УДК 658.5:624.05

© С. А. Болотин, д-р техн. наук, профессор

© А-К. Х. Дадар, канд. техн. наук, доцент, докторант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: sbolotin@mail.ru, daryi@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-2-79-84

© S. A. Bolotin, Dr. Sci. Tech., Professor

© A-K. Kh. Dadar, PhD in Sci. Tech., Associate Professor,

Doctorate degree seeker

(Saint Petersburg State University of Architecture

and Civil Engineering)

E-mail: sbolotin@mail.ru, daryi@mail.ru

БАЙЕСОВСКИЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ ДОЛИ СОЛИДАРНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ УЧАСТНИКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ЕГО НЕСВОЕВРЕМЕННОМ ЗАВЕРШЕНИИ

BAYESIAN APPROACH IN DETERMINING THE JOINT AND SEVERAL LIABILITY SHARE OF THE CONSTRUCTION PARTICIPANTS IN CASE OF CONSTRUCTION UNTIMELY COMPLETION

Задержка сдачи строящихся объектов в эксплуатацию всегда приводит к негативному социально-экономическому результату. Данное обстоятельство предопределяет разработку различных способов расчета, направленных на установление доли солидарной ответственности участников строительства при его несвоевременном завершении. Одним из универсальных методов в решении подобного рода задачи является использование байесовского подхода. Адаптация байесовского подхода к определению доли солидарной ответственности участников строительного производства за задержку строительства заключается в замене априорных вероятностей возникновения задержек выполнения отдельных работ на соответствующие значения абсолютных задержек. Анализируемый подход может быть использован как на стадии календарного планирования строительства, так и на стадии оперативного управления строительным производством для обеспечения необходимого уровня его организационно-технологической надежности. На заключительной стадии, определяемой как окончание строительства, байесовский подход может быть основой для расчета итоговых долей солидарной ответственности участников строительства в общей задержке его окончания.

Ключевые слова: календарное планирование строительного производства, оперативное управление строительным производством, распределение ответственности за задержку строительства.

The delay in commissioning the facilities under construction always leads to a negative socio-economic result. This circumstance predetermines the development of various methods of calculation aimed at establishing the share of joint and several liability of the construction participants in case of construction untimely completion. One of the universal methods in solving this kind of problem is the use of Bayesian approach. Adaptation of Bayesian approach to the determination of the share of joint and several liability for the participants of the construction process for the construction delay centers around replacing a priori probability of delay occurrence in implementation of certain project activities with the corresponding values of absolute delay. The analyzed approach can be used both at the stage of construction calendar planning and at the stage of operational management of construction production to ensure the necessary level of its organizational and technological reliability. At the final stage, defined as the completion of construction, Bayesian approach can be the basis for calculating the final shares of the joint and several liability of construction participants in the total delay in construction completion.

Keywords: calendar planning of construction production, operational management of construction production, distribution of responsibility for construction delay.

Необходимость вероятностного прогнозирования продолжительности строительства связана с тем, что запаздывание сдачи объектов в эксплуатацию всегда приводит к негативному социально-экономическому результату. Данное обстоятельство определяет актуальность разработки методики расчета, на основе которой определяются доли солидарной ответственности участников строительства при его несвоевременном завершении. Одним из универсальных методов в решении подобного рода задачи является использование байесовского подхода, общая постановка которого изложена, например, в работе [1]. Для понимания излагаемой нами далее методики расчета целесообразно рассмотреть существо байесовского подхода, который применяется как универсальный в различных областях науки и техники.

Первым шагом байесовского подхода является определение априорных вероятностей наличия у однотипных объектов некоторого заранее определенного свойства. При этом сами объекты имеют различные источники происхождения, различающиеся объемом генерации рассматриваемых объектов. Данная процедура, как правило, осуществляется на основе соответствующих статистических измерений. Вторым шагом байесовского подхода является расчет апостериорных вероятностей, показывающих принадлежность некоторого выбранного объекта, обладающего рассматриваемым свойством, к источнику его происхождения. Математический расчет апостериорных вероятностей проводится по следующей формуле:

$$P_i = \frac{P_i n_i}{\sum_{i=1}^N P_i n_i}, \quad (1)$$

где n_i — множество объектов, порождаемых i -м источником, общее число которых определено литерой N ; P_i — априорная вероятность существования некоторого свойства в объектах, генерируемых i -м источником.

