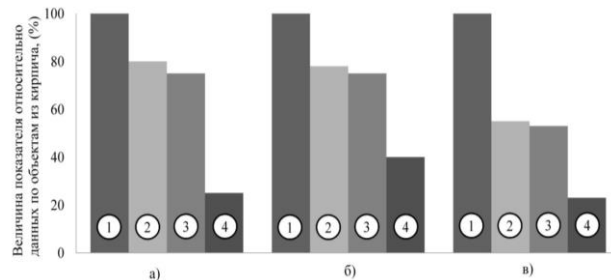


Рис. 2. Влияние системы ММС на некоторые параметры строительства:

а) снижение трудоемкости работ; б) сокращение продолжительности строительства; в) влияние погодных условий на продолжительность работ; 1 – конструкции из кирпича и мелких блоков; 2 – панельные конструкции; 3 – смешанные конструктивные решения; 4 – модульные конструкции

В Малайзии индустриализация строительства воплощена в систему «Industrialized Building System» (IBS) и является практически аналогом упомянутой британской системы ММС. Правительство Малайзии через IBS Center внедряет её для повышения производительности и качества на строительных площадках с помощью различных программ продвижения, обучения и стимулирования, а также рассматривает IBS как инновационный путь развития строительной отрасли. Кроме того, предусмотрено, чтобы государственные проекты реализовывались с использованием компонентов IBS не менее, чем на 70%. Перспективная цель в данном аспекте – принятие данной системы для достижения 50%-ного содержания IBS при осуществлении проектов частного строительства.

Ярким примером индустриализации строительства, демонстрирующим рекордно минимальную продолжительность производства работ, является основанная в 2009 г. компания «BROAD Sustainable Building» (BSB), специализирующаяся на

монтаже полносборных высотных зданий. С момента основания BSB осуществила более 30 проектов, почти все из них в Китае. Самыми знаменитыми из этих новаторских проектов являются: 15-этажный отель Ark, построенный за 2 дня (2010), 30-этажный отель (T30) – за 15 дней (2011), 57-этажное здание Mini Sky City (J57) – за 19 дней (2015).

Стоит отметить, что вышеописанные аспекты снижения продолжительности строительства являются перелицованными и успешно развитыми основами успешного осуществления жилищной политики бывшего СССР, где повышение степени сборности и темпы производства работ с учетом принципов поточности были интенсивным научным направлением.

Необходимо отметить появление прогнозирующей аналитической платформы «Uptake» (рис. 3), которая обеспечивает интеллектуальные аналитические решения для железнодорожной, горнодобывающей, авиационной, сельскохозяйственной, энергетической и строительной отраслей [15]. Например, в контексте оптимизации продолжительности строительства рассматривается ряд важных задач, среди которых: мониторинг производительности строительных машин, планирование циклов технического обслуживания, выявление тенденций по повышению эффективности логистики, оптимизация последовательности производства работ, в том числе, с учетом климатических условий, повышение эффективности использования топлива, минимизация незапланированных простоев, прогнозирование операционных сбоев.

Данная платформа способна обрабатывать практически все типы данных, существующих сегодня в строительной отрасли. Это могут быть данные от строительного оборудования или машин, данные от корпоративного программного обеспечения (например, SAP, ERP, CRM), цифровые модели зданий и сооружений (например, CAD, BIM), снимки с квадрокоптера, спутниковые снимки и т.д.



Рис. 3. Типологическая схема функционирования аналитической платформы «Uptake»

Для выполнения следующего этапа (анализа данных) сформирован единый унифицированный подход, в котором все типы данных стандартизируются и анализируются в реальном времени на серверах «Uptake» для создания практических результатов и перманентной оптимизации решений. По данным на начало 2017 г. платформа может обрабатывать более 1 млн. моделей данных в час. На завершающем этапе информация возвращается к клиентам через программные приложения, которые работают на платформе «Uptake». Например, они могут оповещать операторов или менеджеров строительства о потенциальных сбоях и предлагать рекомендации для путей смягчения этих рисков.

