

**П.Є. Григоровський**, д.т.н., с.н.с., перший заступник директора інституту з наукової роботи, Дійсний член Академії будівництва України ORCID: 0000-0003-0527-5890. ДП “НДІБВ”, Київ

**С. В. Іносів**, к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів, ORCID: 0000-0001-8305-5514

**В. Ю. Луценко**, к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів;

**Л. Г. Соболевська**, асистент кафедри автоматизації технологічних процесів;

**А.О. Вольгерс**, асистент кафедри автоматизації технологічних процесів;  
КНУБА, м. Київ

## КЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КИЄВА СТОСОВНО ПРОЦЕСУ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ БЕТОНУ І ЙОГО МОНІТОРИНГУ

**Анотація.** Київ знаходиться в несприятливому географічному положенні, що відовідає локальному максимуму середньорічної кількості циклів замерзання — відтаювання. Цикли відтаювання — замерзання діють руйнівню на бетон і дорожні покриття. В даній роботі статистичними методами підтверджується вказана негативна особливість клімату в Києві. При запозиченні передового досвіду побудови систем автоматизації моніторингу і діагностики технічного стану споруд в умовах сприятливого клімату Європи, слід враховувати несприятливі місцеві кліматичні особливості і значно більше уваги приділяти моніторингу процесів тріщиноутворення бетону і корозії арматури.

**Ключові слова:** клімат, Київ, бетон, цикли заморожування, тріщиноутворення, моніторинг.

### Постановка проблеми.

З точки зору клімату, Київ знаходиться приблизно на границі теплого і м'якого клімату Європи і холодного чи континентального кліматів на півночі і сході відповідно. Вважається, що в цих альтернативних варіантах клімат здоровіше нашого, бо менше тривалість осінньої і весняної сльоти, коли температура близька до нуля, велика вологість і чередуються відтаювання і заморозки. Відомо, що цикли відтаювання — заморожування діють руйнівню на бетон і дорожні покриття. В даній роботі статистичними методами підтверджується вказана негативна особливість клімату в Києві.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Будівельна інфраструктура в світі стає все більш розвиненою. Епоха, коли більшість споруд були новими, закінчилася. Більша частина критично важливої інфраструктури, включаючи мости, дамби та будівлі, була зведена багато десятиліть назад і вичерпала свій проектний ресурс. Все більше споруд з часом старіють і накопичують приховані дефекти. Наприклад, в Сполучених Штатах, згідно Звіту про інфраструктуру 2017 року, опублікованому Американським товариством інженерів-будівельників, існує більш 56000 мостів зі структурно дефектними конструкціями, для відновлення яких потрібні 123 мільярди доларів США. Замість планового виводу споруд з експлуатації, все частіше спостерігаються дострокові, позапланові, не прогнозовані, або навіть катастрофічні завершення життєвих циклів споруд, пов'язані з великими збитками, або навіть людськими жертвами.

В зв'язку зі сказаним, останнім часом великі сподівання покладаються на автоматизацію діагностики технічного стану споруд, як з використанням спеціально розроблених, вбудованих в споруду автоматизованих систем моніторингу, так і з використанням переносних автоматизованих приладів для ручної інспекції [1- 3].

При запозиченні передового досвіду побудови систем автоматизації моніторингу і діагностики технічного стану споруд в умовах сприятливого клімату Європи [5–7], слід враховувати несприятливі місцеві кліматичні особливості.

### Мета дослідження

Метою дослідження є статистична перевірка вказаної негативної особливості клімату Києва і видача відповідних рекомендацій розробникам систем автоматизованого моніторингу споруд. Треба значно більше уваги приділяти моніторингу процесів тріщиноутворення бетону і корозії арматури. Методом дослідження є статистичний аналіз масиву середньодобових температур Києва за 100 років.

### Викладання основного матеріалу

На першому етапі було виконано статистичне розділення випадкових погодних варіацій температури і детермінованого сезонного тренду температури в м.Києві, з використанням масиву метеоданих про середньодобові температури за 100 років (1900 — 2000 роки). На рис. 1 для наочності показана частина графіка зміни середньодобової температури в м. Києві за останні 3 роки [4].