В таблице показан практический пример прикладного использования теоремы Байеса в области управления качеством промышленного производства.

На трех заводах выпускаются одинаковые детали, характеристики выпуска которых представлены априорными (измеренными) вероят-

Пример определения апостериорной вероятности

Характеристики выпуска	1-й завод	2-й завод	3-й завод
P_i	0,02	0,05	0,09
n_i	900	600	800
Если деталь с браком, то	P_1 0,15	P_2 0,25	P_3 0,60

ностями появления бракованных изделий, а также объемом выпуска деталей за соизмеримый промежуток времени. Событием оказалось то, что в полученной потребителем партии оказалось бракованное изделие. Расчет апостериорных вероятностей, проведенный по формуле (1), показал, что с наибольшей вероятностью бракованная деталь была изготовлена на 3-м заводе. В результате расчет апостериорных вероятностей, проделанный для представленного примера, позволил ранжировать производственные предприятия по их способности генерировать бракованные изделия. Для управления качеством производства на основании расчета рейтинга предприятий, выпускающих брак, можно определить либо штрафные санкции, либо размеры дотаций. При этом конечной целью подобного рода мероприятий является снижение априорных вероятностей выпуска бракованных изделий.

В представленном примере вероятностным событием является выпуск бракованного изделия. Для строительного производства, как при выполнении отдельных работ, так и в целом по строительству, таким событием является задержка исполнения договорных сроков, которую можно интерпретировать как организационный брак. Поэтому совершенно очевидно, что и для этого вида брака также требуется установление доли ответственности отдельных исполнителей строительных работ.

Строительство любого объекта в срок сводится к выполнению вовремя отдельных работ, которые связаны между собой сложной сетевой структурой. Своевременность выполнения каждой работы является вероятностной величиной, которая может быть определена на основе статистики выполнения аналогичных работ в прошлом, например,

такая статистика представлена в работе [2]. Принятый в строительстве универсальный измеритель объемов работ имеет денежное выражение, которое, как правило, для заказчика является затратами, а для подрядчиков оплатой за выполненные работы. В результате имеется следующая аналогия с представленным в таблице примером. Вероятностные события здесь — это несвоевременность выполнения отдельных работ и строительства в целом. Источник возникновения этих событий — отдельные работы. Вероятности несвоевременного их выполнения определяются априори, то есть до начала строительства, а планируемые объемы работ и сроки их исполнения фиксируются в договорах подряда [3]. В результате расчет апостериорных вероятностей, проведенный по формуле (1), должен показать их распределение в случае, если строительство всего объекта будет выполнено с нарушением установленного срока его сдачи в эксплуатацию. В связи с этим возникает вопрос, связанный с идентификацией несвоевременности как вероятностного события.

Выполнение строительных работ должно проводиться по утвержденному календарному графику и в соответствии с нормами ведения исполнительной документации в строительстве [4]. Однако при этом дополнительно необходимо учесть следующий нюанс. Продолжительность работы приемочной комиссии может растянуться на несколько дней. В результате получается, что работы на принимаемом объекте закончены, а комиссия продолжает работать. С другой стороны, комиссия может принять объект за один день, но в приемочном акте предписать переделку или доделку некоторых работ. В этом случае формально объект принят в эксплуатацию, а фактически работы по нему еще не завершены. Таким образом, для определения факта окончания работ необходимо определить некоторую временную франшизу (от фр. «льгота»), ниже которой можно считать окончание работы своевременным, а выше нее — несвоевременным.

Для реализации байесовского подхода требуется соответствующий статистический массив данных, основанный на информационном анализе договоров подряда и актов приемки работ. При этом может возникнуть ситуация, когда вероятности несвоевременного выполнения

работ могут оказаться равными, но средние продолжительности задержек будут существенно отличаться. Поэтому с целью предупреждения подобного рода информационных конфликтов необходимо заменить формальный учет априорных вероятностей фактов задержки сроков на учет времени этой задержки, для чего представим следующий усовершенствованный вариант байесовского подхода.

