

materials is gaining momentum. Although the regulatory framework is in development and the work of composite materials in the conditions of our climate has not been fully studied, the technology of performing the work is borrowed from the producing countries of this material. Thus, the purpose of this work is to identify the degree of study of the issue and the relevance of using composite materials to strengthen the main beams of span structures of reinforced concrete bridges. To accomplish this task, an analysis of existing calculation methods has

been carried out, as well as the experience of reinforcing beams with composite materials for the repair and reconstruction of structures. Thus, the question of the optimal location and quantity of reinforcing material remains open, since the reinforcing material has a sufficiently high cost, an overabundance of reinforcement will lead to an undesirable increase in the cost of repair, and insufficient strengthening will not give the desired result.

**Key words:** composite (composite material), bent ferro-concrete element, calculation technique, gain system, FRP materials.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-93-3-143-148  
УДК 656.017

**Малявин А.Н., Шевченко А.А.,**

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта  
(площадь Фейербаха 7, 61050, Харьков, Украина, e-mail: anmalajvin@gmail.com; annshevc@gmail.com)*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

Освещены основные этапы оптимизации и прогнозирования продолжительности строительства объектов транспортного назначения. Проанализированы современные данные, характеризующие частое превышение проектных сроков производства работ за счет неэффективной организации технологического обеспечения. Установлено, какие ситуации ведут к увеличению стоимости строительства. Рассмотрено влияние индустриализации строительства, применения поточных методов, комплексной механизации работ на продолжительность строительства. В контексте оптимизации продолжительности строительства рассматривается ряд важных задач, среди которых: выявление тенденций по повышению эффективности логистики, оптимизация последовательности производства работ, в том числе, с учетом климатических условий. Представленные результаты исследований могут быть применены при формировании и совершенствовании электронных цифровых систем прогнозирования продолжительности строительства.

**Ключевые слова:** технологический процесс, оптимизация строительного процесса, предприятия технологического обеспечения, формула Пальма, продолжительность строительства, производительность сборки, транспортировка конструкций.

**Введение.** В современном мире строительства существенную роль при возведении зданий и сооружений, в том числе, и транспортного назначения играет железобетон и сталебетон с максимально возможным выполнением операций рабочего процесса по сборке элементов конструкций непосредственно на строительной площадке. С этой точки зрения представляет собой большой интерес использование технологических комплексов оборудования и

эффективной организации технологического процесса.

Завершение строительства объекта в срок, как и неудорожание строительства – параметры, определяющие успех любого масштаба строительного проекта. В современных условиях увеличение продолжительности сроков строительства влечет за собой, в ряде случаев, к тому что на объектах еще до ввода их в эксплуатацию техно-

**НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 93, №3, 2018**

логические и инженерные решения устаревают и поэтому стремление к обоснованным расчетам и соблюдению сроков строительства очень важный и необходимый показатель. В трудах [1, 3] только 15% объектов в строительстве энергетического сектора отметили, что они завершили проект в отведенный проектом срок, а лишь 30% завершили проект без превышения планового бюджета. Примерно 1/3 от всех объектов из других сегментов промышленного строительства сообщили о подобных результатах. Современные мировые тенденции в данной сфере показывают, что строительные проекты становятся конструктивно сложнее, и скорее всего это будет продолжаться и дальше, в связи с развитием науки и техники что выводит задачу оптимизации продолжительности строительства в число первоочередных и очень важных задач. Характерными в данном вопросе являются известные объекты, которые изложены в работах [4-6]. Например, при возведении тоннеля под Ла-Маншем (Евротоннель – железнодорожный двухпутный тоннель длиной около 51 км) расходы на строительство, по разным причинам, увеличились на 80%. При строительстве моста в Дании Большой Бельт перерасход средств составил 54%. Мост Хамбер в Великобритании обошелся дороже на целых 175%. Транспортный проект «Большой Бостонский туннель», из-за увеличения продолжительности строительства превысил расходы на 275% [5]. Следует отметить, что внедрение новых методик для определения технологических инноваций с целью сокращения продолжительности строительства является актуальной проблемой для всего мира. Например, с 2005 по 2009 гг. Европейский союз финансировал программу по преобразованию европейского подземного строительства в высокотехнологичную, высокодоходную отрасль с перспективой сокращения продолжительности строительства на 30 %, выделив на исследовательские задачи более 25 млн. евро [6]. Вопросами оптимизации и

