УДК 658.513.1

© С. В. Бовтеев, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: SergeiBovteev@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-243-249

© S. V. Bovteev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: SergeiBovteev@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ТЕНДЕНЦИЙ В КОНТРОЛЕ СРОКОВ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

APPLICATION OF THE METHOD OF TREND ANALYSIS AT THE TIME CONTROL OF INVESTMENT CONSTRUCTION PROJECT IMPLEMENTATION

Рассматриваются вопросы обеспечения своевременности завершения инвестиционно-строительного проекта. Предлагается распространить применение индекса своевременности работ и индекса выполнения работ для оценки своевременности наступления контрольных точек проекта. Рассматривается применение метода анализа трендов посредством исследования характера тенденций индекса своевременности работ. Показана возможность получения управленческой информации, позволяющей повысить эффективность управления проектами. Полученные результаты могут быть распространены на индекс выполнения проекта.

Ключевые слова: календарное планирование, анализ тенденций, сетевое моделирование, индекс своевременности проекта, индекс выполнения проекта.

The article deals with the issues of ensuring the completion of investment construction projects in accordance with the planned time limit terms. It is proposed to extend the application of the schedule timeliness index and the schedule progress index for assessing of the timeliness of the project key milestone achievement. Application of the trend analysis method through the study of the trend nature of the schedule timeliness index is considered. A possibility of obtaining management information to improve the efficiency of project management is shown. The results obtained can be extended to the schedule progress index.

Keywords: scheduling, trend analysis, network modeling, schedule timeliness index, schedule progress index.

В современных условиях реализации инвестиционно-строительных проектов особое внимание уделяется методам управления сроками, обеспечивающим своевременное наступление ключевых вех и завершение всего проекта. В ряде случаев срыв не только сроков окончания проекта, но и сроков достижения отдельных промежуточных этапов (в современной терминологии — «контрольных точек») может привести к фатальному исходу — срыву целей проекта.

Достижение своевременного наступления контрольных точек и завершения инвестиционно-строительного проекта в целом обеспечивается умелым сочетанием принципов плани-

рования и контроля сроков работ. Однако если вопросам планирования строительства, в том числе и на основе современных информационно-коммуникационных технологий и программного обеспечения управления проектами, уделялось достаточно много внимания в трудах российских и зарубежных учёных и практиков [3–5, 8, 12–15], то принципы, методы, алгоритмы и инструментарий контроля и оперативного управления строительными проектами освещены не так глубоко и нуждаются в дальнейшем развитии. Ряд работ рассматривают применение метода управления освоенным объёмом для контроля сроков [7, 16]. Предлагаются различные методы прогно-

зирования и даже предсказания фактического срока окончания строительства: так, в работе [6] автор предлагает прогнозировать продолжительность строительства на основе расчёта информационной энтропии в предположении, что хаотичность управления, определяемая данной энтропией, не изменяется до и после даты мониторинга, а в работе [2] предлагается решать задачу предсказания продолжительности строительства посредством использования аппарата нейросетевого моделирования, способного сформировать нелинейную предсказательную модель. Международные стандарты [11, 17, 18] не предоставляют практических решений этого вопроса, однако советуют в качестве одного из методов применять метод анализа трендов (или тенденций) [18].

В целях совершенствования методов контроля сроков работ инвестиционно-строительного проекта автором настоящей статьи была предложена [1] методика контроля сроков проекта, основанная на применении двух показателей — *индикатора (или индекса) своевременности* и *индикатора (или индекса) выполнения работ*. Данная методика получила своё развитие в работах [9, 10].

Индекс своевременности работ (ИСП) определяет степень отклонения ожидаемого срока окончания проекта $T_{\text{ожид}}$ от директивного $T_{\text{дир}}$ (или утверждённого) с учётом оставшегося времени до окончания проекта. ИСП рассчитывается по формуле

$$\text{ИСП} = \frac{T_{\text{дир}} - T_{\text{ожид}}}{(T_{\text{дир}} - \text{ДО})}, \quad (1)$$

где ДО — дата отчёта о состоянии проекта.

