

УСТОЙЧИВОСТЬ МОДЕЛИ АДАПТИРОВАННОГО МЕТОДА КРИТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ К ИЗМЕНЕНИЮ СОСТАВА КОМПЛЕКСА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Котовская М.А.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4), e-mail: mkotovskaya@gmail.com

Для проверки устойчивости модели адаптированного метода критической цепи к изменению состава комплекса объектов строительства проведен статистический вычислительный эксперимент. Проанализированы исходящие данные, которые показали, что выбор метода поточной организации работ принципиального значения не имеет и может подбираться в соответствии с классическим подходом оценки его эффективности. Кроме того, установлено, что разработанная модель устойчива к изменению состава комплекса объектов, т.е. дает сопоставимые результаты при любом сочетании зданий. Наибольшие значения вероятности дает итерация с полной буферизацией согласно подходу Э. Голдратта, т.е. с двукратным уменьшением продолжительностей до оптимистических, что нереализуемо в условиях поточного строительства, где существуют ограничения, обусловленные технологией проведения работ. Таким образом, при календарном планировании поточного возведения комплекса объектов для повышения точности календарных планов следует использовать адаптированный метод критической цепи, предусматривающий учет ограничений, которые накладывает технология строительства.

Ключевые слова: метод критической цепи, поточная организация строительства, комплексное строительство

STABILITY OF THE ADAPTED CRITICAL CHAIN METHOD TO CHANGE OF THE COMPLEX COMPOSITION OF CONSTRUCTION PROJECTS

Kotovskaya M.A.¹

¹Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia (190005, Saint-Petersburg, 2-nd Krasnoarmeiskaya St., 4), e-mail: mkotovskaya@gmail.com

For check of stability of the adapted critical chain method to change of the complex composition of construction projects statistical computing experiment is made. Outgoing data are analyzed. Analysis showed that the choice of production line method of work organization doesn't have any importance and can be selected according to classical approach of an assessment of its efficiency. Besides it is established that the developed model is steady against change of the complex composition of construction projects, i.e. yields comparable results at any combination of buildings. Iteration with full buffering according to E. Goldratt's approach, i.e. with double reduction of durations to optimistic gives the greatest values of probability that is unrealizable in the conditions of production line construction where there are restrictions caused by technology of work. Thus, when scheduling line construction of a complex of objects for increase of accuracy of planned schedules it is necessary to use the adapted method of a critical chain providing the accounting of restrictions which are imposed by technology of construction.

Keywords: Critical Chain Method, Production Line Method of Work Organization, complex construction

В настоящее время в России достаточно широкие масштабы приобрели проекты комплексного развития территорий, предусматривающие одновременное возведение нескольких объектов. Наиболее эффективной при этом считается поточная организация работ, которая позволяет завершать проекты в более сжатые сроки при оптимальном распределении капитальных вложений во времени. В сложившихся условиях проявляется тенденция к более строгому отслеживанию и контролю сроков выполнения строительных работ, что стимулирует появление и развитие новых методик календарного планирования. Так, все большую популярность получает альтернативный методу критического пути метод

критической цепи. Однако применение каждого отдельного подхода планирования к определенной области хозяйствования требует адаптации с учетом имеющейся специфики отрасли.

Целью данного исследования является установление устойчивости модели адаптированного метода критической цепи к изменению состава комплекса объектов строительства.

Работа проведена в развитие ранее опубликованного труда [3], основанного на идеях Э. Голдратта, Л. Лича, У. Детмера относительно календарного планирования проектов. Исследование включает в себя комплекс вычислительных статистических экспериментов и дальнейший системный анализ полученных результатов.

Авторами статьи [3] предложен вариант адаптации метода критической цепи к реализации строительства комплекса объектов, при возведении которых используется поточная организация работ. При этом в рамках исследования рассмотрена группа из четырех монолитных жилых зданий разной этажности. Освоение укрупненных фронтов идет в очередности «фундамент → коробка → отделка». В обозначенной статье приведена только одна реализация модели при организации потоков методом МКР.

