

Технология и организация строительства

УДК 69.003:658.012.22

© Х. А. Бохан, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия; Университет Ди Кар, Ирак)
E-mail: haitham_kh9@yahoo.com

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-67-79

© Haitham A. Bohan, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia; Thi-Qar University, Iraq)
E-mail: haitham_kh9@yahoo.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ, ОРГАНИЗАЦИИ И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ, НАПРАВЛЕННОЕ НА УМЕНЬШЕНИЕ ЗАДЕРЖКИ СТРОИТЕЛЬСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ИРАК

OPTIMIZING OF PLANNING, ORGANIZATION AND OPERATIONAL MANAGEMENT AIMED AT REDUCING CONSTRUCTION DELAYS IN THE REPUBLIC OF IRAQ

Многие строительные проекты в мире и, в частности, Ираке сталкиваются с задержками в реализации, что приводит к негативным последствиям для общества и экономики страны. В своей принципиальной основе задержки строительства связаны с несовершенной реализацией общих функций управления, включающих в себя планирование, организацию, контроль и регулирование. Основная задача процесса контроля — это сравнение объема запланированных работ с фактическими значениями выполнения. Именно в результате реализации функции контроля выявляются задержки в выполнении работ. Разработан алгоритм оперативного управления, направленный на уменьшение несвоевременности работ, основанный на системном совершенствовании планирования и организации строительных работ. Алгоритм включает оптимизационный поиск работ, ресурсы которых требуется увеличить, и такое перераспределение управленческих затрат, которое в будущем минимизировало бы задержки работ.

Ключевые слова: планирование, организация и оперативное управление, мониторинг задержки строительных работ, метод неопределенных ресурсных коэффициентов, энтропия актуального графика строительства.

Many construction projects in numerous countries of the world, Iraq including, are facing delays in implementation, which leads to negative consequences for the society and the economy of the country. Fundamentally, construction delays are associated with imperfect implementation of general management functions, including planning, organization, control and regulation. The main task of the control process is to compare the amount of planned work with the actual performance values. It is as a result of the control function that delays in the performance of work are determined. There has been developed an operational management algorithm aimed at reducing the untimeliness of work, based on the systemic improvement of planning and organization of construction work. The algorithm includes an optimization search for jobs the resources of which need to be increased, as well as such a redistribution of management costs that would minimize job delays in the future.

Keywords: planning, organization and operational management, construction delay monitoring, method of uncertain resource coefficients, entropy of the actual construction schedule.

Введение

Многие строительные проекты в мире и, в частности, в Ираке сталкиваются с задержками в реализации. Действительно, редко

можно найти проект, который не подвержен задержкам работ [1]. Много статей и исследований посвящено выявлению и анализу причин задержек. В Ираке очень небольшой про-

цент строительных проектов был завершен в течение контрактного периода, и особенно в последний период из-за обстоятельств, с которыми столкнулась страна [2]. В одном из исследований, посвященных анализу причин задержки строительства в Ираке, выявлено, что многие проекты страдают от значительной задержки, и из-за определенных факторов многие даже были временно или навсегда прекращены во время политического кризиса между 2003 и 2014 годами [3].

М. Т. Альмусави пришел к выводу, что причины задержек проектов в Ираке изменялись от одного проекта к другому, и нет ни одного способа, который бы универсально определял причины задержки [4].

Задержки строительства объектов и их комплексов происходят не только в Республике Ирак, но и в других странах, чему есть многочисленные подтверждения в научной литературе [2, 5]. Ввиду такой всеобщности приведенные факты задержек строительства можно интерпретировать как своего рода феномен, не привязанный к конкретной стране. Однако для развивающихся стран, к которым относится Республика Ирак, задержки существенно влияют на рост экономического потенциала страны [5, 6].

В своей принципиальной основе задержки строительства связаны с несовершенством реализации общих функций управления, которые по одной из классификаций включают в себя планирование, организацию, контроль и регулирование [7]. При этом необходимо отметить, что в каждом цикле управления общие функции управления выполняются последовательно, формируя цепь взаимосвязанных зависимостей. Например, от результатов реализации планирования как начальной функции управления зависит выполнение функции организации, согласно которой необходимо распределить трудовые ресурсы для производства строительных работ. Качество выполнения обеих функций в любой момент времени обеспе-

чивается контролем, организованным в виде соответствующего мониторинга. При этом типичным результатом функции контроля является сравнение запланированных объемов работ с их актуальными (фактическими) значениями [8, 9]. Именно в результате выполнения функции контроля определяются задержки в выполнении работ, влияющие на общую задержку строительства. В связи с этим важным условием контроля объемов выполненных работ является выбор единицы измерения объема работы. Для решения задачи, связанной с управлением своевременностью строительства, наиболее предпочтительным является определение фактических трудовых затрат. Однако на практике могут применяться и стоимостные показатели, что дополнительно порождает определенную погрешность измерения.

Таким образом, на наш взгляд, поставленная цель уменьшения задержки строительства является актуальной, а ее достижение должно базироваться на совершенствовании планирования, организации и оперативного управления. При этом все элементы общей системы управления должны быть сбалансированы на основе современных научных методов строительства.

Методы

Блок-схема предлагаемого решения поставленной задачи представлена на рис. 1.