Как видно из (1), чем меньше времени остаётся до даты окончания проекта, тем большее влияние оказывает величина отклонения на возможность принятия управленческих решений по корректировке негативной ситуации.

Индекс выполнения работ (ИВП) характеризует отношение выполненных работ $N_{\text{вып}}$ к работам, которые должны быть выполнены согласно плану $N_{\text{план}}$, с учётом оставшегося времени до окончания проекта. ИВП рассчитывается по формуле

$$\text{ИВП} = \frac{\frac{N_{\text{вып}}}{N_{\text{план}}} - 1}{(T_{\text{дир}} - \text{ДО})} T_{\text{дир}}. \quad (2)$$

Величина ИВП так же, как и величина ИСП, увеличивается по модулю по мере осуществления проекта, при прочих равных условиях. Очевидно, что информация о степени выполнения проекта на 90 % по отношению к плану, имеет разное значение в начале проекта и за несколько дней до его завершения.

Значения ИСП и ИВП предлагается сравнивать с заранее заданными предельными значениями для определения так называемых «зон», в которых находится инвестиционно-строительный проект по критериям своевременности и выполнения (табл. 1). Предельные значения, примеры которых представлены в табл. 1, зависят от установленного запаса времени при планировании продолжительностей работ, что более подробно рассмотрено в [9]. Если проект переходит из светло-зелёной в жёлтую зону, руководителю проекта предписывается разработать план корректирующих мероприятий, а если проект переходит из жёлтой в красную зону, считается, что уже нет возможностей предотвратить срыв срока окончания проекта. Именно поэтому необходимо перманентно осуществлять мониторинг значений показателей ИСП и ИВП.

Данный принцип может быть распространён на отдельные контрольные точки инвестиционно-строительного проекта (например, «Выдача задания на проектирование», «Получение положительного заключения экспертизы проектной документации», «Начало

Таблица 1

Предельные значения показателей ИСП и ИВП (пример)

Индексы	Зоны			
	тёмно-зелёная	светло-зелёная	жёлтая	красная
ИСП	> 0	0... -0,15	-0,15...-0,3	< -0,3
ИВП	> 0	0... -0,2	-0,2...-0,4	< -0,4

строительно-монтажных работ», «Готовность объекта к монтажу оборудования»).

В этом случае индекс своевременности контрольной точки (ИСКТ) для конкретной контрольной точки будет рассчитываться по формуле

$$\text{ИСКТ}_i = \frac{T_{\text{дир}i} - T_{\text{ожид}i}}{(T_{\text{дир}i} - \text{ДО})}, \quad (3)$$

где ИСКТ_i — индекс своевременности наступления i -й контрольной точки;

$T_{\text{дир}i}$ — директивный (или утверждённый) срок наступления i -й контрольной точки;

$T_{\text{ожид}i}$ — ожидаемый (или прогнозный) срок наступления i -й контрольной точки.

А индекс выполнения контрольной точки (ИВКТ) — по формуле

$$\text{ИВКТ}_i = \frac{\frac{N_{\text{вып}i}}{N_{\text{план}i}} - 1}{(T_{\text{дир}i} - \text{ДО})} T_{\text{дир}i}, \quad (4)$$

где ИВКТ_i — индекс своевременности наступления i -й контрольной точки;

$N_{\text{вып}i}$ — количество фактически выполненных работ из блока работ, необходимых для достижения i -й контрольной точки;

$N_{\text{план}i}$ — количество работ, которые должны были быть выполнены на дату отчёта согласно утверждённому плану из блока работ, необходимых для достижения i -й контрольной точки;

$T_{\text{дир}i}$ — директивный (или утверждённый) срок наступления i -й контрольной точки.