Прообразом комплексного решения упомянутых задач стала деятельность компании «Caterpillar» в этом сегменте управления. Для того, чтобы помочь клиентам во всем мире усовершенствовать контроль за используемым оборудованием и оптимизировать применение строительной техники, данная корпорация заключила соглашения с компанией «Uptake» о доступности данной платформы для всей продукции «Caterpillar». Характерным явился проведенный накануне внедрения данной системы аудит использования рабочего времени строительного оборудования в одной

из известных горнодобывающих компаний, где ремонт стоимостью 650 тыс. долл. США привел к 900 часам простоя. Если бы технология «Uptake» была осмотрительно применена, время простоя оборудования сократилось бы до 24 ч, а затраты на ремонт – до 12 тыс. долл.

Выводы. На основе анализа научных и нормативных источников по проблеме оптимизации продолжительности строительства выявлены тенденции информационного моделирования, влияющие на данный параметр работ. В последнее время новые цифровые технологии в проектировании и возведении объектов трансформируют строительную отрасль. При этом характерно, что данная тенденция при очевидных перспективах пока не получила широкого распространения в странах постсоветского пространства. Новые методики управления строительством требуют изучения и интеграции с учетом территориальной специфики. Необходимо усовершенствование нормативной базы строительства для определения продолжительности строительных работ, учитывающей современные мировые стандарты строительного производства.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Abbosh O. How to boost capital project performance / O. Abbosh, J. Arnott & M. Grady // Outlook – the journal of high-performance business. – 2013. – №3. – P. 28–34.
2. Flyvbjerg, B. Megaprojects and Risk: an Anatomy of Ambition / B. Flyvbjerg, N. Bruzelius & W. Rothengatter. – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 207 p.
3. Cantarelli C.C. Geographical variation in project cost performance: the Netherlands versus worldwide / C. C. Cantarelli, B. Flyvbjerg & S. L. Buhl // Journal of Transport Geography. – 2012. – Vol. 24. – Pp. 324–331.
4. Technology innovation in underground construction: [Электронный ресурс] Community Research and Development Information Service. – Режим доступа: http://cordis.europa.eu/project/rcn/74844_en.html Дата доступа: 30.10.17.
5. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства / В. А. Афанасьев. – Л.: Стройиздат, 1990. – 160 с.
6. Хибухин В. П. Математические методы планирования и управления строительством / В. П. Хибухин, В. З. Величкин, В. И. Втюрин. – Л.: Стройиздат, 1990. – 184 с.
7. Шишкин А. А. Организация, планирование и управление строительным производством / А. А. Шишкин, А. И. Шишкин. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. – 220 с.
8. Handa M. Linear scheduling using optimal control theory / M. Handa & R. M. Barcia // Journal of Construction Engineering and Management. – 1986. – №112 (3). – Pp. 387–393.
9. Rogalska M. Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling / M. Rogalska, W. Bojeiko, Z. Hejducki // Automation in Construction. – 2008. – №18. – Pp. 24–31.
10. Schaller J. Note on minimizing total tardiness in a two-machine flowshop / J. Schaller // Computers & Operations Research. – 2015. – № 32(12). – Pp. 3273–3281.
11. Pan J.C. Minimizing tardiness in a two-machine flow-shop / J.C. Pan, J. Chen, C. Chao // Computers & Operations Research. – 2002. – № 29. – Pp. 869–875.
12. El-Rayes K. Optimizing resource utilization for repetitive construction projects / K. El-Rayes & O. Moselhi // Journal of Construction Engineering and Management. – 2011. – № 127. – pp. 18–27.
13. Визначення тривалості будівництва об'єктів. ДСТУ Б А.3.1-22:2013. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 43 с. (Державний стандарт України).
14. Construction IBS: Practical solution to rising costs: [Электронный ресурс]. MIDF RESEARCH. Режим доступа: <https://slidedocument.org/type-of-construction-ibs-midf-140214-pdf> Дата доступа: 29.10.17.
15. Using modern methods of construction to build homes more quickly and efficiently: Report by the National Audit Office, 2005. – 29 p.
16. Shaping the Future of Construction: Inspiring innovators redefine the industry / Report by World Economic Forum. – Geneva, 2017. – 96 p.