По сути дела, аналитическая форма определения апостериорных вероятностей, представленная уравнением (1), устанавливает долю каждого парного произведения априорной вероятности на мощность источника возникновения события в итоговой сумме всех парных произведений. Поэтому по своей аналитической структуре уравнение (1) останется прежним, если в нем заменить значения априорных вероятностей на соответствующие значения временных задержек. Тогда сумма апостериорных вероятностей также будет нормирована на единицу, а сами апостериорные вероятности могут быть интерпретированы как доли ответственности исполнителей работ за несвоевременную сдачу строительного объекта в эксплуатацию. В результате соответствующая формула расчета апостериорных вероятностей будет представлена следующим уравнением:

$$P_i = \frac{\tau_i c_i}{\sum_{i=1}^N \tau_i c_i}, \quad (2)$$

где τ_i — среднее время задержки i -й работы; c_i — стоимость выполнения i -й работы.

Как было отмечено ранее, важность определения апостериорных вероятностей заключается в том, что по этой информации можно ранжировать всех подрядчиков работ в соответствии с их долей вклада в общий риск несвоевременного строительства. В дальнейшем по результатам мониторинга, в процессе которого определяются фактические отставания в строительном производстве [5], распределение апостериорных вероятностей может изменяться. Динамическое ранжирование всех подрядчиков работ в соответствии с долей их вклада в общий риск несвоевременного строительства позволяет на каждом этапе строительного производства проводить его оптимальное регулирование.

В случае, если итоговое окончание строительства произошло с превышением запланирован-

ного срока сдачи объекта, то по данным исполнительного календарного графика можно определить фактические задержки отдельных видов работ и по ним определить доли солидарной ответственности за итоговую несвоевременность сдачи объекта, определяемую по формуле

$$P_i = \frac{\tau_i^a c_i^a}{\sum_{i=1}^N \tau_i^a c_i^a}, \quad (3)$$

где τ_i^a , c_i^a — фактическое время задержки и стоимость i -й работы.

Как видно, формула (3) также осталась инвариантной по структуре, определенной байесовским подходом. Поскольку ключевым элементом этой структуры является произведение величин фактических запаздываний на стоимости работ, то представляет интерес использование этих элементов при формировании штрафов за несвоевременное выполнение работ.

Известно, что при задержке сроков сдачи строительных объектов в эксплуатацию применяются различного рода штрафы. Например, расчет пени за несвоевременное строительство объектов долевого строительства базируется на нормах Федерального закона ФЗ-214¹. С учетом последних поправок к этому закону пеня (для дольщиков-граждан) определяется как одна пятидесятая от ставки рефинансирования ЦБ РФ за каждый день просрочки обязательств. Например, при ставке рефинансирования ЦБ РФ, равной 8 % (примерно соответствует 2011 г.), цена каждого просроченного рабочего дня составит ~0,05 % стоимости обязательств, что в переводе на эквивалентную (годовую) норму дисконта будет соответствовать ~12,5 % годовых. В результате имеет место линейная связь штрафных санкций и доли ответственности за нарушение сроков исполнения обязательств. Определенные ФЗ № 214 штрафные санкции применимы к застройщику объекта, хотя источников невыполнения договорных обязательств по срокам строительства гораздо больше [6]. И более того, как показывает мировой опыт, сами штрафные санкции могут быть нелинейно связаны с общей задержкой строительства [7, 8].

¹ Федеральный закон «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации» от 30.12.2004 № 214-ФЗ (ред. от 17.06.2010). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_101448/.