Таким образом, при осуществлении инвестиционно-строительного проекта с заданной периодичностью (как правило, раз в неделю) должен генерироваться (что может быть автоматизировано с помощью современного программного обеспечения) массив показателей, индексирующих текущее состояние проекта по критериям своевременности и степени выполнения работ и превентивно выявляющих возможные проблемы срыва сроков инвестиционно-строительного проекта. В частности, для представленного примера проекта, включающего четыре контрольные точки и одну дату завершения (соответствующую получению разрешения на ввод объекта в эксплуатацию) массив будет состоять из десяти еженедельных показателей — четыре показателя ИСВТ, четыре показателя ИВКТ и по одному показателю ИСП и ИВП.

Не менее важным для объективной оценки состояния работ является анализ не только самих показателей, но и тенденций их изменений.

Если ИСП можно рассматривать как функцию от времени $f(t)$, тогда первая производная этой функции $f'(t)$ характеризует скорость и направление изменения величины ИСП, а вторая производная $f''(t)$ — интенсивность самих изменений.

Анализ величин первой и второй производной функции ИСП позволяет сделать вывод о характере изменений статуса проекта по критерию своевременности и о скорости таких изменений. Так, если согласно значению ИСП проект находится в «жёлтой зоне», но величины первой и второй производной положительны, можно говорить о том, что негативные отклонения устраняются и скорость их устранения возрастает во времени. Если же величина первой производной положительна, а второй производной отрицательна, можно говорить об устранении негативных отклонений, однако скорость устранения замедляется.

Допустим, что значения ИСП на протяжении жизненного цикла проекта можно аппроксимировать полиномом пятой степени. Тогда

$$\text{ИСП}(t) = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + fx + k;$$

$$\text{ИСП}'(t) = 5ax^4 + 4bx^3 + 3cx^2 + 2dx + f;$$

$$\text{ИСП}''(t) = 20ax^3 + 12bx^2 + 6cx + 2d.$$

Однако функция ИСП на практике представляет собой не полином, а некую ломаную прямую, так как расчёты величин ИСП производятся периодически, через достаточно большие периоды времени, и аппроксимация характера изменений ожидаемых сроков проекта некоей функцией не позволяет принимать эффективные управленческие решения. Исходя из этого представим функцию $\text{ИСП}(t)$ как набор линейных функций типа $y(t) = kt + m$, определённых от предшествующей до рассматриваемой даты отчёта, или, другими словами, непрерывную кусочно-линейную функцию, заданную на всём протяжении жизненного цикла проекта. Первая производная $\text{ИСП}'(t)$ (назовем её $u(t)$) в этом случае в каждом отчётном периоде, т. е. в периоде времени от данной до непосредственно предшествующей даты отчёта о состоянии проекта, будет представлять собой производную от функции $y(t) = kt + m$, т. е. $u'(t) = k$. Если же уже

значения функции $u(t)$, полученные в каждом отчётном периоде и отнесённые на даты отчёта о состоянии проекта, непосредственно следующие за каждым отчётным периодом, выразить в виде аналогичной кусочно-линейной функции, то вторая производная ИСП $u''(t)$, которую назовём $a(t)$, так же, как и для $u(t)$, будет представлять собой производную от функции $y(t) = kt + m$, т. е. $a(t) = u'(t) = k$.

Первая производная функции индекса своевременности проекта $u(t)$ может быть названа **тенденцией**, в то время как вторая производная $a(t)$ — **коэффициентом изменения тенденции** ИСП.

Проиллюстрируем данные рассуждения на примерах. Рассмотрим несколько шагов в некоем периоде времени реализации проекта от $t = m$ до $t = n$, при этом пусть от момента времени n до утверждённой даты окончания проекта остаётся 100 единиц времени. В табличной форме (табл. 2–4) представлены величины абсолютных отклонений ожидаемой продолжительности

проекта от утверждённой (или директивной), значения ИСП, тенденций ИСП и коэффициента изменений тенденций ИСП на каждом шаге времени (умноженные на 1000 для большей наглядности) при разных вариантах.

