

АНОТАЦІЯ

Блонний А.В. Науково-прикладний інструментарій визначення оптимальної тривалості будівництва в умовах невизначеності.- Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. - Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». - Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2026.

Дисертацію присвячено концептуально-теоретичному та науково-методичному обґрунтуванню і розробленню науково-прикладного інструментарію визначення раціональної тривалості будівництва в умовах невизначеності на засадах комплексної часової аналітики, цифрового прогнозування та адаптивного моделювання ризиків. Реалізація поставленої мети передбачає формування моделей стохастичного планування строків, розроблення алгоритмів ухвалення строкових управлінських рішень, а також підготовку практичних рекомендацій для управлінців, спрямованих на скорочення тривалості будівництва без зниження якості та порушення ресурсної збалансованості

Нагальність проведення дослідження зумовлена трансформаційними процесами у будівельній галузі, що супроводжуються нестабільністю зовнішнього середовища, зміною ринкової кон'юнктури, коливаннями ресурсного забезпечення та зростанням ризиків. Чинні нормативно-детерміновані підходи до строкового планування в умовах варіативності технологій, логістичних обмежень і непередбачуваних чинників втрачають точність та керованість, що зумовлює потребу впровадження стохастичних методів прогнозування. Актуальність дослідження підсилюється запитом галузі на цифрові, аналітично обґрунтовані механізми визначення оптимальної тривалості будівництва з урахуванням ризиків, ресурсної доступності та технологічної послідовності. Запропонований інструментарій спрямований на підвищення точності календарного планування, мінімізацію зривів строків, скорочення витрат і синхронізацію дій учасників проєкту.

Впровадження його результатів забезпечує формування адаптивних моделей строкового управління, особливо актуальних для масштабних інфраструктурних, девелоперських і відновлювальних проєктів.

Перший розділ дисертації фокусувався на формуванні концептуально-теоретичних засад створення науково-прикладного інструментарію визначення оптимальної тривалості будівництва в умовах невизначеності. У його межах здійснено ретроспективний аналіз розвитку підходів до оцінювання строків будівельних процесів – від нормативно-фіксованих схем до гнучких цифрових моделей календарного планування. Розкрито економіко-організаційну природу невизначеності та її вплив на часові параметри реалізації будівельних проєктів, що дало змогу ідентифікувати ключові групи ризиків. Невизначеність організаційно-технологічних характеристик девелоперського проєкту розглянуто як багатовимірну категорію, що відображає неповноту та мінливість інформації щодо внутрішніх і зовнішніх чинників впливу на строки будівництва. Вона охоплює коливання ресурсного забезпечення, змінність технологічних режимів, логістичних умов, кадрового потенціалу та організаційної структури управління. Окрему увагу приділено впливу зовнішнього середовища, зокрема політико-економічних, регуляторних та кліматичних чинників. Виконано огляд сучасних наукових підходів до адаптивного управління строками будівництва з урахуванням стохастичної природи процесів. Сформована теоретична база слугує основою для побудови прикладного інструментарію цифрового прогнозування та моделювання оптимальної тривалості будівництва. Обґрунтовано, що невизначеність у будівельних проєктах виступає активним фактором трансформації системи управління часом, ресурсами та результативністю. У зв'язку з цим календарне планування розглядається як процес динамічного балансування між жорстко фіксованими контрольними точками та адаптивними механізмами коригування. Забезпечення стійкості графіків у змінному середовищі потребує впровадження системних підходів до управління

невизначеністю на основі інтеграції аналітичних, прогнозних, інформаційних і поведінкових інструментів.

