УДК 338.24.57+ 006

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Бархи Реза,Ph.D., профессор КПМГ, Политехнический институт Вирджинии
и государственный университет, Блэксбург, США.

E-mail: reza@vt.edu

Евсеев Вадим Олегович,доктор экономических наук, профессор кафедры
политологии и социологии, Российский экономический
университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия.Член научного совета ИСПИ РАН
по проблемам экономической интеграции ЕАЭС

РИНЦ SPIN-код: 3997-1213

E-mail: manrus@mail.ru

Борковская Виктория Геннадиевна,кандидат экономических наук, доцент, Российский
экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия.

РИНЦ: SPIN-код: 8308-7202/ ORCID Code : 0000-0003-0516-2124

E-mail: info@professorstoday.org

Аннотация. *Основным вопросом исследования является изучение влияния погодно-климатических условий на показатели строительного процесса и характеристики элементов строительного процесса в контексте надёжности и безопасности функционирования основных элементов строительного: процесса: строительные машины, рабочих, сметной стоимости строительства, надёжности сроков выполнения строительства. В качестве интегрального показателя погодно-климатических условий выбран показатель «жёсткости погоды». В качестве математического вычислительного аппарата выбран метод имитационного моделирования. Целью исследования является выявление регрессионно-корреляционных зависимостей между показателями жёсткости погоды и соответствующими показателями элементов строительного процесса: фонда рабочего времени рабочих, коэффициента технической готовности строительной техники, увеличения сметной стоимости строительства, увеличения трудозатрат на ремонт строительной техники, выявление дополнительных затрат по видам работ и т.д. Результаты: По всем заявленным зависимостям получены регрессионные уравнения, результаты представлены в графическом виде. Полученная система регрессионных зависимостей показывает взаимосвязь между показателями жесткости погоды и показателям, и связанными с травматизмом рабочих, надёжностными характеристиками строительных машин, экономическими показателями. На базе регрессионных уравнений построена имитационная модель. Выводы: Предлагаемая имитационная модель влияния климатических условий на характеристики строительного процесса позволяет оптимизировать управляющие решения, снизить строительные риски, снизить сметную стоимость строительства.*

Ключевые слова: имитационное моделирование, климатические условия, безопасность, надёжность, жесткость погоды, травматизм, аварийность, строительные работы, коэффициент готовности строительной техники, сметные нормы дополнительных затрат, календарный график строительных работ.

SIMULATION MODEL OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS ON THE CHARACTERISTICS OF THE CONSTRUCTION PROCESS

Reza Barkhi,

Ph.D., KPMG Professor, Virginia Polytechnic
Institute and State University, Blacksburg, USA.
E-mail: reza@vt.edu

Vadim O. Evseev,

The doctor of economic sciences, professor Faculties politics and sociology
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation.
RSCI SPIN-code: 3997-1213
E-mail: manrus@mail.ru

Victoria G. Borkovskaya,

PhD in Economics, Associated Professor, Plekhanov Russian
University of Economics, Moscow Russian Federation.
ORCID Code: 0000-0003-0516-2124 / Scopus ID 55976587600
E-mail: info@professorstoday.org

Abstract. *The main issue of the study is the study of the influence of weather and climatic conditions on the indicators of the construction process and the characteristics of the elements of the construction process in the context of reliability and safety of the basic elements of the construction process: construction machines, workers, estimated cost of construction, reliability of construction deadlines. As an integral indicator of weather and climatic conditions, the indicator of "weather hardness" was chosen. The method of simulation modeling was chosen as a mathematical computing apparatus. The aim of the study is to identify the regression-correlation dependencies between the indices of rigidity and weather related indicators of elements of the construction process: the Fund of working time of workers ratio of technical readiness of construction equipment, the increase in the estimated cost of construction, increasing labor costs for repair of construction equipment, identification of additional costs for VI-dam works etc. Results: Regression equations are obtained for all the stated dependencies, the results are presented in graphical form. The obtained system of regression dependencies shows the relationship between the indicators of weather severity and the indicators associated with injuries of workers, reliability characteristics of construction machines, economic indicators. The simulation model is constructed on the basis of regression equations. Conclusions: the proposed simulation model of the influence of climatic conditions on the characteristics of the construction process allows to optimize management decisions, reduce construction risks, reduce the estimated cost of construction.*

Keywords: *simulation, climatic conditions, safety, reliability, weather severity, injuries, accidents, construction works, readiness coefficient of construction equipment, estimated norms of additional costs, calendar schedule of construction works.*

