

**Viktoriya
V. Litvinenko**
Литвиненко
Вікторія
Вікторівна

УДК 624.01:51.001:624.131

SYSTEMS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF HYDRAULIC STRUCTURES

СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІДРОТЕХНІЧНОЇ СПОРУДИ

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2025.1\(20\).05](https://doi.org/10.15589/smi2025.1(20).05)

Viktoriya V. Litvinenko Литвиненко Вікторія Вікторівна,
старший викладач
litviktory0102@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0715-5190



**Valentyna
Ye. Kalyuzhna**
Калюжна
Валентина
Євгенівна

Valentyna Ye. Kalyuzhna Калюжна Валентина Євгенівна,
доцент ОНМУ
wave53@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-2896-3656

Odessa National Maritime University, Odesa

Одеський національний морський університет, м. Одеса

Анотація. Вартість ремонту, посилення гідротехнічних споруд іноді досягає вартості будівництва нової споруди, а часом перевищує її. Аварії гідротехнічних споруд можуть відбуватися у зв'язку з помилками при проектуванні або будівництві також аварії можуть виникати при зміні умов експлуатації, старінні матеріалів або при непередбачених ситуаціях, що можуть спричинити гибель людей та фінансові витрати, щоб уникнути вище перелічених ситуацій, необхідно створити науково-обґрунтовану методику підходів до безпечних технологій будівництва, експлуатації гідротехнічних споруд.

Питаннями, пов'язаними із запобіганням збільшення числа аварій гідротехнічних споруд, займаються представники різних шкіл по всьому світу, для вирішення прикладних завдань використовуються теоретичні знання, а також досвід і знання, отримані при будівництві та експлуатації гідротехнічних споруд. У світовій практиці використовується великий перелік різноманітних конструкцій і форм причальних гідротехнічних споруд. Найпоширенішими конструкціями є набережні виконані з металевого шпунта, які використовують як в морській, так і в річковій гідротехніці. Споруди цього типу складають більше 50 % від числа причалів, що зводяться та експлуатуються.

Високий рівень відповідальності гідротехнічних споруд (ГТС) морських і річкових портів обумовлює необхідність забезпечення технічної, економічної, екологічної та соціальної безпеки на всіх стадіях їх життєвого циклу, включаючи проектування, будівництво та експлуатацію.

Моніторинг – один з інструментів, що дозволяє знизити ризик виникнення аварійних ситуацій на ГТС, своєчасне виконання протиаварійних та ремонтних робіт. Мета даного дослідження – запропонувати методи моніторингу, що дозволяють в безперервному експлуатаційному режимі, а також цілодобовому режимі відстежувати технічний стан причального споруди типу «больверк», зміни роботи конструкції, підбір оптимального режиму роботи спираючись на результати вимірювань, отриманих за допомогою сучасних приладів і пристроїв, встановлених на причальній споруді.

В результаті даної роботи був розроблений алгоритм побудови інформаційної моделі системи моніторингу технічного стану причальної набережної, що в свою чергу дає можливість в будь-який час відстежувати технічний стан причальної конструкції типу «больверк» за допомогою сучасних приладів і пристроїв, встановлених на об'єкті спостереження.

Ключові слова: гідротехнічні споруди; моніторинг; технічна експлуатація; обстеження споруд; інформаційна модель; надійність причалів.

Abstract. The cost of repairing and reinforcing hydraulic structures sometimes reaches the cost of building a new structure and sometimes exceeds it. Accidents of hydraulic structures can occur due to errors in design or construction, and accidents can also occur when operating conditions change, materials age, or in unforeseen situations that can cause loss of life and financial costs. To avoid the above situations, it is necessary to create a scientifically based methodology for safe construction and operation of hydraulic structures.

Representatives of different schools of thought around the world are working on issues related to preventing an increase in the number of hydraulic structures accidents, and they use theoretical knowledge, as well as experience and knowledge gained in the construction and operation of hydraulic structures to solve applied problems. A large list of different designs and forms of quay hydraulic structures is used in world practice. The most common structures are embankments made of metal sheet piles, which are used in both marine and river hydraulic engineering. This type of structure accounts for more than 50 % of the number of berths being built and operated.

The high level of responsibility of hydraulic structures at seaports and river ports necessitates ensuring technical, economic, environmental and social safety at all stages of their life cycle, including design, construction and operation.

Monitoring is one of the tools that helps to reduce the risk of emergencies at the GTS and ensure timely emergency and repair work. The purpose of this study is to propose monitoring methods that allow in continuous operation mode, as well as around the clock to monitor the technical condition of the mooring structure of the «bulwark» type, changes in the operation of the structure, selection of the optimal operating mode based on the results of measurements obtained using modern instruments and devices installed on the mooring structure.