Другий розділ дисертації спрямований на формування загально-методичного підґрунтя розроблення науково-прикладного інструментарію визначення оптимальної тривалості будівництва в умовах невизначеності. У межах цього етапу здійснено перехід від теоретичних узагальнень до побудови прикладних моделей часової оптимізації будівельних процесів. Розроблено методологію формування та трансформації організаційно-технологічних мережових моделей різних типів із використанням сучасних BIM- та PLM-технологій, а також прогнозно-сценарних та оптимізаційних підходів. Проведено структурування факторів, що визначають часові параметри проєктів, зі встановленням їх взаємозв'язків, інтенсивності впливу та пріоритетності. Запропоновані моделі оцінювання тривалості базуються на імовірнісних і стохастичних методах, що дає змогу враховувати невизначеність і ризики. Особливу увагу приділено інтеграції цифрових інструментів прогнозування у формування раціонального календарного графіка. Обґрунтовано доцільність побудови багатовимірного класифікаційного простору з урахуванням імовірнісного розподілу параметрів. Сформовано типологію впливу ключових факторів на часові затримки та визначено їхню пріоритетність щодо критичного шляху. Запропоновано методологію використання моделей Монте-Карло, Террі Вільямса та байєсівських механізмів оновлення оцінок. Доведено, що стохастичні моделі забезпечують перехід від точкових прогнозів до інтервальних оцінок із розподілом імовірностей. Це дозволяє визначати не лише очікуваний строк завершення робіт, а й критичні часові межі реалізації проєкту. Показано можливості адаптації прогнозів до змін зовнішніх умов у режимі реального часу. Обґрунтовано необхідність урахування складних взаємозв'язків між різнорідними факторами невизначеності. Сформовано підхід до аналізу чутливості, сценарного прогнозування та симуляції ризиків. Запропоновано послідовну логіку побудови стохастичної моделі – від збору

вхідних даних до прийняття управлінських рішень. Сформоване методичне підґрунтя створює основу для апробації прикладного інструментарію оптимізації тривалості будівництва на наступному етапі дослідження.

Третій, ключовий, розділ дисертації відображає формування та практичну апробацію науково-аналітичного комплексу визначення оптимальної тривалості будівництва в умовах невизначеності. На цьому етапі всі процедури оптимізації строків та відповідні результати отримано на основі застосування суттєво модернізованої цифрово-адаптованої мережевої організаційно-технологічної моделі будівництва. Розроблено алгоритми прийняття строкових управлінських рішень, пристосовані до нестабільності зовнішнього середовища та варіативності ресурсних обмежень. Виконано верифікацію цифрової моделі оптимізації на базі фактичних даних реалізованих будівельних проєктів. Ключовим результатом етапу стало створення цифрової мережевої моделі вдосконаленого типу, що поєднує інформаційно-аналітичні, прогнозні та коригувальні процедури оптимізації тривалості робіт у межах циклу будівельного девелоперського проєкту. Обґрунтовано логіку інтеграції цифрових інструментів у структуру мережевої моделі та застосування алгоритмів цифрового сценарного моделювання. Виконано порівняльний аналіз базової та оптимізованої тривалості з використанням традиційних і стохастичних підходів. Досліджено залежність скоригованої тривалості від рівня нестабільності зовнішнього середовища. Запропоновано адаптивний алгоритм оптимізації та алгоритм обчислення скоригованої тривалості з використанням нейронної мережі типу LSTM. Реалізація цього етапу забезпечила зростання точності прогнозів, підвищення надійності та прикладної результативності розробленої моделі. Сформовано практичні передумови для її подальшого впровадження у діяльність будівельних організацій на наступному етапі дослідження

Четвертий, завершальний розділ дисертації присвячений практичному впровадженню розробленого науково-прикладного інструментарію

визначення оптимальної тривалості будівництва та оцінюванню результатів його функціонування в реальних виробничих умовах. Ключовим результатом етапу є створення комплексу прикладних програмних засобів, що реалізують удосконалену цифрову мережеву модель циклу будівельного девелоперського проєкту. Програмні модулі забезпечують цифровий супровід адміністрування проєкту, формування первинного профілю участі організацій-виконавців, оцінювання ролі стейкхолдерів і визначення ключових показників ефективності. Побудована інтегрована мережева модель дозволяє відтворювати критичний шлях, здійснювати локалізацію «вузьких місць» та виконувати коригування ресурсного забезпечення. Інструменти факторно-ризикової декомпозиції і стохастично-ймовірнісного прогнозування забезпечують ранжування ризиків та сценарне моделювання строків. Модулі адаптивного навчання на основі LSTM та механізми байєсівського оновлення підтримують самонавчання й постійне уточнення моделей. Оптимізаційний блок визначає мінімально можливі строки з урахуванням рівня ризиків, а підсумковий модуль здійснює синтез результатів для остаточного узгодження організаційно-технологічних параметрів. Засоби візуальної аналітики та дашборди забезпечують оперативний контроль і наочне відображення стану проєкту. Підсумком розділу є визначення синергетичного ефекту проєктного циклу, оцінка технічної, економічної та виконавчої результативності, а також формування практичних рекомендацій щодо скорочення тривалості будівництва без зниження якості.