Территория России разделена на семь климатических зон, в которых протекает хозяйственная деятельность и в которых создаются новые инфраструктурные объекты в промышленной и социальной сферах в условиях риска [5,6,7,8]. Учёт особенностей климатического воздействия при строительстве инфраструктурных объектов реализован в виде «Свода правил. Строительная климатология (Building climatology)» Актуализированная редакция. СНиП 23-01-99 [2]. Свод правил составлен с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях и сохранности материальных ценностей в соответствии Федеральным законом от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", повышения уровня гармонизации нормативных требований с европейскими и международными нормативными документами, применения единых методов определения эксплуатационных характеристик и методов оценки. В настоящее время для оптимизации управления, организации, планирования и прогнозирования строительных процессов широко используют экономико-математические методы; модели линейного программирования, модели управления запасами, модели динамического программирования, модели теории игр, графические модели и сетевые модели, имитационные модели и др. [3,4,14,16]. В нашей работе мы будем исследовать влияние погодно-климатических условий на характеристики строительного процесса с использованием метода имитационного моделирования [15]. Выбор метода имитационного моделирования во много обусловлен не только вероятностными характеристиками погодно-климатических условий, но и набором вероятностных характеристик элементов строительного процесса. На рисунке 1 приведен календарный график строительных работ, которые реализуются в течении года, т.е. в разных погодно-климатических условиях.

Рисунок 1 - Гистограмма жёсткости погоды и график строительных работ

Также необходимо напомнить, содержание понятий надёжность и безопасность в строительстве:

1) Под *организационно-технологической надёжностью строительства* понимается способность технологических, организационных, управленческих и других решений

обеспечить выполнение основных показателей строительства: запланированные сроки, стоимость и нормативное качество возведения объекта в условиях воздействия возмущающих факторов, присущих строительству как сложной динамической системе [12,13].

2) *Безопасностью объекта строительства* является состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений вследствие разрушения, повреждения объекта строительства, нарушения требований безопасности при строительстве такого объекта.

Методология

Погодно-климатические условия в нашей работе рассматриваются и рассчитываются как понятие «жесткость погоды». Жесткость погоды — термин, под которым подразумеваются ощущения человека при одновременном воздействии на него мороза и ветра и рассчитывается по нижеследующей формуле (1) и применяется с учётом её градации (данные берутся из климатического справочника):

$$S = (1 - 0.04T)(1 + 0.272V) \quad (1)$$

Где: S- жесткость погоды (баллы) ; T – температура воздуха (градусы);

V – скорость ветра (м/сек);

Градация S : (S < 1) - несуровая, мягкая; S = (1-2) - мало суровая, S = (2-3) - умеренно суровая; S = (3-4) - суровая; S = (4-5) - очень суровая; S = (5-6) - жестко суровая; S = (более 6) - крайне суровая.

Т.к. в климатическом справочнике данные о температуре и скорости ветра даются как средние значения с интервалами отклонений [2], то для реализации этих значений в модели используется датчик случайных чисел с нормальным законом распределения, который имитирует возможные значения температуры и ветра в течении дней каждого месяца. Для каждого месяца подсчитывается показатель жесткости погоды (см. Рис.1). Также в имитационную модель включены регрессионные зависимости между показателями жесткости погоды и готовностью строительных машин, показателями трудоёмкости ремонта строительной техники, увеличения затрат на текущий ремонт, травматизма, аварийности и т.п.

Результаты и обсуждения

Интерфейс имитационной модели позволяет сразу получать результаты влияния погодно-климатических условий на показатели строительного процесса в виде графиков и таблиц.

Рассмотрим некоторые зависимости влияния погодно-климатических условий на характеристики рабочих и характеристики фонда рабочего времени. Как пример, рассмотрим рисунок 2, где подсчитано количество рабочих дней по месяцам строительства, где для рабочих требуются особые условия труда, т.е. дополнительные 15 и 20 минутные перерывы на температурную реабилитацию из-за предельных значений жесткости погоды и создание соответствующих для проведения процедуры реабилитации. Модель также рассчитывает вероятность невыхода на работу из-за болезней связанных с жесткостью погоды. На рисунке 3 показана зависимость возможные значения травматизма строительных рабочих из-за жесткости погоды. Необходимо констатировать, что не учёт этих зависимостей как строительных рисков, в календарном плане строительства, может привести к срыву сроков строительства, а также к увеличению стоимости строительства. Эти зависимости относятся к безопасности.

Рассмотрим некоторые зависимости влияния погодно-климатических условий на характеристики строительных машин, которые относятся к надёжности. На рисунке 4 приведён пример взаимосвязи между показателями жесткости погоды и коэффициентом

технической готовности строительных машин, который снижается по мере увеличения значения жёсткости работы. Эта зависимость позволяет определять количество работоспособных машин, которые будут находиться в активном состоянии. На рисунке 5 приведена зависимость увеличения трудоёмкости ремонта машин по мере увеличения жёсткости погоды.