В табл. 2 показана ситуация, при которой отрицательное абсолютное отклонение продолжительности (отставание) остаётся неизменным. В этом случае величина ИСП будет уменьшаться, также будут незначительно уменьшаться значения тенденций и коэффициента изменения тенденций и второй производных (что говорит о нарастании «опасности»). Как видно из табл. 2, проект находится в «жёлтой зоне», но движется в сторону «красной» — тенденции отрицательны.

В табл. 3 представлена ситуация, при которой отрицательное абсолютное отклонение продолжительности (отставание) увеличивается таким образом, что неизменным остаётся уже показатель ИСП. В этом случае и тенденции и коэффициент изменения тенденций равны нулю, что

Таблица 2

Тенденции ИСП при неизменном отклонении продолжительности проекта

Шаг t	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	N
$T_{\text{дир}} - T_{\text{план}}$	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21
ИСП(t)	-0,191	-0,193	-0,194	-0,196	-0,198	-0,2	-0,202	-0,204	-0,206	-0,208	-0,21
$u(t) \cdot 10^3$		-0,175	-0,178	-0,181	-0,185	-0,189	-0,192	-0,196	-0,2	-0,204	-0,208
$a(t) \cdot 10^3$			-0,003	-0,003	-0,003	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004

Таблица 3

Тенденции ИСП при неизменной величине показателя ИСП

Шаг t	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	n
$T_{\text{дир}} - T_{\text{план}}$	-21	-20,8	-20,6	-20,4	-20,2	-20,0	-19,8	-19,6	-19,4	-19,3	-19,1
ИСП(t)	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191
$u(t) \cdot 10^3$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$a(t) \cdot 10^3$			0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4

Тенденции ИСП (пример)

Шаг t	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	n
$T_{\text{дир}} - T_{\text{план}}$	-18	-14	-5	0	8	4	4	-12	-15	-18	-15
ИСП(t)	-0,164	-0,128	-0,046	0	0,075	0,038	0,038	-0,116	-0,147	-0,178	-0,15
$u(t) \cdot 10^3$		3,52	8,21	4,63	7,55	-3,74	0,04	-15,5	-3,06	-3,12	2,82
$a(t) \cdot 10^3$			4,7	-3,58	2,92	-11,28	3,77	-15,53	12,4	-0,06	5,937

Рис. 1. Пример функции индекса своевременности проекта и верхние границы «светло-зеленой», «жёлтой» и «красной» зон статуса проекта

Рис. 2. Пример функции тенденций индекса своевременности проекта

Рис. 3. Пример функции коэффициента изменения тенденций индекса своевременности проекта

говорит о недостаточной скорости ликвидации отставания.

В табл. 4 проиллюстрирован пример «произвольного» изменения абсолютного отклонения продолжительности проекта. Проект из «жёлтой» зоны переходит в «светло-зелёную», затем

в «зелёную», что говорит об устранении отставания. Проект на 4–6-м шагах идёт с опережением, однако затем начинает отставать. Тенденция показывает вектор движения проекта по критерию своевременности. Например, на 5-м шаге проект идёт с опережением, но тенденции уже отрицательны. На 1-м шаге проект идёт с небольшим отставанием, но тенденции положительны. Коэффициент изменения тенденций показывает вектор изменения самих тенденций — ускорение или замедление.

График изменения показателя ИСП показан на рис. 1, график тенденций ИСП — на рис. 2, а график коэффициента изменения тенденций — на рис. 3.

Точно таким же образом можно проанализировать изменение индекса своевременности контрольной точки, индекса выполнения проекта и индекса выполнения контрольной точки.

Постоянный анализ тенденций изменений данных показателей позволяет руководителю проекта более точно понимать реальную ситуацию и принимать грамотные и оперативные решения.