прогнозирования технико-экономических параметров строительства посвящено много трудов В. П. Хибухин совместно с В. З. Величкиным и В. И. Втюриным [6, 7] разрабатывали алгоритмы, которые направлены на перебор очередностей освоения частных фронтов, которые легко применимы к большинству схем организации строительных работ. В совместном труде А. А. Шишкина и А. И. Шишкина [7] изложено осуществление оптимизации сроков строительства в зависимости от показателей стоимости. В работе М. Handa и R. M. Varcia [8] рассмотрена оптимизация продолжительности равноритмичных потоков строительства с непрерывным использованием ресурсов и выполнением каждого вида работ только одной бригадой. Оптимизационным вопросам строительства так же посвящена совместная работа М. Rogalska, W. Wojeik и Z. Hejducki [9], где сокращение продолжительности с минимальными затратами достигается за счет использования резервов времени в некритических работах. Так же ряд украинских ученых в своих работах [1, 2, 17] рассматривали данную проблему, что является частью методик оптимизации параметров строительства [1, 2, 14-17].

**Цель статьи:** проанализировать методики в научных и нормативных источниках по проблеме оптимизации технологического обеспечения строительства; выявить тенденции информационного и компьютерного моделирования, влияющие на данный вид работ.

**Материалы и методы исследования.** Изучение опыта повышения степени заводской готовности конструкций и изделий в жилищном и промышленном строительстве. Анализ основных технологических процессов при сооружении транспортных зданий из различных строительных материалов исполнения позволили наметить дальнейшие пути повышения технологической готовности строительных конструкций и материалов.

Наиболее трудоемкими процессами при строительстве транспортных зданий являются отделочные работы, перенос которых в стационарные заводские условия позволит значительно повысить производительность труда транспортных строителей.

Практически все строительные конструкции поступают на строительную площадку с «черновыми» поверхностями, что требует значительных затрат труда по их доводке и отделке на стройплощадке. Если удалось решить задачи повышения заводской готовности конструкций в домостроении, то при сооружении транспортных зданий эти вопросы остаются нерешенными.

Строительство транспортных зданий и сооружений требует иного подхода при решении задач повышения технологической готовности конструкций и материалов, связанных с невозможностью их доставки на строительные площадки укрупненными блоками с выполненными отделочными работами и укомплектованными необходимым оборудованием по следующим причинам:

- отдаленность объектов транспортного строительства от баз стройиндустрии и заводов;
- отсутствие автомобильных дорог с твердым покрытием.

Из-за больших расстояний автомобильных перевозок (до 150- 200 км) возникает необходимость создания временных промежуточных складов, где повреждения конструкций и материалов неизбежны в результате их складирования, перегрузки и хранения на открытом воздухе. Это приводит к дальнейшему увеличению затрат труда по выполнению на строительной площадке доводочных и отделочных операций. Кроме того существует ряд «мокрых» технологических операций, выполнение которых не допускается при низких температурах воздуха. Это штукатурные, малярные, покрасочные, обойные и другие процессы.

Все это указывает на необходимость ведения трудоемких работ по повышению технологической готовности конструкций и

материалов транспортных зданий в стационарных условиях хорошо оборудованных и механизированных рабочих мест производственных участков предприятий, на которых производилась бы укрупнительная сборка конструкций непосредственно вблизи строительной площадки. Это практически исключает транспортировку конструкций на большие расстояния и превращает строительную площадку в монтажную, где достигается высокая производительность и культура труда, снижается трудоемкость работ, а, следовательно, сокращаются сроки строительства транспортных зданий и сооружений железнодорожных станций.

На таких предприятиях должны выполняться и операции по заготовке и комплектации изделий и материалов, которые используют непосредственно на строительной площадке (окрасочные и шпаклевочные составы, обои, линолеум, пакеты утеплитель, материалы для устройства полов и др.)

Все это указывает на необходимость создания новых предприятий, обеспечивающих строительство транспортных зданий и сооружений конструкциями и материалами повышенной технологической готовности. Такими предприятиями могут стать предлагаемые ПТОСы - предприятия технологического обеспечения строительства транспортных зданий и сооружений.

Определим некоторые характеристики предлагаемого предприятия технологического обеспечения строительства (ПТОС) транспортных зданий и сооружений железнодорожных станций. Для этого предположим, что на ПТОС поступает  $n$  видов материалов, конструкций, изделий и и.д. (в дальнейшем - материалов). ПТОС должно обслуживать  $m$  объектов, которыми являются транспортные здания. Для описания ПТОС, как системы массового обслуживания введем вектор  $A$ ,  $i$ -й элемент которого  $a_i$  содержит интенсивность потока поставок  $i$ -го вида материалов на ПТОС, и матрицу  $B$ , элементы которой  $b_{ij}$  представляют количество  $i$ -го материала для  $j$ -го

комплекта. При этом  $j$ -й столбец матрицы представляет собой комплект, поставляемый на один из объектов.