Рисунок 2 - Количество дней, где требуются особые условия труда для рабочих из-за предельных значений жёсткости погоды

Рисунок 3 - Травматизм строительных рабочих и жёсткости погоды

Рисунок 4 - Влияние жёсткости погоды на коэффициент готовности машин

Погодно-климатические условия влияют на экономические характеристики строительства. На Рисунке 6 приведена зависимость увеличения стоимости ремонта в зависимости от показателей жёсткости погоды, т.е. эти зависимости выводит нас на увеличение экономических показателей строительства и возможное увеличение сроков строительства.

На рисунке 7 приведена зависимость влияния жесткости погоды на увеличение сметных норм дополнительных затрат по видам работ, в нашем примере разработка экскаваторами грунта в отвал.

Апофеозом отсутствия надёжности строительного процесса являются аварии на строительных объектах и их зависимость от жёсткости погоды (коэф. корр.=0,67) (см. Рис.8).

Рисунок 5 - Влияние жесткости погоды на трудоёмкость ремонта машин

Рисунок 6 - Влияние жесткости погоды на стоимость ремонта машин

Рисунок 7 - Влияние жесткости погоды на дополнительные затраты

Рисунок 8 - Влияние жёсткости погоды на возможные аварии

Модель позволяет в диалоговом режиме менять начальные сроки этапов строительства по видам работ и сразу получать интересующую нас интерфейсную информацию в графической и табличной форме.

Заключение

1. Погодно-климатические условия повышают строительные риски, учёт которых увеличивает сметную стоимость строительства, как за счёт введения дополнительных страховых резервов, так и за счёт возможного увеличения сроков строительства.
2. Получены регрессионные зависимости (с высоким уровнем коэффициента корреляции) между жёсткостью погоды и определённым набором характеристик элементов строительного процесса, которые необходимо учитывать при оценке строительных рисков.
3. Как видно из графиков, погодно-климатические условия влияют на все элементы строительного процесса: рабочих, строительные машины, технологии, логистику, используемые материалы и т.п., т.е. влияют на показатели безопасности и надёжности строительства.
4. Применение имитационных моделей в строительстве позволяет на моделях отрабатывать варианты принимаемых решений, позволяет находить оптимальные и рациональные решения, которые способствуют сдаче строительных объектов в срок, позволяет снижать строительные риски, повышать надёжность и безопасность строительного процесса.

Литература:

1. Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации №624 «Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям по подготовке проектной документации, строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства» от 30 декабря 2009 г. [Электронный ресурс] URL: <http://sroportal.ru/laws/prikaz-minregiona-rf-ot-30-dekabrya-2009-g-624/> (дата обращения 01.12.2019)
2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменениями N 1, 2). [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения 01.12.2019)
3. Математическое моделирование в строительстве. Учебно-методическое пособие / Сост. Иванова С.С. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2012. – 100 с.
4. Гусаков А.А. Моделирование и применение вычислительной техники в строительном производстве: Справ. пособие / [А.А. Гусаков, Н.И. Ильин, Ю.А. Куликов и др.]; Под ред. А.А. Гусакова. - Москва: Стройиздат, 1979. - 384 с.
5. Борковская В.Г. Проектные риски // Научное обозрение. - 2015. - № 23. - С. 212-214. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25602016>
6. Борковская В.Г. Управление проектными рисками. Сборник докладов XXIII международной конференции "Проблемы управления безопасностью сложных систем», - Москва: ИПУ РАН, 2015. – С. 230-235. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23316513>
7. Бурков В.Н., Борковская В.Г., Пужанова Е.О., Уандыков Б.К. Задачи оперативного управления программой с учетом рисков. В сборнике: Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. под общей редакцией В.П. Цымбала, Т.В. Киселевой. – Новокузнецк: : Сибирский

государственный индустриальный университет, 2016. - С. 14-16. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26052076>

8. Агзямов Р.А., Бурков В.Н., Борковская В.Г., Насонова Т.В. Управление программными рисками на основе качественных оценок их характеристик // Экономика и менеджмент систем управления. - 2017. - Т. 26. - № 4. - С. 42-49. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30026045>

9. Бурков В.Н., Буркова И.В., Борковская В.Г. Управление проектными рисками на основе качественных оценок // Институт Проблем Управления им. Трапезникова РАН. - 2017. 45-53с.