Библиографический список

1. Бовтеев С. В., Терентьева Е. В. Управление сроками строительного проекта // Управление проектами и программами. 2014. № 2 (38). С. 158–173.
2. Болотин С. А., Дадар А.-К. Х., Мальсагов А. Р. Прогнозирование продолжительности строительства на основе исполнительных календарных графиков, статистического и нейросетевого моделирования // Недвижимость: экономика, управление. 2017. № 3. С. 59–63.
3. Колчеданцев Л. М., Дроздов А. Д., Осипенкова И. Г., Ступакова О. Г. Петербургская школа поточной организации строительства // Петербургская школа поточной организации строительства: I Всеросс. научно-практич. конф., посв. 95-летию со дня рождения проф. В. А. Афанасьева. 19–20 февр. 2018. СПбГАСУ, 2018. С. 3–7.
4. Котовская М. А. Особенности теории ограничений систем Голдратта и метода критической цепи в области календарного планирования строительных проектов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. С. 234–235.
5. Лёвочкина Е. В., Матвеева А. Д. Особенности управления проектами в строительстве с помощью информационной системы Microsoft Project // Материа-

лы Всероссийской молодежной конференции «Управление проектами». СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 36–40.

6. Мальсагов А. Р. Прогнозирование продолжительности строительства на основе измерения энтропии актуального графика работ // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4. С. 86–91.

7. Хомутинникова К. С. Критерии оценки методов контроля, используемых при управлении строительными проектом // Управление проектами и программами. 2009. № 4. С. 312–323.

8. Чашин М. О. Развитие инструмента сетевого планирования в системах управления проектами // Перспективы науки. 2017. № 5 (92). С. 32–38.

9. Bovteev S., Kanyukova S., Okrepilov V., Rezvaia A. Construction Work Tasks Duration: New Method of Estimation and Quality Control // Journal of Applied Engineering Science. 2016. Vol. 14. No. 1. Pp. 121–127.

10. Bovteev S. V., Kanyukova S. V. Development of methodology for time management of construction projects // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2 (62). С. 102–112.

11. Construction Extension to the PMBOK Guide / Project Management Institute. Newtown Square. PA, 2016. 216 p.

12. De Marco A. Project Management for Facility Constructions. A Guide for Engineers and Architects. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 197 p.

13. Kalugin Yu. B. Reasons of delays in construction projects // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 6 (74). С. 61–69.

14. Kalugin Yu. B. Universal method for calculation of reliable completion times // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 7 (67). С. 70–80.

15. Lanko A. A., Vatin N. ., Kaklauskas A. Application of RFID combined with blockchain technology in logistics of construction materials // Matec Web of conferences. 2018. P. 03032.

16. Lipke W. Earned schedule contribution to project management // PM World Journal. 2012. Vol. 1. No. 2. Pp. 6–13.

17. Practice Standard for Scheduling. Guide 2th Edition // Project Management Institute. – Newtown Square. PA, 2011. 113 p.

18. Project Management Body of Knowledge Guide. 6th edition // Project Management Institute. – Newtown Square. PA, 2017. 756 p.

References

1. Bovteev S. V., Terent'eva E. V. *Upravlenie srokami stroitel'nogo proekta* [Management of construction project time terms]. *Upravlenie projektami i programmami – Management of projects and programs*, 2014, no. 2 (38), pp. 158–173.

2. Bolotin S. A., Dadar A.-K. Kh., Mal'sagov A. R. *Prognozirovanie prodolzhitel'nosti stroitel'stva na osnove ispolnitel'nykh kalendarnykh grafikov, statisticheskogo i neyrosetevogo modelirovaniya* [Forecasting the duration of the construction process based on the executive calendar schedules, statistical and neural network modeling]. *Nedvizhimost': ehkonomika, upravlenie – Real estate: economy, management*, 2017, no. 3, pp. 59–63.