Представленная блок-схема отражает управление своевременностью строительства на любом этапе оперативного управления, который обозначен буквой *l*. Планирование и организация строительства осуществляются до выполнения работ на каждом этапе, что представлено блоком 1. Далее, после фактического завершения рассматриваемого этапа *l* на основе проведения мониторинга устанавливаются параметры фактического графика строительства, что представлено блоком 2. В блоке 3 осуществляется сравнение плана и факта его выполнения, и если имеется полное соответствие плана и факта,

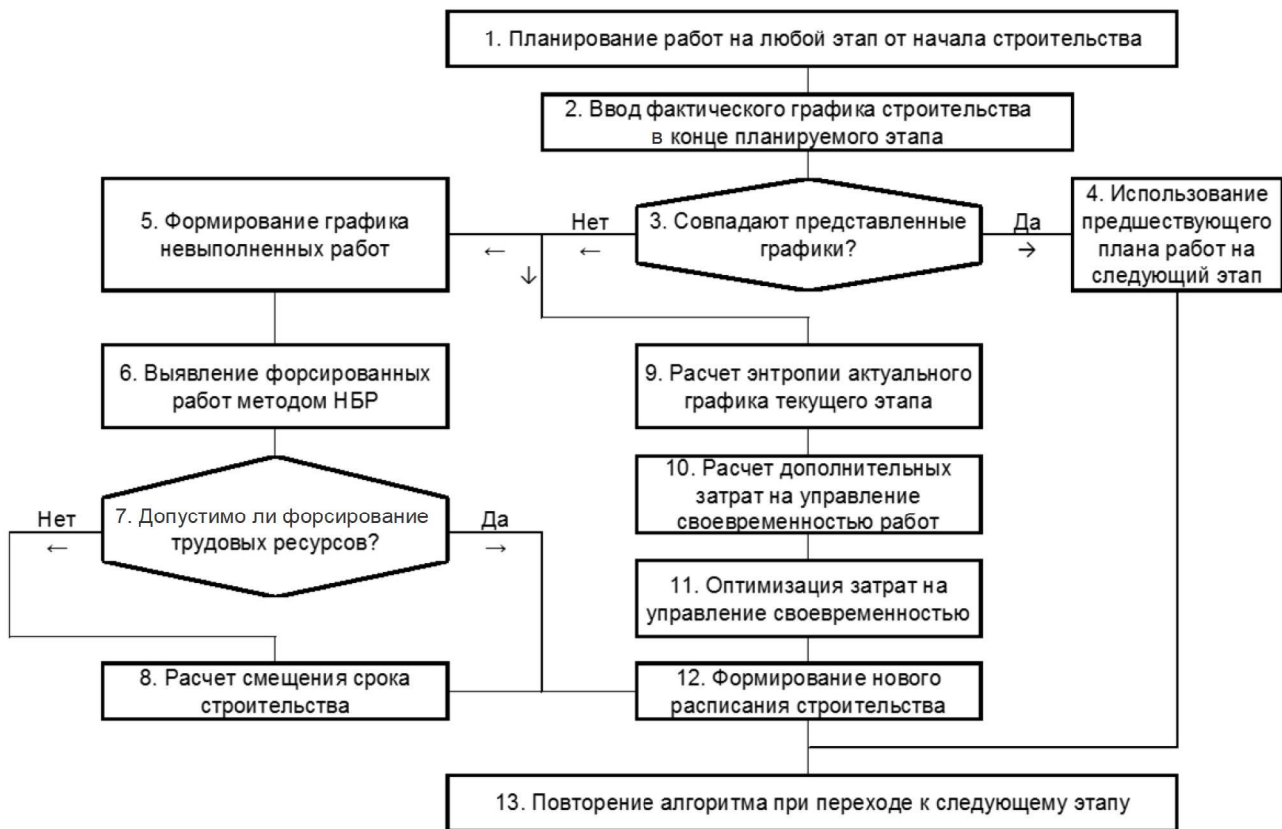


Рис. 1. Блок-схема решения задачи совершенствования планирования, организации и оперативного управления, уменьшающего задержки строительства

то тогда предыдущие планирование и организация строительства считаются удовлетворительными и не подлежат корректировке (см. блок 4), а алгоритм повторяется (см. блок 13) для следующего этапа.

Если полного совпадения графиков нет, то следом за блоком 3 параллельно выполняются две ветви. Первая ветвь включает в себя блоки 5, 6, 7 и 8, а вторая ветвь состоит из блоков 9, 10 и 11. Обе ветви заканчиваются формированием нового расписания строительства (см. блок 12), которое учитывает выявленные расхождения между планом и фактом реализации строительства на рассматриваемом этапе. В результате формируется новое расписание строительства, которое в свою очередь служит планом для следующего этапа, и поэтому через блок 13 осуществляется повторение описанных выше действий. Элементы совершенствова-

ния представленного алгоритма рассмотрены ниже, и они входят в блоки 5–8 и 9–11.

Сформированный в блоке 5 график невыполненных работ включает в себя и задержки выполнения предшествовавших работ. Эти задержки, как правило, приводят к тому, что выполнение оставшихся работ запланированными ранее ресурсами влечет несвоевременность окончания строительства. Следовательно, для оставшихся работ потребуются дополнительные трудовые ресурсы. Для выявления таких работ нами использовано усовершенствование метода неопределенных ресурсных коэффициентов, основы которого изложены в [10]. Предлагаемое совершенствование вошло в блок 6, и оно основано на поиске недопустимого базисного решения (НБР) для системы линейных уравнений, описывающих топологию календарного графика и ресурсно-

временные ограничения [11]. Модули отрицательных резервов времени уравнений показывают, на сколько нужно уменьшить продолжительности выявленных работ за счет увеличения соответствующего трудового ресурса. Данное мероприятие определено нами как ресурсное форсирование. В блоке 7 решается вопрос о допустимости форсирования каждого ресурса. Если все форсирования допустимы, то календарный график работ рассчитывается в блоке 12 с учетом новых ресурсов, и этот график должен уложиться в ранее запланированную продолжительность строительства. В противном случае в процессе формирования нового расписания работ в блоке 8 рассчитывается общая задержка строительства, которая за счет возможного увеличения трудовых ресурсов минимизируется. Рассмотренная ветвь алгоритма показывает, как на следующем этапе надо исправить задержку, возникшую на предыдущих этапах реализации строительства. Следует отметить, что при этом необходимо сопоставить стоимость увеличения ресурсов с ожидаемой суммой неустойки за задержку строительства перед принятием решения об увеличении ресурсов.