As a result of this work, an algorithm was developed for building an information model of the system for monitoring the technical condition of the mooring embankment, which in turn makes it possible to monitor the technical condition of the mooring structure of the «bulwark» type at any time using modern instruments and devices installed on the observation object.

Key words: hydraulic structures; monitoring; technical operation; inspection of structures; information model; reliability of berths.

References

- [1] Kurama, Y.C., Sritharan, S., Fleischman, R.B., Restrepo, J.I., Henry, R.S., Cleland, N.M., & Bonelli, P. (2018). Seismic – Resistant Precast Concrete Structures: State of the Art. *Journal of Structural Engineering*, 144(4), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001972](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001972)
- [2] Piras, S., & Palermo, A. (2023). Quasi-Static Cyclic Testing of Pier-Pile Connection with Replaceable Bars. In: Ilki, A., Çavunt, D., & Çavunt, Y.S. (Eds.). (2023). Building for the Future: Durable, Sustainable, Resilient. fib Symposium 2023. *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 350 LNCE: pp. 211–221. Springer, Cham.
- [3] Kaliukh, I., Dunin, V., Marienkov, M. et al. (2023). Peculiarities of Applying the Risk Theory and Numerical Modeling to Determine the Resource of Buildings in a Zone of Influence of Military Actions. *Cybern Syst Anal*, 59: 612–623. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00596>.
- [4] Kalyukh, Y., & Senatorov, V. (2011). The problems of resource evaluation of highly responsible and especially massive RC hydrot echnical strucutres. fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency, Proceed- ings, 1, pp. 627–630. Fib, Prague, Czech Republic.

- [5] Foster, S.J., & Bentz, E. (2024). Design of UHPC prestressed girders for shear. Structural Concrete. Open Access. <https://doi.org/10.1002/suco.202300738>
- [6] Timenko, Yu. I., Bimbada, H. Yu., & Koval, O. V (2013). Rehistr sudnoplavstva Ukrainy "Pravyla tekhnichnoho nahliadu za hidrotekhnichnymi sporudamy u ekspluatatsii ta promirnyimi robotamy" [Register of Navigation of Ukraine "Rules for Technical Supervision of Hydrotechnical Structures in Operation and Measurement Works"]. Kyiv [in Ukrainian].
- [7] Dvorkin, L. I., & Lapovska, S. D. (2016). Budivne materialoznavstvo [Construction Materials Science]. Rivne : NUVHP [in Ukrainian].
- [8] Barabash, M. S., Boichenko, V. V., & Palienko, O. Y. (2012). Informatsiini tekhnolohii intehratsii na osnovi prohramnoho kompleksu SAPFIR [Information Technologies of Integration Based on the Software Complex SAPFIR]. Kyiv : vydavnytstvo "Stal" [in Ukrainian].
- [9] DBN V.1.1-12-2014. Budivnytstvo v seismichnykh raionakh Ukrainy [Construction in Seismic Zones of Ukraine]. (2014). Kyiv [in Ukrainian].
- [10] DBN V.1.2-14-2018. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud [General Principles for Ensuring Reliability and Structural Safety of Buildings and Structures]. (2018). Kyiv [in Ukrainian].
- [11] DBN A. 2.1-1-2008. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva [Engineering Surveys for Construction]. (2008). Kyiv [in Ukrainian].

Постановка задачі. Мета роботи – розробити алгоритм побудови інформаційної моделі системи моніторингу за технічним станом гідротехнічної споруди, що дозволить в безперервному експлуатаційному режимі, відстежувати технічний стан причальної споруди типу «больверк», за допомогою сучасних приладів і пристроїв, встановлених на об'єкті спостереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному світі постійно розвиваються технології жодна з сфер діяльності людини не обходиться без нововведень. І проектування не є винятком. Проблема інноваційного підходу на всіх етапах життєвого циклу, в тому числі і в проектуванні, представляється вкрай важливою для всього будівельного комплексу. По всьому світу йде поступове впровадження BIM (Building Information Modeling) в ході розробки проектів.

BIM – це процес створення і обробки даних 3D моделі будівлі в процесі її будівництва. Це комплексний, мультифазовий проект, який узагальнює дані, отримані від всіх членів команди, яка працює над його створенням, передає їх на 3D модель. 3D проектування націлене на досягнення мінімальних витрат за рахунок спільної роботи і візуалізації елементів будівлі на найменшому рівні, що сприяє проведенню тих чи інших змін та модифікацій самої моделі.