Інноваційною сутністю представленого дослідження, що вирізняє його значення для науки, є наукове обґрунтування та впровадження нового алгоритму імітаційно-стохастичного коригування та оптимізації тривалості виконання робіт у будівельних проєктах. Алгоритм передбачає системну постановку задачі з визначенням об'єкта моделювання, цілей оптимізації, критичних робіт, ресурсних обмежень та ключових показників ефективності. Використовується структурований збір і підготовка вихідних даних, включно

з календарними графіками, ресурсами та історичною інформацією про строки виконання робіт, із формуванням ймовірнісних інтервалів тривалості. Створюється детальна початкова модель графіка робіт, що відтворює залежності між завданнями та ресурсними обмеженнями. Імітаційне моделювання дозволяє оцінювати розподіл загальної тривалості будівництва та виявляти критичні шляхи, а статистичний аналіз результатів забезпечує коригування робіт із високим ризиком затримок. Оптимізаційні процедури, включно зі стохастичними методами та генетичними алгоритмами, визначають мінімальні очікувані строки з урахуванням ресурсних обмежень. Проведено валідацію моделі на основі історичних та реальних даних, що підвищує точність прогнозів. Формуються практичні рекомендації та план управління ризиками для ефективного ресурсного та часово орієнтованого керування проєктом.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у впровадженні та теоретичному обґрунтуванні стохастичного підходу до визначення тривалості будівництва, що вперше розглядає часові параметри проєкту як інтервали ймовірнісних станів замість фіксованих значень. У межах дослідження запропоновано класифікацію чинників, що впливають на строки реалізації будівництва, включно з організаційними, технологічними, ресурсними, зовнішніми та форс-мажорними ризиками, з визначенням їх інтенсивності та ймовірності впливу. Теоретико-методичний фундамент строкового планування вдосконалено шляхом інтеграції багатофакторного аналізу та імовірнісного моделювання, що забезпечило адаптивність управлінських рішень в умовах невизначеності. Сформовано цифровий інструментарій прогнозування строків із застосуванням методів Монте-Карло та аналізу чутливості, який дозволяє автоматично генерувати альтернативні календарні сценарії. Подальший розвиток отримали підходи до формування календарно-ресурсних стратегій через введення показника гнучкості F-index, що характеризує здатність системи адаптуватися до змін середовища. Подальшого розвитку набула процедура оцінки ефективності строкового

управління із застосуванням інтегрального TRE-індексу, орієнтованого на ризиково-часову результативність.

На підставі отриманих у дисертації результатів:

Вперше:

- ✓ обґрунтовано «інтегроване поняття оптимальної тривалості будівництва». Оптимальна тривалість реалізації будівельного девелоперського проєкту визначається як науково обґрунтований, адаптивний часовий інтервал здійснення інвестиційно-будівельного циклу. Він формується шляхом багатовимірного аналізу внутрішніх і зовнішніх умов розвитку проєкту та формалізується з використанням стохастичних і ймовірнісних методів прогнозування;
- ✓ розроблено нову класифікацію чинників, що впливають на тривалість реалізації будівельних проєктів, у межах якої часові ризики структуровано за групами: організаційні, технологічні, ресурсні, зовнішні та форс-мажорні. Кожен фактор оцінюється за силою впливу, його напрямом та ймовірністю реалізації;

Удосконалено:

- *стохастичний підхід до визначення тривалості будівництва, який інтегрує ймовірнісні параметри ресурсних відхилень, ризикові фактори та варіативність технологічних процесів. Це дозволяє оцінювати часові сценарії не як фіксовані величини, а як діапазон ймовірнісних станів, що підвищує точність прогнозів, забезпечує гнучкість управлінських рішень та адаптивність планування у змінному середовищі будівельного проєкту.*
- *теоретико-методичні підходи до строкового планування шляхом інтеграції багатфакторного аналізу з ймовірнісним моделюванням. Це дало змогу сформулювати адаптивну методику оцінки тривалості будівництва в умовах нестабільності та невизначеності, забезпечуючи обґрунтоване прийняття рішень щодо критичних робіт, ресурсних обмежень та пріоритетів виконання завдань.*

- науково-методичний підхід до формалізації змісту та побудови компонент цифрового інструментарію прогнозування строків будівництва, заснованого на методах Монте-Карло, аналізі чутливості та ризиковому ранжуванні факторів. Це забезпечує автоматизоване формування альтернативних календарних сценаріїв, дозволяє оцінювати варіативність строків, прогнозувати критичні шляхи та підвищує ефективність управління часовими параметрами проєктів.

Набули подальшого розвитку:

- науково-прикладні підходи до комплексної інтеграції класичних мережевих методів організації будівництва з цифровими інструментами планування. Розроблена модель поєднує параметричний графо-аналітичний базис BIM для високоточних симуляцій життєвого циклу об'єкта, дозволяючи візуалізувати часові та технологічні взаємозв'язки, прогнозувати наслідки змін і оцінювати ризики. Це забезпечує підвищену точність управління проєктом та контроль за тривалістю робіт;
- методико-аналітичні процедури відстеження трансформацій організаційно-технологічних характеристик на всіх стадіях будівництва. Такий підхід відкриває можливості для динамічного коригування календарних планів і ресурсного забезпечення в умовах невизначеності, поєднуючи цифрові та традиційні методи управління, що сприяє оптимізації тривалості будівництва та підвищенню ефективності реалізації девелоперських проєктів;
- науково-методичні підходи до формування календарно-ресурсних стратегій через введення показника гнучкості строкового управління (*F-index*). Цей індикатор відображає здатність проєкту адаптуватися до змін ресурсної динаміки та впливу зовнішніх ризиків, забезпечуючи більшу стійкість і ефективність у плануванні будівельних процесів;
- аналітичні процедури оцінювання ефективності строкового планування шляхом впровадження інтегральної метрики *Time-Risk Efficiency* (*TRE-індексу*). Вона дозволяє кількісно оцінити якість управління строками

порівняно з традиційними детермінованими методами, враховуючи ризикові та часові аспекти, що підвищує точність і прогнозованість управлінських рішень.

Результати наукового дослідження знайшли своє застосування в діяльності будівельних та девелоперських компаній, зокрема «Експертиза-С», «Марстог-груп» та «Альфа-сервіс». На основі досліджень автора було створено комплекс програм для оптимізації тривалості робіт у девелоперських та будівельних проєктах. Впровадження розробленого інструментарію дозволяє скоротити строки реалізації проєктів, знизити рівень невизначеності та ефективніше використовувати ресурси. Результати можуть слугувати основою для формування корпоративних регламентів управління строками. Вони також відкривають перспективи розвитку інтегрованих BIM-модулів (BIM+Time) та систем моніторингу ризиків. Окремі результати дослідження були інтегровані у навчальні дисципліни, магістерські роботи та кейс-тренажери КНУБА.

Ключові слова: організація будівництва, оптимальна тривалість будівництва, невизначеність характеристик будівельного проєкту, стохастичне моделювання строків, ймовірнісні методи прогнозування, інтеграція BIM-,цифрових та календарних моделей, ризик-орієнтоване управління, алгоритми імітаційної оптимізації, TRE-індекс .