Другая параллельно выполняемая ветвь алгоритма включает в себя блоки 9–11 и она ориентирована на то, чтобы не допустить негативного отклонения от будущего плана работ. В научной статье [12] предложена методика расчета дополнительных затрат, связанных с регулированием своевременности выполнения работ. Эта методика основана на анализе планируемых и фактических сроков исполнения работ такой интегральной характеристикой состояния строительства, как приращение энтропии DS_p на этапе, ранее обозначенном литерой l . Используемая в этой работе формула расчета приращения энтропии исполнительного календарного графика работ представлена в блоке 9:

$$\Delta S_l = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^{plan} \ln \left(\frac{t_i^{act}}{t_i^{plan}} \right)}{\ln 2 \sum_{i=1}^n t_i^{plan}}, \text{ бит}, \quad (1)$$

где i — индекс промежуточной работы календарного графика; n — общее число работ календарного графика; t_i^{plan} — плановая продолжительность i -й работы; t_i^{act} — фактическая продолжительность i -й работы.

В следующем блоке 10 на основе расчета приращения энтропии определяется величина полезной активности управления строительством A_{act} . Данная величина по аналогии с применяемым в технике коэффициентом полезного действия (КПД) показывает долю полезной активности управления, которая определяет своевременность выполнения строительства. Если измеренная величина активности оказалась меньше 100 %, то необходимо увеличить активность управления до ее планового значения. Величина полезной активности управления строительством A_{act} определяется по формуле [12]:

$$A_{act} = 1 - \frac{S_{act}}{S_{pess}}. \quad (2)$$

При этом индекс увеличения затрат на управление будет определяться как обратная величина полезной активности управления, и определенную таким образом величину дополнительных затрат можно считать предельной. В общем случае сумма увеличения затрат на оперативное управление должна быть установлена административно. Однако поскольку затраты на управление распределены по отдельным статьям, то, следовательно, возникает потребность в решении соответствующей распределительной задачи, и эти дополнительные затраты следует перераспределить между статьями накладных расходов, от которых зависит управление своевременностью выполнения работ.

В блоке 11 для решения соответствующей проблемы качество управления будет повышено за счет выявления элементов накладных расходов, вызвавших задержку вы-

полненных работ, посредством ежедневных отчетов об исполнении проекта, которые приведут к повышению качества управления и, таким образом, снижению ожидаемой поддержки проекта.

В Ираке негативные факторы строительства фиксируются в ежедневном отчете, представляющем журнал, в котором перечислены события, произошедшие в течение рабочего дня на строительной площадке¹. Ежедневный отчет включает в себя самую подробную информацию и различные ежедневные данные планирования и производительности, записанные на объекте, а также типы работ, количество рабочих, используемое оборудование и материалы [13]. Стоимость оперативного управления определяется накладными расходами проекта. Некоторые компании оценивают накладные или косвенные расходы в процентах от прямых затрат [14], часто рассматриваемых как 10–15 % от общей стоимости проекта² [15–16]. Хатчингс и Кристоферсон (2001) указали, что влияние накладных расходов, ведущих к успеху проекта, составляет всего 1 % [17].

В России четко определен процент накладных расходов в строительстве в МДС 81-33.2004 «Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве». В других странах исследователи также проанализировали косвенные затраты в проекте и установили определенные проценты для каждого элемента косвенных затрат. Эти затраты оценивали с помощью подробного анализа контрактной деятельности, условий объекта, данных о производительности ресурсов и метода, конструкции, используемой для каждого вида деятельности [14, 16, 18].

Рассмотрим составляющие накладных расходов, действующие в Республике Ирак, связанные с повышением качества управления строительством: расходы на оплату труда линейного персонала; расходы на оплату консультационных и иных аналогичных услуг; затраты, связанные с подготовкой и переподготовкой кадров; расходы на охрану труда и технику безопасности; износ и расходы по ремонту инструментов и производственного инвентаря; расходы по проектированию производства работ; расходы на содержание производственных лабораторий; расходы по благоустройству и содержанию строительных площадок; создание площадки или временное строительство; расходы на защиту проекта и т. д.

Далее рассмотрим затраты, связанные с возможными штрафами. В соответствии с расчетом энтропийного показателя актуального графика строительства можно рассчитать прогноз его окончания [12]:

$$T^{for} = T^{plan} e^{(S^{act} \cdot \ln 2)}, \quad (3)$$

где T^{for} и T^{plan} — прогнозируемая и планируемая продолжительности строительства.

На основании данных расчета по прогнозу продолжительности завершения строительства можно рассчитать ожидаемый штраф за задержку ввода объекта в эксплуатацию по уравнению³

$$P = \frac{C}{T} (10 \dots 25) \%, \quad (4)$$

где P — штраф за один день; C — сумма контракта; T — срок контракта.

В следующем разделе будут рассмотрены примеры расчета новых расписаний работ и нового распределения по статьям накладных расходов, учитывающих управленческую активность.

Результаты

Как известно, организационно-технологическая схема строительства зависит от применяемого метода поточной организации

¹ URL: <https://www.projectmanager.com/blog/construction-daily-reports-logs>

² Письмо Госстроя от 27.11.2012 № 2536-ИП/12/ГС «О применении понижающих коэффициентов к нормативам накладных расходов и сметной прибыли в строительстве». URL: <https://legalacts.ru/doc/pismo-gosstroja-ot-27112012-n-2536-ip12gs-o/>

³ Instructions for the implementation of government contracts in Iraq No. 1. 2014. Chapter One, Article Nine, Paragraph 4.

строительства. Однако директивная продолжительность может отличаться от соответствующей ей расчетной продолжительности, так как она задается административно и определяется исходя из удовлетворения некоторых внешних обстоятельств. Если директивная продолжительность больше расчетной, то тогда может быть осуществлена минимизация трудовых ресурсов. Но если директивная продолжительность оказалась меньше расчетной, то необходимо увеличивать трудовые ресурсы, как это продемонстрировано в статье [11]. При оперативном управлении строительством в случае возникновения задержек выполняемых работ директивный срок окончания строительства не может быть достигнут без увеличения трудовых ресурсов. Поэтому, как показано в работе [11], для невыполненных работ формируется система линейных уравнений и находится недопустимое базисное решение, указывающее на трудовые ресурсы, которые нужно увеличить, чтобы достигнуть директивного срока окончания строительства. Рассмотрим пример, связанный с одним из строительных проектов, реализованных в Республике Ирак. Стоимость проекта 6,3 млн долларов США, проект состоит из трех трехэтажных корпусов общей площадью 3400 кв. м. Показан процесс увеличения ресурсов для устранения задержки продолжительности проекта, аналогичный тому, что был описан в статье [11]. На рис. 2 показано соответствующее расписание работ.