Граничний стан – стан, при якому подальша експлуатація будівельного об'єкта неприпустима, пов'язана з труднощами або недоцільна.

Больверк – стінка із занурених суцільним рядом у ґрунт підпирних вертикальних елементів, що сприймає тиск ґрунту засипання. Поперечний переріз конструкції типу «больверк» приведено на рисунку 1.

Для того що б вчасно визначити граничні відхилення причальних споруд необхідно виконувати обстеження і моніторинг технічного стану, які в свою чергу утворюють комплексну систему технічного контролю цих об'єктів, що забезпечує ефективне використання, збереження і безпеку експлуатації споруд протягом встановленого терміну їх служби. Організацію робіт з технічного контролю споруди, їх планування і контролю виконання повинна здійснювати організація, яка експлуатує споруду.

Для виконання обстежень повинні залучатися спеціалізовані організації, які мають досвід проведення робіт з комплексного обстеження споруд, кваліфікованих фахівців в області технічного контролю споруд, необхідну нормативно-методичну та матеріально-технічну базу.

Для повної оцінки технічного стану повинен бути виконаний комплекс діагностичних процедур, який містить:

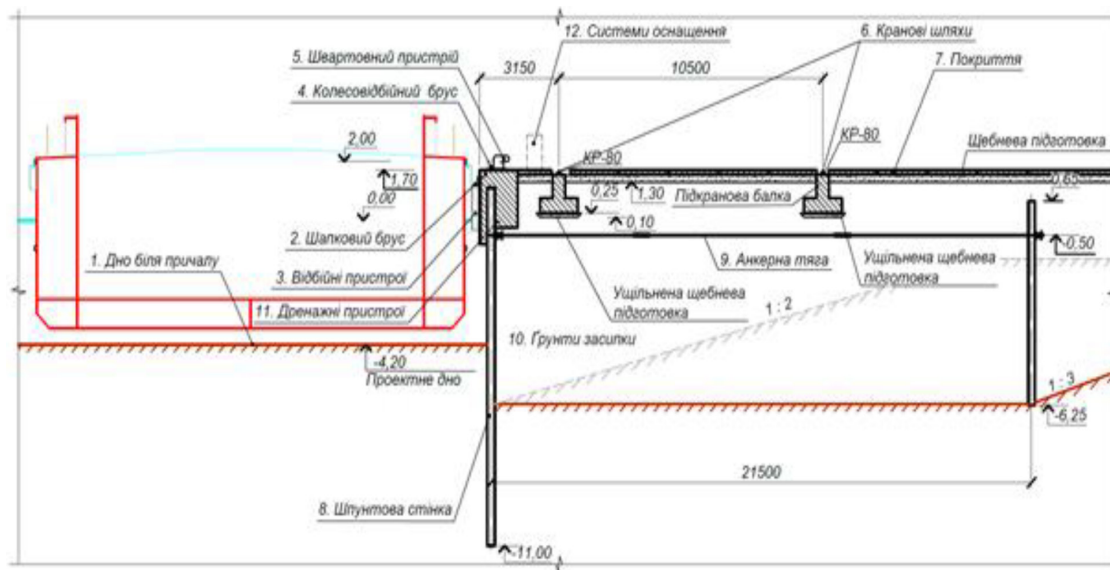


Рис. 1. Причальна конструкція типу «больверк»

- аналіз дефектів і ушкоджень, змін характеристик матеріалів, ґрунтів і основ;
- коригування розрахункових схем елементів, конструкцій, основ у зв'язку з наявністю ушкоджень і дефектів, зміною характеристик матеріалів і ґрунтів;
- перевірочні розрахунки елементів конструкцій, основ за відкоригованими розрахунковими моделями і з урахуванням змін, які виникли в процесі експлуатації споруд;
- визначення кількісних характеристик цілісності окремих конструктивних елементів і фізичного зносу споруди в цілому;
- оцінку технічного стану елементів конструкції відповідно до критеріїв;
- розробку рекомендацій по подальшій експлуатації споруди та інше.

Крім того, при нагляді за окремими типами причальних споруд необхідно звернути увагу на особливості обстеження.

Технічний стан гідротехнічної споруди визначається за станом зносу конструкцій, наявності деформацій, тріщин, осідань, нахилів та інших пошкоджень, які знижують їх міцність і стійкість. Відбійні пристрої на причалах повинні перебувати у справному стані. Дренажні пристрої на причалах повинні забезпечувати зниження гідростатичного напору ґрунтових вод до значень передбачених проектом. Проводиться огляд на наявність пошкоджень покриття, осідань, температурно-деформаційних швів.