Для проверки устойчивости модели адаптированного метода критической цепи эксперимент, рассмотренный и описанный в статье [3], следует провести с другими возможными вариантами жилых комплексов, которые формируются на основании данных СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений». Этот документ по своей сути является базой обработанной статистической информации о продолжительности строительства зданий с различными архитектурно-строительными и конструктивными решениями, а также различного назначения. Данные для формирования СНиПа собирались на территории СССР и обрабатывалась специальными проектными организациями, широкий перечень которых представлен в вводной части документа, в течение нескольких десятилетий.

На настоящий момент СНиП 1.04.03-85* по данным электронной справочной системы «Техэксперт: Нормы, правила, стандарты и законодательство России» [7] является действующим и применяется проектными организациями при разработке раздела №6 проектной документации «Проект организации строительства». СНиП не включен в перечень национальных стандартов и сводов правил, применяемых в обязательном порядке, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. №1047-р [6], а также в его новую редакцию, введенную в действие постановлением Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 г. №1521 [5], что означает его рекомендательный характер. Но данные нормы продолжительности специалистами

признаны актуальными и могут быть использованы в качестве основы для проведения вычислительного эксперимента.

Данные из раздела «3. Непроизводственное строительство» подраздела «1*. Жилые здания» позволяют сгенерировать большое количество различных комплексов зданий. Этот фрагмент СНиПа 1.04.03-85* включает в себя 230 конфигураций жилых домов. Из них, согласно п.5 Общих указаний к подразделу, 74 нормы продолжительности рассчитаны для строительства зданий в сельских населенных пунктах (здания до четырех этажей), что делает возможным их исключение из формируемой генеральной совокупности.

Кроме того, 70 норм продолжительности относятся к тем типам домов, возведение которых в советское время считалось перспективным и активно реализовывалось, однако в современный период практически не ведется. К ним относятся крупноблочные, каркасно-панельные и объемно-блочные здания.

12 позиций норм разработаны для помещений, используемых для общественных или технических нужд и приспособляемых в интересах гражданской обороны.

Таким образом, для целей эксперимента пригодны 74 нормы продолжительности. Жилой комплекс при этом может включать в себя 2 и более различных здания. Выборка элементов при этом будет неупорядоченной. Количество возможных вариантов можно рассчитать по формуле (1):

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (1)$$

где

C – количество сочетаний без повторений;

n – общее количество элементов выборки;

k – количество объектов в комплексе.[4]

Используя формулу (1), получаем, что генеральная совокупность комплексов, состоящих из двух зданий, случайно выбранных из 74 позиций СНиПа, включает в себя 2 701 вариант. Если в комплекс входит 3 здания, то количество вариантов увеличивается до 64 824, а при 4 зданиях – до 1 150 626. Вычислительная трудоемкость задачи будет увеличиваться экспоненциально по мере увеличения числа объектов в очереди. Поэтому, аналогично случаю, рассмотренному в статье [2], она будет относиться к категории *NP*-трудных.

Объем генеральной совокупности не позволяет произвести полный перебор вариантов в рамках эксперимента по установлению устойчивости модели к различным комбинациям объектов, поэтому было рассмотрено 9 комплексов, сформированных случайным образом. Выборка представлена в таблице 1.

Таблица 1

Варианты комплексов зданий, сформированных на основании данных из СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений»

№ п\п	Комбинация зданий	Суммарная площадь комплекса, кв.м	Наиболее вероятная продолжительность строительства, нед.
1	М-12; М-16; М-16; М-20	58 000	160
2	М-12; М-16; М-16; М-20; М-25	76 000	212
3	М-16; М-12; М-20; М-16; М-5	59 500	172
4	К-5; К-9; К-10; К-12; К-14	51 000	158
5	К-12; К-5; К-9; К-14; К-10	51 000	162
6	П-5; П-9; П-10; П-16; П-10	47 500	86
7	П-16; П-5; П-10; П-10; П-9	47 500	88
8	М-10; П-9; М-9; К-9; К-14	61 000	162
9	М-14; М-12; М-25; К-14; К-12	58 000	88

В данной таблице каждое здание представлено в виде кода, где буква означает его тип (М – монолитное; К – кирпичное; П – крупнопанельное), а число – этажность. Под наиболее вероятной продолжительностью строительства понимается срок, рассчитанный на основании нормативных длительностей каждого отдельного этапа строительства, принятых в соответствии со СНиП 1.04.03-85*.