Мониторинг осуществлен через шесть недель после начала строительства, в результате установлено, что подготовительные работы в здании 1 выполнены на 100 %, а остальные на 0 %. На рис. 3 показано расписание проекта через шесть недель после начала работ.

Используя директивную продолжительность, равную 97 недель, составлена система уравнений, описывающих организационно-технологическую схему (ОТС), показанную на рис. 3:

- 1) $b_1 + 10a_1 + r_1 + e_1 = 87$;
- 2) $b_2 + 32a_2 + r_2 + r_3 + e_2 = 65$;
- 3) $b_3 + 70a_3 + r_4 + r_5 + e_3 = 27$;
- 4) $b_4 + 51a_4 + r_6 + r_7 + e_4 = 46$;
- 5) $b_1 + 4a_1 + 22a_2 + f_1 + r_3 + e_2 = 71$;
- 6) $b_1 + 10a_1 + 12a_2 + f_2 + r_1 + e_2 = 75$;
- 7) $b_2 + 10a_2 + 70a_3 + f_3 + r_4 + r_5 + e_3 = 17$;
- 8) $b_2 + 20a_2 + 48a_3 + f_4 + r_2 + r_5 + e_3 = 29$;
- 9) $b_2 + 32a_2 + 26a_3 + f_5 + r_2 + r_3 + e_3 = 39$;
- 10) $b_3 + 22a_3 + 51a_4 + f_6 + r_6 + r_7 + e_4 = 24$;
- 11) $b_3 + 44a_3 + 35a_4 + f_7 + r_4 + r_7 + e_4 = 18$;
- 12) $b_3 + 70a_3 + 19a_4 + f_8 + r_4 + r_5 + e_4 = 8$. (5)

Как показано на рис. 3, каждая переменная, входящая в систему (5), идентифицирована с определенной связью. В программе MS Project реализован метод неопределенных ресурсных коэффициентов в форме способа получения недопустимого базисного решения. Анализ решения показал, что одна базисная переменная имеет отрицательное значение, она входит в следующее уравнение:

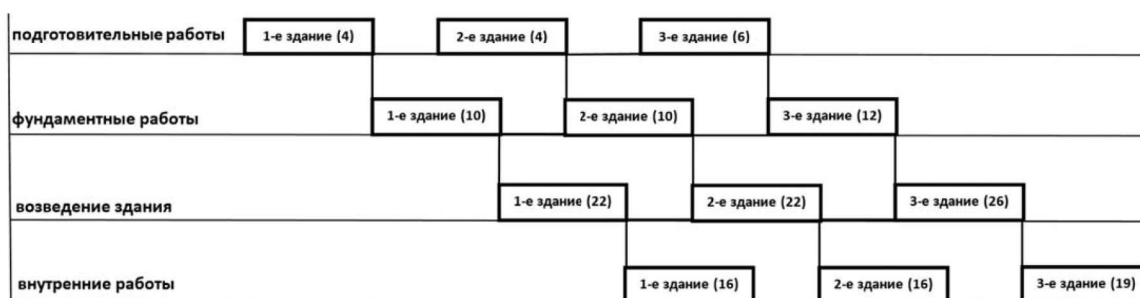


Рис. 2. Расписание поточного строительства трех зданий (в скобках указана продолжительность фронтов в неделях)

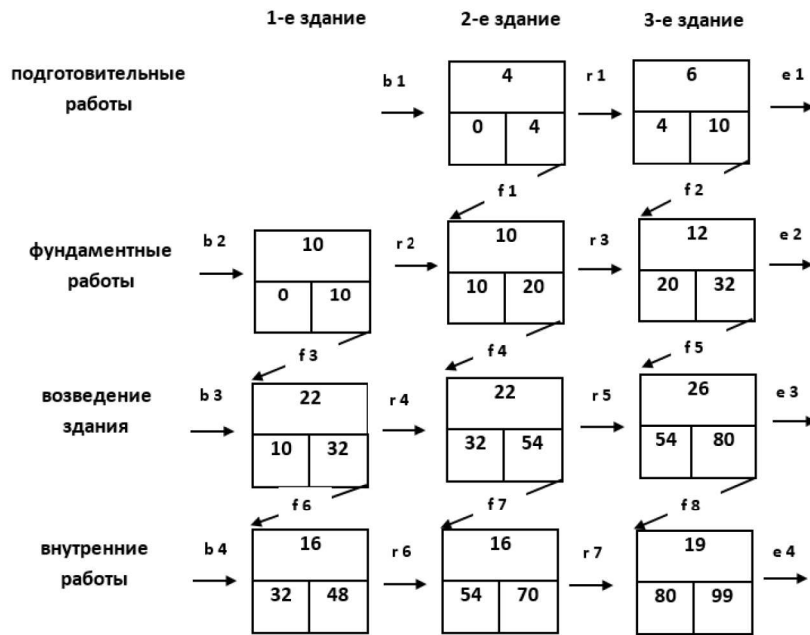


Рис. 3. Расписание проекта через шесть недель после начала работ

$$b_2 + 10a_2 + 70a_3 + 19a_4 + f_3 + f_8 + r_4 + r_5 + e_4 = -2. \quad (6)$$

Отрицательное значение связи (-2) указывает на необходимость корректировки расписания работ и на то, что окончание внутренних работ, выполняемых на 3-м здании, запаздывает на две недели. Для нейтрализации выявленного запаздывания можно соответствующим образом воздействовать на переменные, входящие в уравнение.

Возможные варианты действий лица, принимающего решение (ЛПР), описаны в статье [11].

Если ЛПР решит сократить задержку, максимально увеличив ресурсы, можно использовать методику расчета увеличения числа максимальных ресурсов:

$$a_i = \left(\frac{R_{i\max}}{R_i} - 1 \right) = -d, \quad (7)$$

где a_i — неопределенный ресурсный коэффициент; $R_{i\max}$ — максимальное значение ресурса; d — значение задержки.