ABSTRACT

Blonny A.V. **Scientific and applied tools for determining the optimal duration of construction under conditions of uncertainty.**- Qualification scientific work in the form of a manuscript. - Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 19 "Architecture and Construction" in the specialty 192 "Construction and Civil Engineering". - Kyiv National University of Construction and Architecture. - Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to the conceptual, theoretical and scientific and methodological substantiation and development of scientific and applied tools for determining the rational duration of construction under conditions of uncertainty

on the basis of complex time analytics, digital forecasting and adaptive risk modeling. The implementation of the goal involves the formation of models of stochastic planning of terms, the development of algorithms for making timely management decisions, as well as the preparation of practical recommendations for managers aimed at reducing the duration of construction without reducing quality and disrupting resource balance. The urgency of conducting the study is due to transformational processes in the construction industry, which are accompanied by the instability of the external environment, changing market conditions, fluctuations in resource supply and increasing risks. Current regulatory-deterministic approaches to term planning in the conditions of variability of technologies, logistical constraints and unpredictable factors lose accuracy and manageability, which necessitates the introduction of stochastic forecasting methods. The relevance of the study is enhanced by the industry's demand for digital, analytically based mechanisms for determining the optimal duration of construction, taking into account risks, resource availability and technological consistency. The proposed toolkit is aimed at increasing the accuracy of schedule planning, minimizing schedule disruptions, reducing costs and synchronizing the actions of project participants. The implementation of its results ensures the formation of adaptive models of schedule management, especially relevant for large-scale infrastructure, development and restoration projects.

The first section of the dissertation focused on the formation of conceptual and theoretical foundations for creating a scientific and applied toolkit for determining the optimal duration of construction under conditions of uncertainty. Within its framework, a retrospective analysis of the development of approaches to estimating the terms of construction processes was carried out - from regulatory fixed schemes to flexible digital models of schedule planning. The economic and organizational nature of uncertainty and its impact on the time parameters of the implementation of construction projects was revealed, which made it possible to identify key risk groups. The uncertainty of the organizational and technological characteristics of a development project was considered as a multidimensional

category that reflects the incompleteness and variability of information regarding internal and external factors influencing the construction terms. It covers fluctuations in resource provision, variability of technological regimes, logistical conditions, human resources potential and organizational management structure. Special attention is paid to the influence of the external environment, in particular political, economic, regulatory and climatic factors. A review of modern scientific approaches to adaptive management of construction deadlines is carried out, taking into account the stochastic nature of processes. The theoretical basis formed serves as the basis for building an applied toolkit for digital forecasting and modeling of optimal construction duration. It is substantiated that uncertainty in construction projects acts as an active factor in the transformation of the time, resource and performance management system. In this regard, calendar planning is considered as a process of dynamic balancing between rigidly fixed control points and adaptive adjustment mechanisms. Ensuring the stability of schedules in a changing environment requires the implementation of systemic approaches to uncertainty management based on the integration of analytical, predictive, information and behavioral tools.

The second section of the dissertation is aimed at forming a general methodological basis for developing a scientific and applied toolkit for determining the optimal duration of construction under conditions of uncertainty. Within the framework of this stage, a transition was made from theoretical generalizations to the construction of applied models of time optimization of construction processes. A methodology for the formation and transformation of organizational and technological network models of various types was developed using modern BIM and PLM technologies, as well as forecasting and scenario and optimization approaches. The factors that determine the time parameters of projects were structured, with the establishment of their interrelationships, intensity of influence and priority. The proposed models for estimating duration are based on probabilistic and stochastic methods, which makes it possible to take into account uncertainty and risks. Special attention is paid to the integration of digital

forecasting tools into the formation of a rational calendar schedule. The feasibility of constructing a multidimensional classification space taking into account the probability distribution of parameters was substantiated. A typology of the influence of key factors on time delays has been formed and their priority with respect to the critical path has been determined. A methodology for using Monte Carlo, Terry Williams, and Bayesian estimation update mechanisms has been proposed. It has been proven that stochastic models provide a transition from point forecasts to interval estimates with probability distributions. This allows us to determine not only the expected completion time of the work, but also the critical time limits for project implementation. The possibilities of adapting forecasts to changes in external conditions in real time have been shown. The need to take into account complex relationships between heterogeneous uncertainty factors has been substantiated. An approach to sensitivity analysis, scenario forecasting, and risk simulation has been formed. A consistent logic for building a stochastic model has been proposed - from collecting input data to making management decisions. The formed methodological basis creates the basis for testing the applied tools for optimizing construction duration at the next stage of the study.