Розрахунковий сезонний (зима-літо) тренд температури являє собою синусоїду з періодом 365 днів. Різниця між трендом і температурою є погодними варіаціями температури. Параметри синусоїди (амплітуда 13 градусів, зміщення вгору, або середньорічна температура, 7.55 градуса, фаза відповідає мінімуму температури 20-го січня) отримано мінімізацією середньоквадратичного відхилення тренда від графіка температури. Вирішення цієї оптимізаційної задачі отримано за допомогою автоматичного оптимізатора.

Цикли відтавання — заморожування виявлялися за наступним алгоритмом. Якщо сьогодні температура менше нуля, а вчора була більше нуля, значить відбулося заморожування і на вихід видається логічна одиниця. В іншому випадку видається нуль.

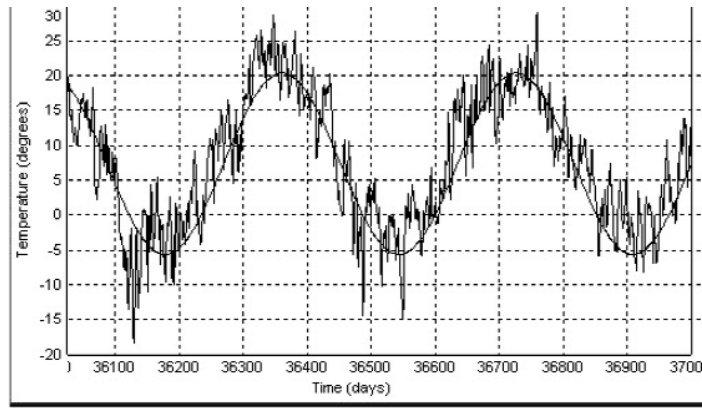


Рис. 1 Осцилограма коливань середньодобової Freezing cycles

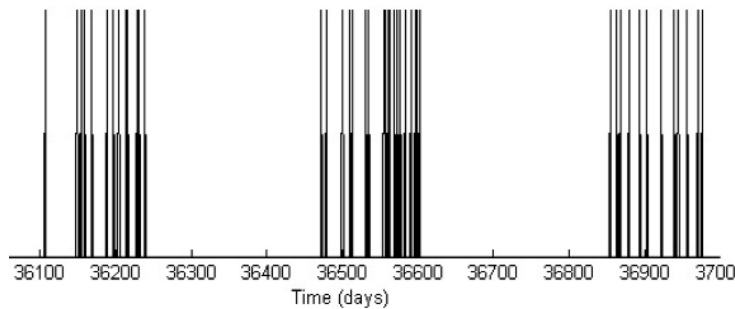


Рис. 2 Виявлені цикли заморожування

Мається на увазі припущення, що більш швидкі коливання температури (менше доби) згладжуються теплової інерційністю бетонного масиву. Результат роботи алгоритму (логічна одиниця, тобто наявність заморожування, відображається вертикальною міткою) наведено на рис. 2.

Середня кількість циклів відтаювання – заморожування виявилася 12,7 циклу за рік для Києва.

На рис. 3 наведено розподіл вірогідності замерзання на протязі року. Графік згладжено подвійним ковзаючим середнім на інтервалі 9 діб (товста лінія). Найбільш ймовірні замерзання в грудні и березні.

Завдяки тому, що сезонний тренд відділений від випадкових погодних варіацій у вигляді детермінованої синусоїди, з'являється можливість досліджувати вплив змін середньої трендової температури (тобто зміщення географічного положення в більш

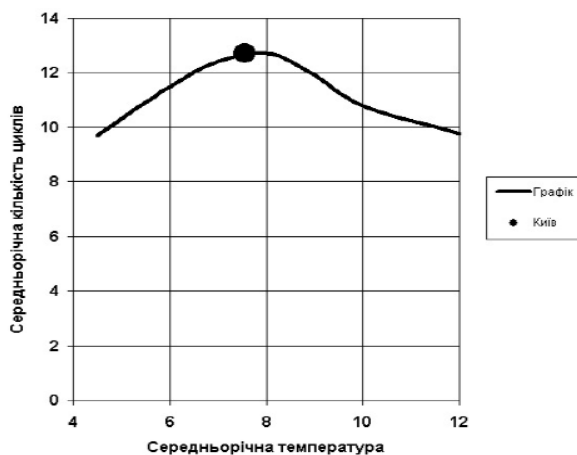


Рис. 3 Розподіл вірогідності замерзання на протязі року

теплі або холодні області) і амплітуди трендових сезонних коливань (тобто зміщення географічного положення в сторону більш-менш континентального клімату) на частоту заморожувань. Мається на увазі припущення, що погодні варіації температури при цьому змінюються несуттєво.