Если в уравнении (6) свободную переменную, равную $19a_4$, приравнять к задержке, то получим

$$19a_4 = 19 \left(\frac{R_{4\max}}{R_4} - 1 \right) = -2.$$

При решении уравнения относительно $R_{4\max}/R_4$ получено значение, при котором задержка будет скомпенсирована увеличением ресурса, и для ресурса, используемого на 4-м виде работ, это значение будет равно 1,12. Следовательно, для компенсации задержки в две недели требуется увеличить максимальное число ресурсов в 1,12 раза. Далее необходимо рассчитать возможное увеличение других ресурсов аналогичным образом. Например, для второго ресурса увеличение составит 25 %, а для третьего — 3 %. Таким образом, рассчитанный массив возможных увеличений ресурсов позволяет выбирать оптимальное регулирующее воздействие, направленное на нейтрализацию задержки.

На основе стандартного руководства по анализу цен в строительном секторе в Ираке⁴, для четвертого ресурса увеличение в 1,12 раза соответствует увеличению стоимости на 28,8 тыс. долл. Стоимость второго ресурса равна 31 тыс. долл., а третьего —

⁴ "1. ج راعمالا ليلحتل سايقل ليللدل" The standard guide for price analysis for the building and construction sector, part one (civil works), Iraq, 2014.

28 тыс. долл. После этого рассчитывается сумма пеней за двухнедельную задержку.

Согласно уравнению (4), сумма штрафов за задержку равна 30 576 долл. Таким образом, увеличение третьего и четвертого ресурса меньше, чем сумма пеней за задержку. Поэтому для уменьшения задержки следует увеличить количество третьего или четвертого ресурса, после чего обновить план строительства. Одно из этих решений будет выбрано на основе мнения ЛПР.

Далее рассмотрим другой столбец алгоритма блок-схемы (9–11), а именно расчет управленческой активности, основанный на данных оптимистического, пессимистического и фактического расписания работ. При этом в качестве оптимистического расписания работ принимаем соответствующее плановое расписание, строгое выполнение которого не дает прироста энтропии. Пессимистическим будем считать такое расписание, которое дает максимальный прирост энтропии. При корректном формировании оптимистического и пессимистического расписаний работ энтропия фактического расписания должна находиться в диапазоне ранее рассчитанных приращений энтропий. Для демонстрации результатов расчета используем данные продолжительности строительных работ на момент процесса мониторинга (таблица). На основании этого расчета можно получить энтропию фактической и пессимистичной работы.

Как указывалось выше, исходная энтропия планируемого расписания равна нулю. Фактическая рабочая энтропия через шесть недель после начала работы равна 0,585 бит, а энтропия работы по пессимистическому

прогнозу для этого же момента времени — 1,32 бит.

Для выполнения планируемой организации строительства требуется такое управление, начальную активность которого примем за единицу ($A_{plan} = 1$). При пессимистическом сценарии выполнения работ полезная активность управления будет нулевой ($A_{pess} = 0$). Если строительство идет согласно плану, то выполняются следующие условия: $S_{plan} = 0$, $A_{plan} = 1$. При пессимистическом варианте $A_{pess} = 0$, $S_{pess} = 1,32$ бит. После проведения мониторинга расчет энтропии фактически выполненных работ показал, что $S_{act} = 0,585$ бит. Тогда способом интерполяции можно вычислить фактическую активность состоявшегося процесса управления строительством по формуле (2):

$$A_{act} = 1 - \frac{0,585}{1,32} = 0,56.$$

В данном примере полезная активность управления получилась равной всего лишь 56 %. Значение, обратное этой величине, равно 1,78 и показывает, во сколько раз нужно увеличить затраты на управление во избежание задержек работ в будущем.

Далее определим элементы, которые привели к задержке, используя данные, записанные в ежедневном журнале активности. После обращения к данным, зафиксированным в протоколе проекта, было установлено, что причиной задержки стало отставание готовности устройства площадки и временных построек для рабочих, то есть низкая эффективность в организации работы временных построек. Эта причина указана в Приложении 9, третья часть элементов накладных затрат (расходы на организацию работ на стро-

Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга

Мониторинг через 6 недель			Мониторинг через 10 недель			Мониторинг через 20 недель		
План.	Факт.	Песс.	План.	Факт.	Песс.	План.	Факт.	Песс.
4	6	10	6	10	14	10	20	23

ительных площадках) в МДС 81-33-2004. Далее процент корректируется до общего процента проекта, учитывая, что процент прямых накладных расходов составляет 15 % от общей стоимости проекта⁵. Следовательно, для улучшения управления требуется улучшить эти элементы в 1,78 раза, таким образом, будет добавлена сумма в размере 17 100 долл.

Затем, исходя из уравнения (3), ожидаемый срок завершения проекта рассчитывается без учета мероприятий по повышению качества управления:

$$T^{for} = 103 \times e^{(0,585 \ln 2)} = 116,6 \text{ нед.}$$

Установлено, что ожидаемый срок окончания проекта, исходя из индекса энтропии, составляет 116,6 недели; это больше, чем запланированное время проекта, на 13,6 недели. Исходя из ожидаемой задержки в продолжительности проекта по уравнению (4) рассчитываются ожидаемые штрафы за за-

держку, которые равны 207 480 долл. Следовательно, штрафы больше, чем стоимость улучшения управления. Таким образом, вариант улучшения управления является наиболее подходящим для ЛПР.

Повторный мониторинг проводился через 10 недель после начала строительства. В результате было установлено, что подготовительные работы в здании 1 выполнены на 100 %, в здании 2 — на 50 %, фундаментные работы в здании 1 — на 20 %, остальные — 0 %. На рис. 4 показано расписание проекта через 10 недель после начала работ.