10. Борковская В.Г. Система менеджмента качества и риски в строительных предприятиях // ЦИТИСЭ. - 2018. - №2 (15). - С.2. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35737334>

11. Борковская В.Г. Снижение рисков в жилищно-коммунальном хозяйстве при стратегическом лидерстве руководства // ЦИТИСЭ. - 2018. - №3 (16). - С.15 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36663894/>

12. Borkovskaya V.G. Reducing risks in the construction enterprise under strategic leadership of the management // Vestnik MGSU. - 2018. - Т.13. - №11. - С.1341-1348. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36588461>

13. Barkhi R., Borkovskaya V.G. Organization and implementation of risk-management in building enterprise // Vestnik MGSU. - 2018. - Т.13. - №12. - С.1482-1490. DOI: [10.22227/1997-0935.2018.12.1482-1490](https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.12.1482-1490)

14. Борковская В.Г. Активные системы и стохастические модели управления проектами // ЦИТИСЭ. - 2019. - №2(19). - С.21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38505991>

15. Евсеев В.О. Человеческие ресурсы в системе социоэкономических уравнений: учеб. пособие / В.О. Евсеев. — 2-е изд., перераб. и доп.: -М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. - 379 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23984068>

16. Evseev V.O., Osipov V.S., Skryl T.V An analysis of economic issues of territories of priority Development // Research Journal of Applied Sciences. - 2016. - Т. 11. - № 9. - С.833-842. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28129438>

References:

1. *Order of the Ministry of regional development of the Russian Federation No. 624 "on approval of the List of types of works on engineering surveys for the preparation of project documentation, construction, reconstruction, major repairs of capital construction projects that affect the safety of capital construction projects" dated 30 December 2009.* Available at: <http://sroportal.ru/laws/prikaz-minregiona-rf-ot-30-dekabrya-2009-g-624/> (accessed 01 December 2019)

2. *SP 131.13330.2012 Construction climatology. Updated version of SNiP 23-01-99* (with Changes N 1, 2).* Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (accessed 01 December 2019)

3. Ivanova S. S. *Mathematical modeling in construction.* Izhevsk. ISTU Publ., 2012, 100 p. (In Russian)

4. Gusakov A. A. *Modeling and application of computer technology in construction production.* Moscow, Stroizdat Publ., 1979, 384 p. (In Russian)

5. Borkovskaya V. G. Project risks. *Scientific review*, 2015, no. 23, pp. 212-214. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25602016>

6. Borkovskaya V. G. *Project risk management.* IPU RAS, Publ., 2015, pp. 230-235. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23316513>

7. Burkov V. N., Borkovskaya V. G., Puzanova E. O., Uandykov B. K. *Tasks operational management of the programme based on risk*. Novokuznetsk, Siberian State Industrial University Publ., 2016, pp. 14-16. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26052076>
8. Agzamov R. A., Burkov V. N., Borkovskaya V. G., Nasonova T. V. Control of software risks, based on qualitative assessments of their performance. *Economics and management of management systems*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 42-49. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30026045>
9. Burkov V. N., Burkova I. V., borkovskaya V. G. project risk Management based on qualitative assessments. *Journal Institute of Management Problems. Trapeznikov Academy of Sciences*. Moscow, 2017, pp. 45-53. (In Russian)
10. Borkovskaya V. G. Quality management system and risks in construction companies *CITISE*, 2018, no. 2 (15), p. 2. (In Russian) URL: <https://elibrary.EN/item.asp?id=35737334>
11. Borkovskaya V. G. risk Reduction in housing and communal services under the strategic leadership. *CITISE*, 2018, no. 3 (16), p. 15 (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36663894/>
12. Borkovskaya V.G. Reducing risks in the construction enterprise under strategic leadership of the management. *Vestnik MGSU*, 2018, vol.13, no. 11, pp.1341-1348. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36588461>
13. Barkhi R., Borkovskaya V.G. Organization and implementation of risk-management in building enterprise. *Vestnik MGSU*, 2018, vol. 13, no. 12, pp.1482-1490. DOI:[10.22227/1997-0935.2018.12.1482-1490](https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.12.1482-1490)
14. Borkovskaya V. G. Active systems and stochastic models of project management. *CITISE*, 2019, no. 2(19), pp. 21. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38505991>
15. Evseev V. O. *Human resources in the system of socio-economic equations*. Moscow, INFRA-M Publ., 2017, 379 p. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23984068>
16. Evseev V. O., Osipov V. S., Skryl T. V. An analysis of economic issues of territories of priority Development. *Research Journal of Applied Sciences*, 2016, vol. 11, no. 9, pp. 833-842. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28129438>

Submitted: 23 November 2019

Accepted: 24 December 2019

Published: 27 December 2019