В результаті отримано нетривіальний результат. Виявилася, що з точки зору частоти циклів відтавання-замерзання, Київ має найгірше можливе локальне географічне розташування. Зазначене твердження ілюструється малюнками 4 і 5.

Як збільшення, так і зменшення середньої трендової температури (рис 4) призводять до зменшення кількості циклів замерзання. Тобто, як більш, так і менш теплий клімат виявляється краще за вказаним критерієм.

Більш того, як збільшення, так і зменшення амплітуди сезонних коливань температури (рис 5) призводять до зменшення кількості циклів замерзання. Тобто, як більш, так і менш континентальний клімат виявляється краще за вказаним критерієм.

Тобто, Київ знаходиться в несприятливому географічному положенні, що відповідає локальному максимуму середньорічної кількості циклів замерзання-відтавання. В суміжних холодніших або більш континентальних регіонах переходи між зимою і літом відбуваються швидше. В суміжних менш континентальних або тепліших регіонах довше триває тепла пора року. Це одна з причин (далеко не основна), чому у нас в такому поганому стані залізобетонні споруди, а також дорожні і тротуарні покриття, не дивлячись на неперервні ремонтні роботи.

#### Висновки

1. Корозія арматури наразі визнана основним фактором, що спричиняє широкомасштабне передча-

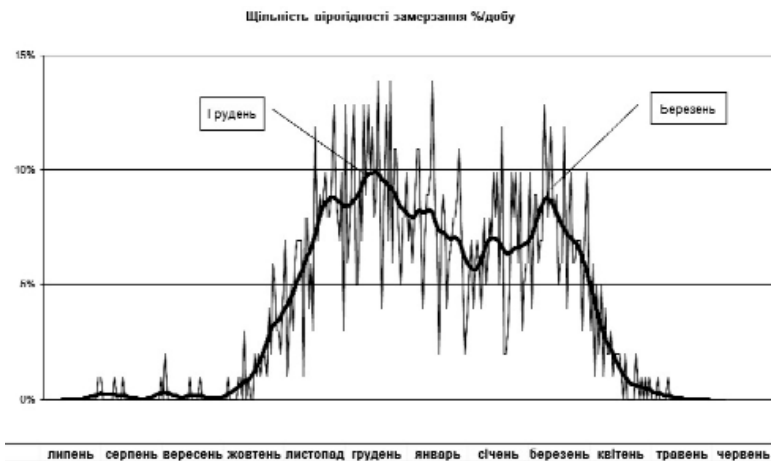


Рис. 4 Залежність середньорічної кількості циклів замерзання-відтаювання від середньорічної трендової температури

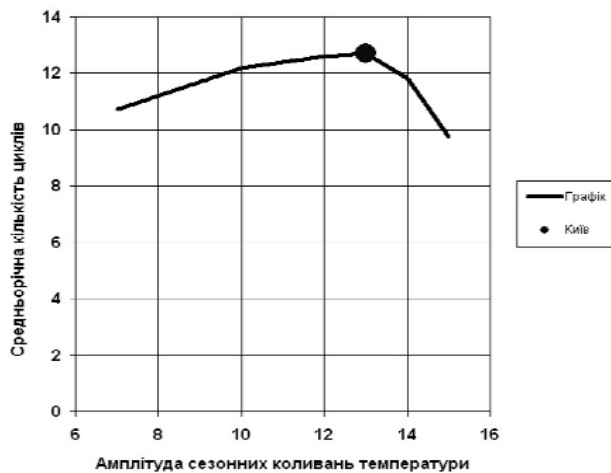


Рис. 5 Залежність середньорічної кількості циклів замерзання-відтаювання від амплітуди трендових сезонних коливань температури

сне руйнування залізобетонних конструкцій у всьому світі. Продукти корозії мають в три рази більший обсяг, ніж сталь до корозії. Вони розпирають бетон зсередини і викликають появу в ньому тріщин. Після цього доступ води і кисню до арматури полегшується, і процес корозії протікає все більш інтенсивно. Часті заморозки і відлиги ще більш прискорюють процес. Збільшення

обсягу води в тріщинах при переході в лід, викликає розширення тріщин і руйнування бетону.