3. Kolchedantsev L. M., Drozdov A. D., Osipenkova I. G., Stupakova O. G. *Peterburgskaya shkola potochnoy organizatsii stroitel'stva* [Petersburg school of streamline construction production organization]. *Trudy I Vseross. nauchno-praktich. konf., posv. 95-letiyu so dnya rozhdeniya prof. V. A. Afanas'eva «Peterburgskaya shkola potochnoy organizatsii stroitel'stva» Fevral' 19–20* [Proc. of the I-st All-Russian scientific and pract. conf. devoted to the 95-th anniversary o of Professor V. V. Afanasiev “Petersburg school of streamline construction production organization” February 19–20]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018, pp. 3–7.

4. Kotovskaya M. A. *Osobennosti teorii ogranicheniy sistem Goldrat'a i metoda kriticheskoy tsepi v oblasti kalendarnogo planirovaniya stroitel'nykh proektov* [Features of the Goldram system constraints theory and the method of critical chain in the area of construction projects scheduling]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2014, no. 4, pp. 234–235.

5. Lyovochkina E. V., Matveeva A. D. *Osobennosti upravleniya projektami v stroitel'stve s pomoshch'yu informatsionnoy sistemy Microsoft Project* [Features of project management in construction using Microsoft Project information systems]. *Trudy Vserossiyskoy molodyozhnoy konferentsii «Upravlenie projektami»* [Materials Proc. of the All-Russian youth conference “Project Management”]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018, pp. 36–40.

6. Mal'sagov A. R. *Prognozirovanie prodolzhitel'nosti stroitel'stva na osnove izmereniya ehntropii aktual'nogo grafika rabot* [Forecasting the construction work duration based on the assessment of the current work schedule entropy]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 4 (69), pp. 86–91.

7. Khomutinnikova K. S. *Kriterii otsenki metodov kontrolya, ispol'zuemykh pri upravlenii stroitel'nymi projektom* [Criteria of assessing the control techniques used in construction project management]. *Upravlenie projektami i programmami – Management of projects and programs*, 2009, no. 4, pp. 312–323.

8. Chashin M. O. *Razvitie instrumenta setevogo planirovaniya v sistemakh upravleniya projektami* [Development tool for the network planning of project management systems]. *Perspektivy nauki – Science Prospects*, 2017, no. 5 (92), pp. 32–38.

9. Bovteev S., Kanyukova S., Okrepilov V., Rezvaia A. Construction work tasks duration: new method of estimation and quality control. *Journal of Applied Engineering Science*, 2016, vol. 14, no. 1, pp. 121–127.
10. Bovteev S. V., Kanyukova S. V. Development of methodology for time management of construction projects. *Engineering-Construction Journal*, 2016, no. 2 (62), pp. 102–112.
11. *Construction extension to the PMBOK Guide*. Project Management Institute, Newtown Square, PA, 2016, 216 p.
12. De Marco A. *Project management for facility constructions. A guide for engineers and architects*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, 197 p.
13. Kalugin Yu. B. Reasons of delays in construction projects. *Engineering-Construction Journal*, 2017, no. 6 (74), pp. 61–69.
14. Kalugin Yu. B. Universal method for calculation of reliable completion times. *Engineering-Construction Journal*, 2016, no. 7 (67), pp. 70–80.
15. Lanko A. A., Vatin N. ., Kaklauskas A. Application of RFID combined with block chain technology in logistics of construction materials. *Matec Web of conferences*, 2018, p. 03032.
16. Lipke W. Earned schedule contribution to project management. *PM World Journal*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 6–13.
17. *Practice standard for scheduling. Guide 2th Edition*. Project Management Institute, Newtown Square, PA, 2011, 113 p.
18. *Project management body of knowledge guide*. 6th edition. Project Management Institute, Newtown Square, PA, 2017, 756 p.