Обратимся к столбцу (5–7) алгоритма, используя директивную продолжительность (93 нед.). Была сформирована система уравнений, описывающих организационно-технологическую схему (ОТС), отраженную на рис. 4:

- 1) $b_1 + 8a_1 + r_1 + e_1 = 85$;
- 2) $b_2 + 32a_2 + r_2 + r_3 + e_2 = 61$;
- 3) $b_3 + 70a_3 + r_4 + r_5 + e_3 = 23$;
- 4) $b_4 + 51a_4 + r_6 + r_7 + e_4 = 42$;
- 5) $b_1 + 2a_1 + 22a_2 + f_1 + r_3 + e_2 = 69$;

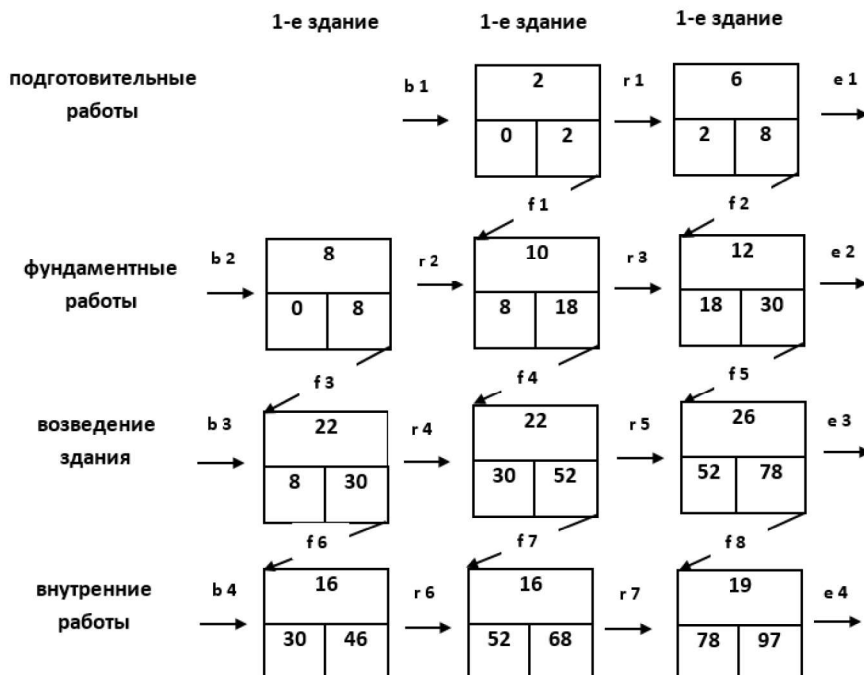


Рис. 4. Расписание проекта через 10 недель после начала работ

⁵ Письмо Госстроя от 27.11.2012 № 2536-ИП/12/ГС «О применении понижающих коэффициентов к нормативам накладных расходов и сметной прибыли в строительстве». URL: <https://legalacts.ru/doc/pismo-gosstroja-ot-27112012-n-2536-ip12gs-o/>

- 6) $b_1 + 8a_1 + 12a_2 + f_2 + r_1 + e_2 = 73$;
 7) $b_2 + 8a_2 + 70a_3 + f_3 + r_4 + r_5 + e_3 = 15$;
 8) $b_2 + 18a_2 + 48a_3 + f_4 + r_2 + r_5 + e_3 = 27$;
 9) $b_2 + 30a_2 + 26a_3 + f_5 + r_2 + r_3 + e_3 = 37$;
 10) $b_3 + 22a_3 + 51a_4 + f_6 + r_6 + r_7 + e_4 = 20$;
 11) $b_3 + 44a_3 + 35a_4 + f_7 + r_4 + r_7 + e_4 = 14$;
 12) $b_3 + 70a_3 + 19a_4 + f_8 + r_4 + r_5 + e_4 = 4$. (8)

Как показано на рис. 4, каждая переменная, входящая в систему (8), идентифицирована с определенной связью. В программе MS Project реализован метод неопределенных ресурсных коэффициентов. Анализ решения показал, что одна базисная переменная имеет отрицательное значение, входит в следующее уравнение:

$$b_2 + 8a_2 + 70a_3 + 19a_4 + f_3 + f_8 + r_4 + r_5 + e_4 = -4. \quad (9)$$

Отрицательное значение связи (-4) указывает на необходимость корректировки расписания работ и указывает на то, что окончание внутренних работ, выполняемых на 3-м здании, запаздывает на четыре недели. Для нейтрализации выявленного запаздывания можно соответствующим образом воздействовать на переменные, входящие в уравнение.

Возможные варианты действий лица, принимающего решение (ЛПР), описаны в статье [11]. Если ЛПР решит сократить задержку, максимально увеличив ресурсы, следует рассмотреть методику расчета по увеличению числа максимальных ресурсов. Результаты расчета по уравнению (7) показывают, что для компенсации задержки в четыре недели требуется увеличение ресурсов второго ресурса в два раза, на 6 % — для третьего, на 26 % — для четвертого. На основе стандартного руководства по анализу цен в строительном секторе в Ираке⁶ для второго ресурса увеличение в два раза соответствует увеличению стоимости на 126 тыс. долл., для третьего — 57,6 тыс. долл., а для четвертого — 62,4 тыс. долл. После этого рас-

считывается сумма пеней за задержку в четыре недели. Согласно уравнению (4), сумма штрафов за задержку равна 61 152 долл. Таким образом, увеличение третьего ресурса стоит меньше, чем сумма пеней за срок задержки. Поэтому для уменьшения задержки следует увеличить третий ресурс, после чего план строительства будет обновлен. Одно из этих решений будет выбрано на основе мнения ЛПР.

Рассмотрим столбец алгоритма (9–11), используя данные о продолжительности строительных работ на момент мониторинга через 10 недель, показанные в таблице. Фактическая энтропия работы после 10 недель с начала работы равна 0,736 бит, энтропия работы пессимистической продолжительности для той же точки 1,222 бит.

Далее с помощью применения интерполяционного метода можно рассчитать фактическую активность свершившегося процесса управления строительством по уравнению (2): $A_{act} = 0,40$, то есть полезная активность управления составила всего лишь 40 %. Значение, обратное этой величине, равно 2,5 и показывает, во сколько раз нужно увеличить затраты на управление, чтобы в дальнейшем не допускать задержек работ.