The third, key, section of the dissertation reflects the formation and practical testing of a scientific and analytical complex for determining the optimal duration of construction under conditions of uncertainty. At this stage, all procedures for optimizing terms and the corresponding results were obtained based on the application of a significantly modernized digitally adapted network organizational and technological model of construction. Algorithms for making timely management decisions have been developed, adapted to the instability of the external environment and the variability of resource constraints. The digital optimization model has been verified based on actual data from implemented construction projects. The key result of the stage was the creation of an advanced digital network model that combines information-analytical, predictive and corrective procedures for optimizing the duration of work within the cycle of a construction development project. The logic of integrating digital tools into the

structure of the network model and the application of digital scenario modeling algorithms has been substantiated. A comparative analysis of the basic and optimized duration has been performed using traditional and stochastic approaches. The dependence of the adjusted duration on the level of instability of the external environment was studied. An adaptive optimization algorithm and an algorithm for calculating the adjusted duration using a neural network of the LSTM type were proposed. The implementation of this stage ensured an increase in the accuracy of forecasts, increased reliability and applied effectiveness of the developed model. Practical prerequisites were formed for its further implementation in the activities of construction organizations at the next stage of the study. The fourth, final section of the dissertation is devoted to the practical implementation of the developed scientific and applied tools for determining the optimal duration of construction and evaluating the results of its functioning in real production conditions. The key result of the stage is the creation of a set of applied software tools that implement an improved digital network model of the construction development project cycle. Software modules provide digital support for project administration, the formation of the primary profile of the participation of implementing organizations, the assessment of the role of stakeholders and the determination of key performance indicators. The built integrated network model allows you to reproduce the critical path, localize "bottlenecks" and make adjustments to resource provision. Factor-risk decomposition and stochastic-probabilistic forecasting tools provide risk ranking and scenario modeling of terms. Adaptive learning modules based on LSTM and Bayesian update mechanisms support self-learning and constant refinement of models. The optimization block determines the minimum possible terms taking into account the level of risks, and the final module synthesizes results for the final coordination of organizational and technological parameters. Visual analytics tools and dashboards provide operational control and a visual display of the project status. The result of the section is the determination of the synergistic effect of the project cycle, the assessment of technical, economic and executive effectiveness, as well as the

formation of practical recommendations for reducing the duration of construction without reducing quality.

The innovative essence of the presented research, which distinguishes its significance for science, is the scientific substantiation and implementation of a new algorithm for simulation-stochastic adjustment and optimization of the duration of work in construction projects. The algorithm involves a systematic formulation of the problem with the definition of the object of modeling, optimization goals, critical works, resource constraints and key performance indicators. Structured collection and preparation of input data is used, including calendar schedules, resources and historical information on the terms of work, with the formation of probabilistic duration intervals. A detailed initial model of the work schedule is created, which reproduces the dependencies between tasks and resource constraints. Simulation modeling allows you to estimate the distribution of the total construction duration and identify critical paths, and statistical analysis of the results provides adjustment of works with a high risk of delays. Optimization procedures, including stochastic methods and genetic algorithms, determine the minimum expected terms taking into account resource constraints. The model is validated based on historical and real data, which increases the accuracy of forecasts. Practical recommendations and a risk management plan are formed for effective resource and time-oriented project management.