В рамках эксперимента рассмотрена организация строительных работ поточным методом, при этом потоки являются неритмичными. Для расчета продолжительности проекта использованы методы, предложенные В.И. Афанасьевым и подробно описанные в [1]: метод непрерывного использования ресурсов (НИР), метод непрерывного освоения фронтов (НОФ) и метод критических работ (МКР).

Минимальное количество итераций модели, реализованной в программе *MS Excel*, для каждого жилого комплекса и метода расчета установлено на уровне 5 000. Результаты вычислений вероятности окончания проекта в оптимистический срок представлены в таблице 2. При этом в качестве оптимистической выступает продолжительность, определенная при использовании теории ограничений и метода критической цепи, т.е. с учетом двукратного сокращения средней (нормативной, наиболее вероятной) длительности проекта.

По итогам анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. самый большой разброс значений между вероятностями реализации оптимистической продолжительности работ по трем методам поточной организации

строительства в рамках одного варианта комплекса наблюдается в случае, при котором ранние начала фиксированы договором, и достигает 7%.

При этом ведение строительства по методу критических работ дает более высокие значения вероятности (в выборке из 9 комплексов – 8 значений). Это объясняется наличием дополнительных простоев фронтов, возникающих между датой окончания работ одного подрядчика и датой начала работы другого, закрепленной в его подрядном договоре. По причине наличия еще одного вида простоев, связанного с методом организации работ (при НИР – простои фронтов; при НОФ – простои бригад), за счет сложения эффектов перерывы приобретают дополнительную вариабельность по сравнению с ситуацией, когда ограничений по дате начала работ нет. Т.к. при использовании метода МКР простои фронтов и бригад максимально оптимизируются, то и показатели вероятности выполнения работ в оптимистический срок увеличиваются.

2. Снятие ограничения на начало работ влечет за собой устранение принципиального отличия по критерию вероятности выполнения работ в оптимистический срок при использовании разных методов поточной организации строительства. Размах вероятностей не превышает 2%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при отсутствии ограничения на начало работ при использовании адаптированного метода критической цепи выбор метода организации строительства принципиального значения не имеет и может подбираться в зависимости от целесообразности, определенной классическим способом на основании дифференциальных и интегральных критериев эффективности.

Таблица 2

Результаты вычислений вероятности окончания проекта в оптимистический срок

№ п/п	Комбинация зданий	Ранние начала работ фиксированы договором			Ранние начала работ не фиксированы договором			Двукратное уменьшение продолжительностей до оптимистических			Двукратное уменьшение продолжительностей с учетом ограничения на совмещения работ		
		НИР	НОФ	МКР	НИР	НОФ	МКР	НИР	НОФ	МКР	НИР	НОФ	МКР
1	М-12; М-16; М-16; М-20	23	26	29	57	56	56	81	81	80	63	62	63
2	М-12; М-16; М-16; М-20; М-25	20	25	27	57	55	55	80	80	80	60	61	61
3	М-16; М-12; М-20; М-16; М-5	16	13	12	52	53	52	81	81	82	59	59	60
4	К-5; К-9; К-10; К-12; К-14	20	23	24	55	55	56	80	81	80	62	62	61
5	К-12; К-5; К-9; К-14; К-10	20	24	25	57	56	56	81	82	82	62	63	63
6	П-5; П-9; П-10; П-16; П-10	20	23	24	56	55	55	82	80	80	61	61	60
7	П-16; П-5; П-10; П-10; П-9	18	21	23	55	51	55	83	83	82	62	61	63
8	М-10; П-9; М-9; К-9; К-14	21	23	26	56	55	56	81	80	81	63	62	63
9	М-14; М-12; М-25; К-14; К-12	19	22	22	56	55	56	79	80	80	61	60	61
	Минимальное значение вероятности, %	16	13	12	52	51	52	79	80	80	59	59	60
	Максимальное значение вероятности, %	23	26	29	57	56	56	83	83	82	63	63	63
	Размах значений вероятности, %	7	13	17	5	5	4	4	3	2	4	4	3