По условиям работы ПТОС комплект должен поставляться на объект полностью. Поэтому, за время формирования комплекта на складах ПТОС накопится различное количество материалов. Используя формулу Пальма, можно определить потребность в складских площадях для материалов, поставляемых наиболее часто.

Формула Пальма для  $i$ -го материала:

$$t_i = \frac{1}{a_i} Q_i, \quad (1)$$

где  $t_i$  – время нахождения  $i$ -го материала на ПТОС;  $a_i$  – интенсивность потока поставок  $i$ -го материала;  $Q_i$  – количество  $i$ -го материала на складе.

Примем  $t_i$  для  $1 \leq i \leq n$  равное времени формирования комплекта  $t_{kj}$ .

При этом допустим, что  $a_1 = \min a_i$

$$\frac{Q_1}{a_1} = \dots = \frac{Q_i}{a_i} = \dots = \frac{Q_n}{a_n}, \quad (2)$$

тогда:

$$t_{kj} = \frac{Q_1^k}{a_1}, \quad (3)$$

где  $Q_1^k$  – количество материала с наименьшей интенсивностью потока поставок;  $a_1$  – интенсивность этого потока.

Для остальных материалов количество их на складе, накопившееся ко времени завершения формирования  $j$ -го комплекта, можно определить, как:

$$Q_i = \frac{a_i}{a_1} Q_1, \quad (4)$$

где  $a_i$  – интенсивность потока поставок с  $i$ -го материала;  $Q_1$  – минимально потребная площадь складских помещений.

Кроме этого должно выполняться условие  $Q_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}$  которое исключает накопление на ПТОС материалов сверх объектной потребности.

Используя формулу Пальма и уже полученные результаты, можно оценить потребную мощность производственных участков ПТОС.

Допустим, что имеется вектор  $C$ , элементы которого  $C_j$  представляют собой интенсивность потока поставок  $j$ -го комплекта с ПТОС на объекты строительства. Формула Пальма для данного случая будет выглядеть как:

$$t_{nj} = \frac{1}{C_j} P_j, \quad (5)$$

где  $t_{nj}$  – время поставки необходимого количества комплектов на объекты;  $P_j$  – количество комплектов, которое необходимо поставить на объекты.

Таким образом, мощность производственных участков, осуществляющих формирование комплектов  $j$ -го типа определяется как:

$$C_j = \frac{P_j}{t_{nj}}. \quad (6)$$

В заключение необходимо определить соотношения параметров ПТОС, обеспечивающих синхронизацию входного (материалы) и выходного (комплекты) потоков. Для этого определяется материал  $j$ -го комплекта, имеющий меньшую интенсивность поставки:

$$K=i, \text{ для } \min(b_{ij} \neq \Theta) \quad (7)$$

где  $K$  – индекс вектора  $a$ .

Если  $a_k \geq C_j \cdot b_{kj}$ , то весь материал поступит на ПТОС за время поставок  $P_j$  комплектов.

В противном случае прием материалов на ПТОС необходимо начать за  $\Delta t_k$  до начала поставок комплектов на строительные объекты включающих  $K$ -й материал:

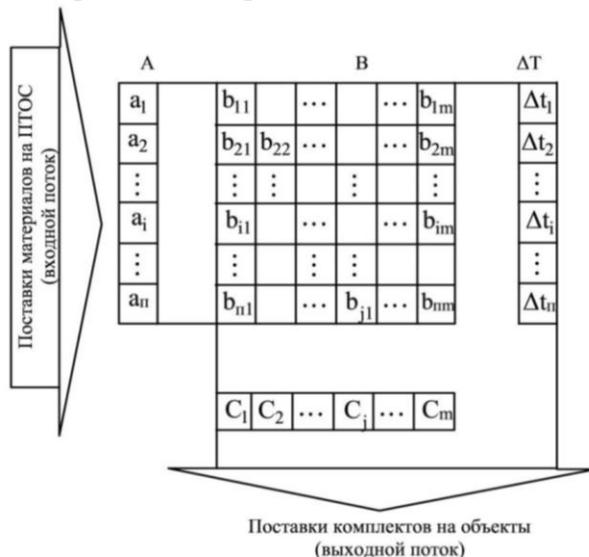
$$\Delta t_k = \frac{P_j \cdot b_{kj}}{a_k} - t_{nj}, \quad (8)$$

Параметр  $\Delta t_k$  меньший нуля указывает на отсутствие необходимости заблаговременной заготовки материала. Следует построить вектор  $\Delta T$ , каждый элемент которого и представляет собой:

$$\Delta t_i = \frac{P_j \cdot b_{kj}}{a_k} - t_{nj}, \quad (9)$$

Элементы вектора  $\Delta T$  большие нуля и определяют минимальный период накопления соответствующего материала до начала доставок с ПТОС комплектов на объекты.