The scientific novelty of the dissertation work lies in the implementation and theoretical substantiation of a stochastic approach to determining the duration of construction, which for the first time considers the time parameters of the project as intervals of probabilistic states instead of fixed values. The study proposes a classification of factors affecting the timing of construction, including organizational, technological, resource and external risks, with a determination of their intensity and probability of impact. The theoretical and methodological foundation of term planning is improved by integrating multifactor analysis and probabilistic modeling, which ensures the adaptability of management decisions in conditions of uncertainty. A digital toolkit for forecasting deadlines using Monte

Carlo methods and sensitivity analysis has been developed, which allows for the automatic generation of alternative calendar scenarios. Approaches to the formation of calendar-resource strategies have been further developed through the introduction of the F-index flexibility indicator, which characterizes the system's ability to adapt to environmental changes. The procedure for assessing the effectiveness of term management has been improved by using the integral TRE index, focused on risk-time performance.

Based on the results obtained in the dissertation:

For the first time:

✓ the "integrated concept of optimal construction duration" has been substantiated. The optimal duration of the implementation of a construction development project is defined as a scientifically substantiated, adaptive time interval for the implementation of the investment-construction cycle. It is formed through a multidimensional analysis of the internal and external conditions of the project development and is formalized using stochastic and probabilistic forecasting methods;

✓ a new classification of factors affecting the duration of construction project implementation has been developed, within which time risks are structured into groups: organizational, technological, resource, external and force majeure. Each factor is assessed by the strength of the impact, its direction and probability of implementation.

Improved:

- a stochastic approach to determining the duration of construction, which integrates probabilistic parameters of resource deviations, risk factors and variability of technological processes. This allows time scenarios to be assessed not as fixed values, but as a range of probabilistic states, which increases the accuracy of forecasts, ensures flexibility of management decisions and adaptability of planning in a changing environment of a construction project.

- theoretical and methodological approaches to time planning by integrating multifactor analysis with probabilistic modeling. This made it possible to form an

adaptive methodology for estimating the duration of construction in conditions of instability and uncertainty, ensuring informed decision-making regarding critical work, resource constraints and task performance priorities.

- a scientific and methodological approach to formalizing the content and building components of a digital construction time forecasting tool, based on Monte Carlo methods, sensitivity analysis and risk ranking of factors. This provides automated generation of alternative calendar scenarios, allows to assess variability of terms, predict critical paths and increases the efficiency of managing time parameters of projects.

Further development has been made:

- scientific and applied approaches to the complex integration of classical network methods of construction organization with digital planning tools. The developed model combines the parametric graph-analytical basis of BIM for high-precision simulations of the life cycle of an object, allowing to visualize time and technological relationships, predict the consequences of changes and assess risks. This provides increased accuracy of project management and control over the duration of work;

- methodological and analytical procedures for tracking transformations of organizational and technological characteristics at all stages of construction. This approach opens up opportunities for dynamic adjustment of calendar plans and resource provision in conditions of uncertainty, combining digital and traditional management methods, which helps to optimize the duration of construction and increase the efficiency of the implementation of development projects;

- scientific and methodological approaches to the formation of calendar and resource strategies through the introduction of the term management flexibility indicator (F-index). This indicator reflects the ability of the project to adapt to changes in resource dynamics and the impact of external risks, ensuring greater stability and efficiency in the planning of construction processes;

- analytical procedures for assessing the effectiveness of term planning by implementing the integrated Time-Risk Efficiency metric (TRE-index). It allows

you to quantitatively assess the quality of term management compared to traditional deterministic methods, taking into account risk and time aspects, which increases the accuracy and predictability of management decisions.

The results of the scientific study have found their application in the activities of construction and development companies, in particular "Expertiza-S", "Marston-group" and "Alfa-service". Based on the author's research, a set of programs was created to optimize the duration of work in development and construction projects. The implementation of the developed toolkit allows to reduce project implementation times, reduce the level of uncertainty and use resources more efficiently. The results can serve as the basis for the formation of corporate regulations for managing deadlines. They also open up prospects for the development of integrated BIM modules (BIM+Time) and risk monitoring systems. Some research results were integrated into academic disciplines, master's theses and case simulators of the KNUBA.

Keywords: construction organization, optimal construction duration, uncertainty of construction project characteristics, stochastic modeling of deadlines, probabilistic forecasting methods, integration of BIM, digital and calendar models, risk-oriented management, simulation optimization algorithms, TRE-index.