2. Київ знаходиться в несприятливому географічному положенні, що відповідає локальному максимуму середньорічної кількості циклів замерзання-відтаювання. В суміжних холодніших або більш континентальних регіонах переходи між зимою і літом відбуваються швидше. В суміжних менш континентальних або тепліших регіонах довше триває тепла пора року.

3. Це одна з причин (далеко не основна), чому у нас в такому поганому стані залізобетонні споруди, а також дорожні і тротуарні покриття, не дивлячись на неперервні ремонтні роботи.

4. В зв'язку із збільшенням кількості аварійних споруд в усьому світі, останнім часом великі сподівання покладаються на автоматизацію діагностики технічного стану споруд, як з використанням спеціально розроблених, вбудованих в споруду автоматизованих систем моніторингу, так і з використанням переносних автоматизованих приладів для ручної інспекції.

5. При запозиченні передового досвіду побудови систем автоматизації моніторингу і діагностики технічного стану споруд в умовах сприятливого клімату Європи, слід враховувати несприятливі місцеві кліматичні особливості і значно більше уваги приділяти моніторингу процесів тріщиноутворення бетону і корозії арматури.

### Література

1. Григоровський П.Є. Методика проведення моніторингу висотних будівель з урахуванням досвіду будівництва в м. Києві : / П.Є. Григоровський, А.М. Куделя, Ю.В. Дейнека // Нові технології в будівництві : наук-техн. зб. — К.: Вид-во "Ліра-К", 2008. — Вип. 16. — С. 56?58..
2. Григоровський П.Є. Загальні принципи моніторингу технічного стану будівель та інженерних споруд : / П.Є. Григоровський, Н.П. Чуканова // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. пр. Західного геодезичного товариства УТГК — Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2012. — Вип. 1(23). — С. 123?-127.
3. Григоровський П.Є. Вплив моніторингу технічного стану на термін експлуатації будівель: / П.Є. Григоровський, Н.П. Чуканова // 462 Будівельне виробництво : наук-техн. зб. — К. : ЦП "Компринт", 2012. — Вип. 54. — С. 7?9.
4. Український гідрометеорологічний центр. Архів. <https://meteo.ua/archive/>.
5. Hryhorovskiy P. Analysis of factors influencing the life of the building during operation : / P. Hryhorovskiy, N. Chukanova, O. Murasiova // International Academy Journal "Web of Scholar". ? Warsaw, Poland : RS Global Sp. z O.O., 2018. — Vol. 1. — Issue 2(20). — P. 75-82.
6. Hryhorovskiy P. Method of instrumental monitoring during operation of buildings and structures with account for vulnerability factor : / P. Hryhorovskiy // Science and Education a New Dimension : Natural and Technical Sciences. — Budapest, Hungary : R?zsadomb Contact Kft. — 2018. — Volume 1(17). — Issue 157. — P. 14-16.
7. Hryhorovskiy P. On the factors influencing the reliability of the building during the operation : / P. Hryhorovskiy, N. Chukanova, O. Murasiova // The goals of the World Science 2018 : proc. of IV International Scientific and Practical Conference, January 31, 2018. — Dubai, UAE : RS Global, 2018. — P. 75-82..