Далее определяем элементы, которые привели к задержке, с помощью данных из ежедневного журнала активности и улучшаем их. На основании этих данных установлено, что причина задержки была связана с двумя факторами: неспособность компании финансировать бизнес и отсутствие инженерной консультации. Возникало большое количество инженерных затруднений, которые требовали вмешательства консультантов для их решения, в операциях по замене грунта, предшествующих процессу строительства фундамента. Эти причины представлены в Приложении 9 в части 4 (Прочие накладные расходы) и в части 1 (Административно-хозяйственные расходы) МДС 81-33-2004. Следовательно, для улучшения управления

⁶ "1. ج راعمال ال ليلحتل لسايقوال ليلدل" The standard guide for price analysis for the building and construction sector, part one (civil works), Iraq, 2014.

требуется улучшить эти элементы на 250 %, соответственно сумма увеличивается на 40 115 долл. Затем, исходя из уравнения (3), ожидаемый срок завершения проекта рассчитывается без учета мероприятий по повышению качества управления, чтобы рассчитать ожидаемый срок задержки. Можно заключить, что ожидаемое время завершения проекта, основанное на индексе энтропии, составляет $T^{for} = 142,1$ недели, что на 39,1 недели больше расчетной продолжительности проекта. В сравнении с запланированным периодом реализации проекта это большое расхождение. Если не улучшить управление и не избежать ожидаемой задержки, размер штрафов составит более 10 % от суммы контракта. Таким образом, это приведет к изъятию контракта на работы у компании-исполнителя⁷.

Далее, исходя из ожидаемой задержки в продолжительности проекта, мы рассчитываем ожидаемые штрафы за задержку в уравнении (4), стоимость штрафов за задержку составляет 598 372 долл., что является гораздо большей величиной, чем стоимость улучшения управления. Следовательно, оптимальным вариантом будет улучшение управления.

Для расчета потенциальных ожиданий проекта проводился мониторинг спустя 20 недель после начала работы над проектом. В результате наблюдалась десятидневная задержка в проекте. Значение фактической рабочей энтропии стало очень высоким и равнялось 1 биту. Стоимость улучшения качества управления удвоилась до 6,25 раза, что эквивалентно 140 403 долл. и является высокой стоимостью. Основной причиной задержки работ стала неспособность компании финансировать строительные работы и отсутствие инженерной консультации. Процесс увеличения ресурсов стал дороже, чем штрафы за задержку, и, наконец, расчет-

ное время завершения проекта переросло в 193 недели, т. е. на 90 недель больше, чем продолжительность проекта. На основании этих результатов ход работ по объекту по данному тарифу приведет к штрафам за задержку, превышающим 10 % от суммы контракта, и, таким образом, работа будет отозвана⁸. В конечном итоге более половины проекта завершено, но компания все еще находится на этапе фундаментных работ из-за финансовой неспособности и отсутствия своевременных консультаций во избежание рисков задержки, так как было много проблем в работах по замене грунта и отсутствовала специализированная консультативная группа. Эта проблема была решена после того, как компания заключила договор с офисом консультантов, а курирующее учреждение сформировало команду для ускорения бизнеса за счет компании-исполнителя. Однако все эти попытки не спасли компанию из-за больших накопившихся задержек. После того как сумма штрафа за задержку превысила 10 % от стоимости контракта, работа у компании была отозвана.

Заключение. Поскольку задержки строительства в Республике Ирак существенно влияют на рост экономического потенциала страны, разработан алгоритм оперативного управления, направленный на уменьшение несвоевременности работ, основанный на системном совершенствовании планирования и организации строительных работ. Он включает оптимизационный поиск работ, ресурсы которых требуется увеличить, и такое оптимизационное перераспределение управленческих затрат, которое в будущем минимизировало бы задержки работ.

Библиографический список

1. Al Hadithi B. I. An investigation into factors causing delays in highway construction projects in Iraq // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 162. 02035.

⁷ Instructions for the implementation of government contracts in Iraq No. 1. 2014. Chapter One, Article Nine, Paragraph 4.

⁸ Там же.

2. Mohammed S. R., Jasim A. J. Study and analysis of the delay problems in Iraqi construction projects // *Int. J. Sci. Res.* 2017. Vol. 6. No. 5. Pp. 2331–2336.

3. Khaleel T. A., Hadi I. Z. Controlling of time-overrun in construction projects in Iraq // *Eng. Technol. J.* 2017. Vol. 35. Part A, No. 2. Pp. 111–117.

4. Almusawi M. T., Erzaij K. R. Retrospective Delay Analysis in Construction Projects of Iraq // *ARN J. Eng. Appl. Sci.* 2019. Vol. 14. No. 10. Pp. 2003–2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/341882870_RETROSPECTIVE_DELAY_ANALYSIS_IN_CONSTRUCTION_PROJECTS_OF_IRQ.

5. Islam M. S., Trigunarsyah B. Construction delays in developing countries: a review // *J. Constr. Eng. Proj. Manag.* 2017. Vol. 7. No. 1. Pp. 1–12.

6. Tafazzoli M., Shrestha P. P. Investigating Causes of Delay in US Construction Projects // *53rd ASC Annual International Conference Proceedings*. 2017. Pp. 611–621.

7. Khoiry M. A., Kalaisilven S., Abdullah A. A Review of Minimizing Delay in Construction Industries // *E3S Web Conf.* 2018. April. Vol. 65 (2). 03004. Doi: 10.1051/e3sconf/20186503004.

8. Memon Z. A., Zaimi M., Majid A., Mustaffar M. A Systematic Approach for Monitoring and Evaluating the Construction Project Progress // *Journal The Inst. Eng.* 2006. Vol. 67. No. 3. Pp. 26–32.

9. Callistus T., Clinton A. The role of monitoring and evaluation in construction project management // *Adv. Intell. Syst. Comput.* 2019. November. Vol. 722. Pp. 571–582. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8_89.

10. Болотин С. А. Календарное планирование СМР методом неопределенных ресурсных коэффициентов // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1989. № 9. С. 75–80.