В настоящее время существует несколько моделей распределения ответственности за несвоевременное окончание работ. Так, например, согласно модели, описанной в работе [9], застройщик с момента сдачи готового строительного объекта в эксплуатацию планирует получение дохода на вложенный капитал по некоторой ставке E , обычно определяемой той нормой дисконта, по которой была рассчитана эффективность реализуемого им инвестиционного проекта. В представленной в работе [9] модели постулируется, что любая задержка срока сдачи объекта в эксплуатацию на величину ΔT приводит к упущенной экономической выгоде, обозначенной ΔC , которая рассчитывается по формуле

$$\Delta C \approx CE \Delta T. \quad (4)$$

При определении экономической эффективности инвестиционных строительных проектов используется другой показатель, получивший название чистого дисконтированного дохода (NPV) [10], и этот показатель нелинейно зависит от времени. В силу аддитивности формулы расчета NPV и при прочих равных условиях данный показатель включает в себя дисконтирование доходной части денежного потока, которая рассчитывается по формуле

$$R_0 = R_t (1 + E)^{-t}, \quad (5)$$

где R_0 — доходная составляющая денежного потока, приведенная к нулевому моменту времени по дисконтной ставке E ; R_t — фактическое получение дохода за выполненную в момент времени t работу за счет ее оплаты.

Производная функции (5) по времени дает зависимость изменения приведенного дохода при изменении времени сдачи работы:

$$\frac{dR_0}{dt} = R_t (1 + E)^{-t} \ln(1 + E). \quad (6)$$

Следует отметить, что в формулах (5) и (6) используется годовая ставка дисконтирования, а поэтому время исчисляется в годах. С целью упрощения выражения (6) примем, что продолжительность и начало выполнения работы составляют величины, значительно меньшие года, тогда при разложении множителя $(1 + E)^{-t}$ в степенной ряд формулу (6) можно представить в виде

$$(1 + E)^{-t} = 1 + \sum_{j=1}^n \frac{(-t \ln(1 + E))^j}{j!} \approx 1 - t \ln(1 + E). \quad (7)$$

В соответствии с принятыми упрощениями и заменой приращения независимой переменной dt на время задержки t получаем

$$dR_0 = (1 - t \ln(1 + E)) \ln(1 + E) R_t \tau. \quad (8)$$

Из выражения (8) видно, что фактическая потеря чистого дисконтированного дохода также пропорциональна произведению задержки выполнения работы на ее стоимость. При этом следует учитывать, что планируемые задержки исполнения сроков работ определяются как риски [11], и эти риски требуют адекватного статистического описания [12] и применения аппарата статистического моделирования [13].

В результате проведенного анализа можно сделать обобщение, заключающееся в том, что при использовании байесовского подхода в определении доли ответственности контрагентов строительства основным расчетным параметром является произведение допущенных задержек на стоимости соответствующих работ. Положительный эффект от применения байесовского подхода, используемого на стадии планирования и оперативного управления, позволит избежать некоторых задержек во времени и связанных с ними убытков [14, 15], а на заключительной стадии позволит корректно рассчитать фактическую долю ответственности в потерях, связанных с несвоевременной сдачей объекта в эксплуатацию.

Библиографический список

1. Stone J. V. Bayes' Rule: A Tutorial Introduction to Bayesian Analysis. Sheffield: Sebtel Press, 2013. 174 p.
2. Gore P. S. Rationale of Contracts Awards and Contract Systems // Proceedings of the ASCE: Journal of the Construction Division. 1980. Vol. 106. Pp. 507–517.
3. Секо Е. В. Заключение и ведение договоров подряда в строительстве. СПб.: Питер, 2006. 208 с.
4. Летчфорд А. Н., Шинкевич В. А. Исполнительная документация в строительстве. СПб.: Центр качества строительства, 2008. 310 с.
5. Болотин С. А., Дадар А. Х., Магамадов Р. А., Мальсагов А. Р. Особенности организации мониторинга в процессе оперативного управления строительством // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 4 (63). С. 146–152.
6. Сокольников В. В. Оперативное управление строительными процессами и их ресурсным обеспечением в строительном-монтажном предприятии //

Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1 (60). С. 147–152.

7. Louzolo-Kimbembe P., Mbani E. New approach of delay penalties formulation: Application to the case construction projects in the Republic of Congo // Journal of Civil Engineering and Construction Technology. 2013. Vol. 4(1). Pp. 6–22.

8. Assaf S. A., Al-Hejji S. Causes of delay in large construction projects // International Journal of Project Management. 2006. Vol. 24(4). Pp. 349–357.