**References**

1. Grigorovsky P. *Methods of monitoring high-rise buildings in the light of construction experience in Kyiv*: / P.E. Grigorovsky, A.M. Kudelya, Yu.V. Deineka // *New technologies in construction: scientific-technical. Sat.* — K.: "Lira-K", 2008. — Iss. 16. — P. 56 — 58.
2. Grigorovsky P. *General principles for monitoring the technical condition of buildings and engineering structures*: / P.E. Grigorovsky, NP Chukanova // *Modern achievements of geodetic science and production: Coll. Sciences. of the Western Geodetic Society of UTGK — Lviv: Issue of Lviv Polytechnic*, 2012. — Issue. 1 (23). — P. 123 — 127.
3. Grigorovsky P. *Influence of monitoring of technical condition on the lifetime of buildings*: / P.E. Grigorovsky, NP Chukanova // *462 Construction production: scientific-technical. Sat.* — K.: Comprint CPU, 2012. — Issue 54. P. 79
4. *Ukrainian Hydrometeorological Center. Archive.* <https://meteo.ua/archive/>.
5. Hryhorovskiy P. *Analysis of factors influencing the life of the building during operation* : / P. Hryhorovskiy, N. Chukanova, O. Murasiova // *International Academy Journal "Web of Scholar". ? Warsaw, Poland : RS Global Sp. z O.O., 2018. — Vol. 1. — Issue 2(20). — P. 75-82.*
6. Hryhorovskiy P. *Method of instrumental monitoring during operation of buildings and structures with account for vulnerability factor* : / P. Hryhorovskiy // *Science and Education a New Dimension : Natural and Technical Sciences.* — Budapest, Hungary : R?zsadomb Contact Kft. — 2018. — Volume 1(17). — Issue 157. — P. 14-16.
7. Hryhorovskiy P. *On the factors influencing the reliability of the building during the operation* : / P. Hryhorovskiy, N. Chukanova, O. Murasiova // *The goals of the World Science 2018 : proc. of IV International Scientific and Practical Conference, January 31, 2018. — Dubai, UAE : RS Global, 2018. — P. 75-82..*

**П.Е. Григоровский**, д.т.н., с.н.с., первый зам. директора института по научной работе, ORCID: 0000-0003-0527-5890. ДП "НДІБВ", г. Киев

**С. В. Иносов**, к.т.н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов; ORCID: 0000-0001-8305-5514,

**В. Ю. Луценко**, к.т.н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов;

**Л. Г. Соболевская**, ассистент кафедры автоматизации технологических процессов;

**А.О. Вольгерс**, ассистент кафедры автоматизации технологических процессов; КНУСА, г. Киев

**КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КИЕВА ОТНОСИТЕЛЬНО ПРОЦЕССА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ БЕТОНА И ЕГО МОНИТОРИНГА**

**Анотация.** Киев находится в неблагоприятном географическом положении, которое соответствует локальному максимуму среднегодового количества циклов замерзания — оттаивания. Циклы оттаивания — замерзания действуют разрушительно на бетон и дорожные покрытия. В данной работе статистическими методами подтверждается указанная негативная особенность климата в Киеве. При заимствовании передового опыта создания систем автоматизации мониторинга и диагностики технического состояния сооружений в условиях благоприятного климата Европы, следует учитывать неблагоприятные местные климатические особенности и значительно больше внимания уделять мониторингу процессов трещинообразования бетона и коррозии арматуры.

**Ключевые слова:** климат, Киев, бетон, циклы замораживания, трещинообразование, мониторинг.

**P. Hryhorovskiy**, Doctor of technical sciences, first deputy director for science, member of the Academy of Construction of Ukraine, ORCID: 0000-0003-0527-5890  
Research Institute of Construction Production, Kyiv

**S. Inosov**, Associate professor, Department of Process Automation, ORCID: 0000-0001-8305-5514

**V. Lucenko**, Associate professor, Department of Process Automation;

**L. Sobolevskaya**, Associate professor, Department of Process Automation;

**A. Volters**, Associate professor, Department of Process Automation  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**CLIMATE FEATURES OF KIEV CONCERNING THE CONCRETE CRACKING PROCESS AND ITS MONITORING**

**Abstract.** Kiev is situated in an unfavorable geographical position, which corresponds to the local maximum of the average annual number of freezing and thawing cycles. Thawing and freezing cycles are damaging to concrete and pavement. In this work, statistical methods confirm the indicated negative feature of the climate in Kiev. When adopting the best practices for creating automated systems for monitoring and diagnosing the technical condition of structures in a favorable climate of Europe, unfavorable local climatic features should be taken into account and much more attention should be paid to monitoring the processes of concrete cracking and reinforcement corrosion.

**Key words:** climate, Kyiv, concrete, freezing cycles, cracking, monitoring