11. Болотин С. А., Бохан Х. А. Нейтрализация задержек работ на основе анализа графиков строительства, сформированных методом неопределенных ресурсных коэффициентов // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 1 (90). С. 48–54. Doi: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-48-54.

12. Болотин С. А., Биче-оол Х. В., Бохан Х. А., Хурейни Н. К. Р. Прикладные аспекты энтропийного показателя оценки актуального графика строительства // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 4 (93). С. 65–72. Doi: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-65-72.

13. Shin Y., Kim D., Kim T.-Y., Kim G.-H. Daily reporting system using digital pen at construction site // *J. Korea Inst. Build. Constr.* 2016. Vol. 16. No. 2. Pp. 177–183.

14. Patre A. D., Ugale A. B. Indirect Cost in Construction Project // *Aegaeum J.* 2020. Vol. 8. No. 5. 925. URL: <http://aegaeum.com/>.

15. Assaf S. A., Bubshait A. A., Atiyah S., Al-Shahri M. Project overhead costs in Saudi Arabia // *Cost Eng.* 1999. Vol. 41. No. 4. P. 33.

16. Enshassi A., Rashid Abdul Aziz A., Karriri A. Investigating the overhead costs in construction projects in Palestine // *J. Financ. Manag. Prop. Constr.* 2008. Vol. 13. No. 1. Pp. 35–47. Doi: 10.1108/13664380810882066.

17. Hutchings M., Christofferson J. Factors leading to construction company success: perceptions of small-volume residential contractors // *ASC Proceedings of the 37th Annual Conference*, 2001. Pp. 263–270.

18. Janani R., Rangarajan P. T., Yazhini S. A Systematic Study on Site Overhead Costs in Construction Industry // *Int. J. Res. Eng. Technol.* 2015. Vol. 04. No. 10. Pp. 149–151. Doi: 10.15623/ijret.2015.0410026.

References

1. Al Hadithi B. I. An investigation into factors causing delays in highway construction projects in Iraq. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 162, 02035.

2. Mohammed S. R., Jasim A. J. Study and analysis of the delay problems in Iraqi construction projects. *Int. J. Sci. Res.*, 2017, vol. 6, no. 5, pp. 2331–2336.

3. Khaleel T. A., Hadi I. Z. Controlling of time-overrun in construction projects in Iraq. *Eng. Technol. J.*, 2017, vol. 35, pt A, no. 2, pp. 111–117.

4. Almusawi M. T., Erzaij K. R. Retrospective Delay Analysis in Construction Projects of Iraq. *ARN J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, vol. 14, no. 10, pp. 2003–2019. Available at: https://www.researchgate.net/publication/341882870_RETROSPECTIVE_DELAY_ANALYSIS_IN_CONSTRUCTION_PROJECTS_OF_IRQ.

5. Islam M. S., Trigunarsyah B. Construction delays in developing countries: a review. *J. Constr. Eng. Proj. Manag.*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 1–12.

6. Tafazzoli M., Shrestha P. P. Investigating Causes of Delay in US Construction Projects. *Proceedings of the 53-rd ASC Annual International Conference*, 2017, pp. 611–621.

7. Khoiry M. A., Kalaisilven S., Abdullah A. A Review of Minimizing Delay in Construction Industries. *E3S Web Conf.*, 2018, April, vol. 65 (2), 03004. Doi: 10.1051/e3sconf/20186503004.

8. Memon Z. A., Zaimi M., Majid A., Mustaffar M. A Systematic Approach for Monitoring and Evaluating the Construction Project Progress. *Journal Inst. Eng.*, 2006, vol. 67, no. 3, pp. 26–32.

9. Callistus T., Clinton A. The role of monitoring and evaluation in construction project management. *Adv. Intell. Syst. Comput.*, 2019, November, vol. 722, pp. 571–582. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8_89.

10. Bolotin S. A. *Kalendarnoe planirovanie SMR metodom neopredelennykh resursnykh koefficientov* [Scheduling of construction and assembly jobs by the

method of uncertain resource coefficients]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura – Bulletin of Higher Educational Establishments. Construction and Architecture*, 1989, no. 9, pp. 75–80.

11. Bolotin S. A., Bohan H. A. *Nejtralizaciya zaderzhek rabotna osnovye analiza grafikov stroitel'stva, sformirovannyh metodom neopredelennyh resursnyh koeffitsientov* [Neutralization of work delays based on the analysis of construction schedules formed by the method of uncertain resource coefficients]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 1 (90), pp. 48–54. Doi: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-48-54.

12. Bolotin S. A., Biche-ool H. V., Bohan H. A., Hurejni N. K. R. *Prikladnye aspekty entropijnogo pokazatelya ocenki aktual'nogo grafika stroitel'stva* [Applied aspects of the entropic indicator for estimating the actual construction schedule]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 4 (93), pp. 65–72. Doi: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-65-72.

13. Shin Y., Kim D., Kim T.-Y., Kim G.-H. Daily reporting system using digital pen at construction site. *J. Korea Inst. Build. Constr.*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 177–183.

14. Patre A. D., Ugale A. B. Indirect Cost in Construction Project. *Aegaeum J.*, 2020, vol. 8, no. 5, 925. Available at: <http://aegaeum.com/>.

15. Assaf S. A., Bubshait A. A., Atiyah S., Al-Shahri M. Project overhead costs in Saudi Arabia. *Cost Eng.*, 1999, vol. 41, no. 4, p. 33.

16. Enshassi A., Rashid Abdul Aziz A., Karriri A. Investigating the overhead costs in construction projects in Palestine. *J. Financ. Manag. Prop. Constr.*, 2008, vol. 13, no. 1, pp. 35–47. Doi: 10.1108/13664380810882066.

17. Hutchings M., Christofferson J. Factors leading to construction company success: perceptions of small-volume residential contractors. *ASC Proceedings of the 37th Annual Conference*, 2001, pp. 263–270.

18. Janani R., Rangarajan P. T., Yazhini S. A. Systematic Study on Site Overhead Costs in Construction Industry. *Int. J. Res. Eng. Technol.*, 2015, vol. 04, no. 10, pp. 149–151. Doi: 10.15623/ijret.2015.0410026.