9. Птухина И. С. Распределение ответственности контрагентов организации строительства на основе проектного планирования договорных обязательств и их исполнения: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2012. 179 с.

10. Коссов В. В., Лившиц В. Н., Шахназаров А. Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Экономика, 2000. 421 с.

11. Morozova T. F., Kinayat L. A., Kinayat A. Zh. Assessment of risks in construction // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. № 5 (10). Pp. 68–76.

12. Bolotin S., Dadar A., Ptuhina I. Construction work task duration: Pessimistic scenarios based on PERT method // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 945–949. Pp. 3026–3031.

13. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. No. 13. Pp. 1–4.

14. Ibbs W., Simonian L., Nguyen L. D. Concurrent Delays and Apportionment of Damages // Journal of Construction Engineering and Management. 2011. Vol. 137. № 2. Pp. 119–126.

15. Harris R. A., Scott S. UK Practice in Dealing with Claims for Delay // Engineering Construction & Architectural Management. 2001. Vol. 8. № 5–6. Pp. 317–324.

References

1. Stone J. V. Bayes' Rule. A Tutorial Introduction to Bayesian Analysis. Sheffield, Sebtel Press, 2013, 174 p.
2. Gore P. S. Rationale of Contracts Awards and Contract Systems. Proceedings of the ASCE. Journal of the Construction Division, 1980, vol. 106, pp. 507–517.
3. Seko E. V. Zaklyuchenie i vedenie dogovorov podryada v stroitel'stve [Conclusion and maintenance of contracts in construction]. St. Petersburg, Piter Publ., 2006, 208 p.
4. Letchford A. N., Shinkevich V. A. Ispolnitel'naya dokumentatsiya v stroitel'stve. Spravochnoe posobie [Executive documentation in construction. Reference book]. St. Petersburg, Tsentr kachestva stroitel'stva Publ., 310 p.

5. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Magamadov R. A., Ma'sagov A. R. *Osobennosti organizatsii monitoringa v protsesse operativnogo upravleniya stroitel'stvom* [Features of monitoring organization in the process of construction operational management]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov— Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 4 (63), pp. 146–152.
6. Sokol'nikov V. V. *Operativnoe upravlenie stroitel'nymi protsessami i ikh resursnym obespecheniem v stroitel'no-montazhnom predpriyatii* [Operational management of construction processes and the resource provision in the construction and installation company]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov— Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 1 (60), pp. 147–152.
7. Louzolo-Kimbembe P., Mbani E. New approach of delay penalties formulation: Application to the case construction projects in the Republic of Congo. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 2013, vol. 4(1), pp. 6–22.
8. Assaf S. A., Al-Hejji S. Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 2006, vol. 24(4), pp. 349–357.
9. Ptukhina I. S. *Raspredelenie otvetstvennosti kontragentov organizatsii stroitel'stva na osnove proektnogo planirovaniya dogovornykh obyazatel'stv i ikh ispolneniya. Diss. kand. tekhn. nauk* [Distribution of contractors' liability at the construction organization on the basis of project planning of contractual obligations and their execution. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2012, 179 p.
10. Kossov V. V., Livshits V. N., Shakhnazarov A. G. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh projektov* [Methodological recommendations for the evaluation of the effectiveness of investment projects]. 2-nd ed., revised. Moscow, Ehkonomika Publ., 2000, 421 p.
11. Morozova T. F., Kinayat L. A., Kinayat A. Zh. Assessment of risks in construction. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2013, no. 5 (10), pp. 68–76.
12. Bolotin S., Dadar A., Ptuhina I. Construction work task duration: Pessimistic scenarios based on PERT method. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 945–949, pp. 3026–3031.
13. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 23, no. 13, pp. 1–4.
14. Ibbs W., Simonian L., Nguyen L. D. Concurrent Delays and Apportionment of Damages. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2011, vol. 137, no. 2, pp. 119–126.
15. Harris R. A., Scott S. UK Practice in Dealing with Claims for Delay. *Engineering Construction & Architectural Management*, 2001, vol. 8, no. 5–6, pp. 317–324.