17. Шумаков І. В. Перспективність техногенних територій для міського цивільного будівництва / І.В. Шумаков, О.А. Гринчук, Ю.В. Фурсов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2016. – № 3(85). – С. 73–77.
18. Шумаков И. В. К вопросу об эффективности методов устройства подземной гидроизоляции / И.В. Шумаков, В.В. Смачило, В.Ю. Халина, Ю.В. Фурсов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2016. – № 1(83). – С. 116–120.

Шумаков І.В., Мікаутадзе Р.І., Ляхов І.І. ОПТИМІЗАЦІЙНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ПРОГНОЗУВАННІ ТРИВАЛОСТІ БУДІВНИЦТВА. Відображено основні тенденції при оптимізації та прогнозуванні тривалості будівництва об'єктів різного призначення. Проаналізовані сучасні дані, що характеризують перевищення проектних термінів ведення робіт. Установлено, що такі ситуації ведуть до збільшення вартості будівництва. На підґрунті порівняльного аналізу нормативних документів різних країн встановлено, що більшість із них користуються власною національною універсальною базою з даними по фактично реалізованих проектах, які виконують функцію аналогів. Розглянуто вплив індустріалізації будівництва, застосування потокових методів, комплексної механізації робіт на тривалість будівництва. Визначено, що в кожній з розглянутих інформаційних систем серед прогнозованих факторів управлінського типу ідентифіковані геотехнічні та гідрогеологічні ризики, логістичні ризики з урахуванням наявності й характеристик складських площ на об'єкті, параметри механізації робіт. У контексті оптимізації тривалості будівництва розглядається ряд важливих завдань, серед яких: моніторинг продуктивності будівельних машин, планування циклів технічного обслуговування, виявлення тенденцій по підвищенню ефективності логістики, оптимізація послідовності виконання робіт, у тому числі, з урахуванням кліматичних умов, підвищення ефективності використання палива, мінімізація незапланованих простоїв, прогнозування операційних

збоїв. Представлені результати досліджень можуть бути застосовані при формуванні й удосконалюванні електронних цифрових систем прогнозування тривалості будівництва.

Ключові слова: тривалість будівництва, оптимізація, прогнозування, інформаційне моделювання, індустріалізація, моніторинг.

Shumakov I.V., Mikautadze R.I., Liakhov I.I. OPTIMIZATION TRENDS IN FORECASTING THE DURATION OF CONSTRUCTION.

The key trends in optimizing and forecasting the duration of construction of various-purpose properties have been outlined. Contemporary data characterizing frequent failures to meet the projected construction deadlines has been analyzed. It was established that these situations result in increasing construction costs. Based on a comparative analysis of regulatory documents in various countries, it was established that most of them use their own, national universal databases with information regarding actually-implemented projects, which serve as analogs. The effect of industrialization of construction, use of current methods and comprehensive mechanization of work on the duration of construction was reviewed. It was determined that in any of the reviewed information systems, geotechnical and hydrogeological risks, logistical risks (taking into account the availability and characteristics of storage space on the site), and work mechanization parameters have been identified among the forecasted factors of managerial type. A number of important tasks have been considered in the context of optimizing the duration of construction, including: monitoring productivity of construction machinery, planning maintenance cycles, identifying logistics effectiveness improvement trends, optimizing the sequence of construction works (in particular, taking into account climatic conditions), improving effectiveness of fuel use, minimizing unplanned downtime, forecasting operational failures. The results of research presented here may be used when forming and improving electronic digital schemes of forecasting the duration of construction.

Keywords: duration of construction, optimization, forecasting, information-based modeling, industrialization, monitoring.