Графическая иллюстрация описания ПТОС, как системы массового обслуживания приведена на рис. 1.



$a_i$  – интенсивность входного потока  $i$ -го материала;  $b_{ij}$  – потребность в  $i$ -м материале для  $j$ -го комплекта;  $C_j$  – интенсивность поставки  $j$ -го комплекта на объект;  $\Delta t_i$  – интервал времени между началом приема  $i$ -го материала на ПТОС и началом поставок комплектов на объекты.

Рис. 1. ПТОС, как система массового обслуживания

**Результаты исследования.** Проведенный теоретический анализ функционирования ПТОС показал, что основными характеристиками, по которым осуществляется определение структуры этих предприятий являются:

- емкость складов для хранения поступающих на ПТОС материалов;
- мощность производственных участков по переработке материалов и их комплектации;
- запас времени, в течение которого осуществляется накопление материалов на складе до начала поставок технологических комплектов на строительные объекты.

**Выводы.** Выявление тенденций по повышению эффективности логистики, оптимизация последовательности производства работ, в том числе, с учетом климатических условий, прогнозирование операционных сбоев, является необходимой и очень важной задачей ПТОС и всего строительства в целом.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Емельянова И. А. Блажко В.В., Доброходова О.В. Особенности создания универсального технологического комплекта малогабаритного оборудования для русловый строительной площадки. // Научный вісник будівництва, Т. 91. - №1. - 2018. - С. 227-233.
2. Ковальов В. В. Кластерний підхід до організації управління проектами реконструкції промислових підприємств. // Научный вісник будівництва, Т. 91. - №1. - 2018. - С. 100-107.
3. 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.
4. Flyvbjerg, B. Megaprojects and Risk: an Anatomy of Ambition / B. Flyvbjerg, N. Bruzelius & W. Rothengatter. – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 207 p.
5. 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.
6. Technology innovation in underground construction: [Электронный ресурс] Community Research and Development Information Service. – Режим доступа: [http://cordis.europa.eu/project/rcn/74844\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/74844_en.html) Дата доступа: 30.10.17.
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. ElRayes & 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://slide-document.org/type-of-construction-ibs-midf-140-214-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 И.В., Микаутадзе Р.И., Ляхов И.И. Оптимальные тенденции в прогнозировании продолжительности строительства. Научный вестник строительства, Т. 91, №1, 2018. С.115 – 121.

**Maliavin A.N., Shevchenko A.A. INCREASE OF EFFICIENCY OF ORGANIZATION OF TECHNOLOGICAL SUPPORT OF CONSTRUCTION OF TRANSPORT FACILITIES OF RAILWAY STATIONS.** The main stages of optimization and forecasting the duration of construction of transport facilities are highlighted. The modern data characterizing a frequent excess of the design terms of not production due to the effective organization of technological support are analyzed. It is determined which situations lead to an increase in construction costs. The influence of industrialization of construction, the application of flow methods, and the comprehensive mechanization of

work on the duration of construction are considered. In the context of optimizing the duration of construction, a number of important tasks are considered, including: identifying trends in improving logistics efficiency, optimizing the sequence of work, forecasting of operational failures. The presented research results can be applied in the development and improvement of electronic digital systems for forecasting the duration of construction.

**Keywords:** technological process, optimization of the construction process, technological support enterprises, Palma formula, construction time, assembly productivity, transportation of structures.

**Малявін А.М., Шевченко А.О. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ.** Розглянуто основні етапи оптимізації і прогнозування тривалості будівництва об'єктів транспортного призначення. Проаналізовано сучасні дані, що характеризують часте перевищення проектних термінів виконання робіт за рахунок ефективної організації технологічного забезпечення. Встановлено, які ситуації ведуть до збільшення вартості будівництва. Розглянуто вплив індустріалізації будівництва, застосування потокових методів, комплексної механізації робіт на тривалість будівництва. В контексті максимально ефективного будівництва розглядається ряд важливих завдань, серед яких: виявлення тенденцій щодо підвищення ефективності логістики, оптимізація послідовності виконання робіт, в тому числі, з урахуванням кліматичних умов, прогнозування операційних збоїв. Представлені результати досліджень можуть бути застосовані при формуванні та вдосконаленні електронних цифрових систем прогнозування тривалості будівництва.

**Ключові слова:** технологічний процес, оптимізація будівельного процесу, підприємства технологічного забезпечення, формула Пальма, тривалість будівництва, продуктивність збірки, транспортування конструкцій.