3. Самый большой разброс значений вероятности в выборке из 9 комплексов наблюдается в случае, когда ранние начала фиксированы договором. Это также объясняется наличием дополнительных простоев между завершением работ одного подрядчика и договорным началом работ другого. Каждый из таких простоев имеет свой показатель вероятности. Их сочетание с простоями, возникающими в рамках использования того или иного метода организации строительства, дает аккумулярующий эффект и провоцирует более широкий разброс значений.

Снятие ограничения на начало работ приводит к тому, что размах крайних значений не превышает 5%, что позволяет сделать вывод об устойчивости разработанной модели при различных комбинациях зданий в составе строительного комплекса.

Анализ распределения плотностей вероятности $f(T)$ общей продолжительности проекта показывает, что при принятии гипотезы об экспоненциальном распределении случайной продолжительности работы:

1. кривые экспериментального распределения имеют сходный вид при разных способах поточной организации строительства, что подтверждает ранее сделанный вывод об отсутствии принципиальной разницы по использованию предложенной реализации метода критической цепи в рамках ее интеграции с методами НИР, НОФ и МКР;

2. кривые экспериментального распределения являются убывающими функциями, что позволяет отметить эффективность адаптированного метода критической цепи при оценке продолжительности проекта, т.к. вероятность отставания от директивного срока снижается по мере увеличения значения такого отставания;

3. модель с использованием утверждения о фиксированном типе начал каждого отдельного этапа строительства дает результаты, при которых директивная длительность является крайним реализуемым значением, т.е. носит пессимистический характер. Это объясняется тем, что любой выигрыш по времени, полученный на предыдущем этапе, гасится в период ожидания выхода на площадку следующего подрядчика, придерживающегося договорных сроков. Наиболее вероятное значение в большинстве случаев лежит в следующем по счету интервале продолжительностей;

4. кривые экспериментального распределения, соответствующие моделям при снятии ограничения на начала работ (использование «скользящих начал») и при ограниченной буферизации, имеют практически идентичный вид. Таким образом, перенос резерва времени из основной части продолжительности в буфер практически не сказывается на значении ее вероятности. Принимая во внимание мотивационную составляющую адаптированного метода критической цепи, можно сделать вывод о ее повышенной эффективности по сравнению с классическими методами календарного планирования поточного строительства;

5. наибольшие значения вероятности дает модель с полной буферизацией, т.е. с двукратным уменьшением продолжительностей до оптимистических, что нереализуемо в условиях поточного строительства, где существуют ограничения, обусловленные технологией проведения работ.

Результаты проведенного экспериментального исследования подтвердили устойчивость адаптированной модели реализации метода критической цепи применительно к разным составам комплексов объектов и методам поточной организации строительства, что позволяет рекомендовать ее для более эффективного календарного планирования строительных проектов.

Список литературы

1. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 302 с.
2. Болотин С.А., Дадар А.Х., Котовская М.А. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №7 (42) . – С. 51-57.
3. Болотин С.А., Котовская М.А. Адаптация метода критической цепи и расчета строительных расписаний при поточной организации работ // Недвижимость: экономика, управление. – 2014. – №3-4. – С.38-43.
4. Монсик В.Б., Скрынников А.А. Вероятность и статистика: учебное пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 381 с.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 г. №1521. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=173491;dst=0;ts=6ED9FB58D67186B5A8BFF46CDBF40324;rnd=0.8693095315247774> (дата обращения: 10.02.2015)
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. №1047-р. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=101790> (дата обращения: 10.02.2015)
7. «Техэксперт». Электронная информационно-справочная система. URL: <http://www.cntd.ru> (дата обращения: 09.02.2015).

Рецензенты:

Болотин Сергей Алексеевич, д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «СПбГАСУ», г. Санкт-Петербург;
Величкин Виктор Захарович, д.т.н., проф., ФГОУ ВПО «СПбГПУ», г. Санкт-Петербург.