Фізичне зношення оцінюється з метою визначення співвідношення вартості необхідних ремонтних заходів, які усувають ушкодження конструкції споруди. Оцінка фізичного зношення споруди проводиться на основі даних про цілісність її складових частин. У залежності від ступеня впливу дефекту на працездатність елемента визначається його цілісність, яка характеризується значенням коефіцієнта цілісності.

Відокремлення невіршених раніше частин загальної проблеми. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Виконати аналіз нормативних документів та літературних джерел з проведення технічного нагляду за гідротехнічними спорудами.

2. Визначити основні показники технічного стану причальних споруд типу «больверк».

3. Розробити алгоритм побудови інформаційної моделі системи моніторингу за технічним станом гідротехнічної споруди.

4. Використовуючи сучасні методи, системи та обладнання розробити систему моніторингу технічного стану набережної суднобудівного заводу «Лиман».

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Під місцевими деформаціями можна розуміти просідання поверхні причалу, розмивання дна біля лицьової стінки, руйнування

колесовідбійного бруса, деформація кордонного кутика, деформація драбин порятунку, відривання відбійних пристроїв на причальній стінці, утворення тріщин на елементах споруди та інше. Для вимірювання місцевих деформацій і визначення їх виникнення в основному виконують візуальний огляд з обмірами дефектів та внесенням результатів до дефектної відомості.

Сюди входить визначення міцності бетону, остаточної товщини металевих елементів (металевий шпунт, анкерні тяги і т.д.) визначення міцності матеріалів в основному проводять неруйнівним методом, для того щоб не виводити конструкцію з роботи.

Основний матеріал. Розглянемо варіант побудови інформаційної моделі «Система моніторингу технічного стану причалу типу «больверк»» на вже побудованому причалі. Будівництво інформаційної моделі починається з ознайомлення з технічною документацією. Наступним пунктом необхідно ознайомитись з самим об'єктом експлуатації, виїзд на об'єкт, технічний огляд, знайомство з технічним персоналом, який експлуатує споруду, обговорення режиму експлуатації та особливості конструкції, намічання місць встановлення обладнання моніторингу технічного стану. Після цього можливо приступати до створенню ВІМ-моделі. Виконуються роботи по встановленню обладнання на об'єкті, налаштуванні-калібровці, створення єдиної мережі по збору даних та передачі їх на пульт керування. Після встановлення на налагодження обладнання спеціалісти знайомлять експлуатуючий персонал з обладнанням та проводять навчальні заходи по управлінню обладнанням. Оскільки ВІМ-модель це не тільки 3D-модель об'єкта, а також база даних після її створення в неї завантажують всю технічну документацію, після цього кожен хто має доступ до цього файлу може знайти всю необхідну йому інформацію по цьому об'єкту. Після створення ВІМ-модель та завантаження в неї всієї необхідної інформації, починають роботу з об'єднання встановленого на об'єкті обладнання та ВІМ-моделі в єдиний живий організм, який буде вести роботи з технічного огляду за станом

споруди, збір та акумулювання інформації, порівняння отриманих даних з гранично допустимими та у разі їх перевищення виконувати оповіщення експлуатуючого персоналу. Поговоримо більш детально щодо встановлення гранично допустимих значень. Для цього необхідно в створеній ВІМ-моделі, а саме на 3D-моделі створити контрольні марки на прикладі деформаційних марок, які встановлюються на причальній споруді на швартовних масивах, температуро-осадових швах. Контрольні марки виконують функцію як деформаційних так і опорних марок. Контрольні марки в залежності від місця розташування, та характеристик якими їх наділили виконують різні функції наприклад: якщо розташувати контрольну марку на лінії кордону та наділити її максимальними переміщеннями в площині (X , Y , Z) то ця марка буде виконувати функцію деформаційної марки також можливо наділити її гранично-допустимими значеннями, що в свою чергу дасть можливість фіксувати перевищення гранично-допустимих значень, з подальшим встановлення причини їх виникнення, ВІМ-модель дає можливість створення різних контрольних точок з різними характеристиками, які в поєднанні з новітнім обладнанням будуть виконувати моніторинг технічного стану причальної споруди в автоматичному режимі 24 години на добу та повідомляти у разі необхідності.

Фіксація перевищення гранично-допустимих значень відбувається за допомогою програмування за допомогою спеціального програмного забезпечення. Створюється алгоритм поведінки обладнання та ВІМ-моделі при якому обладнання встановлене на причальній споруді виконавши обстеження, передає отриману інформацію до ВІМ-моделі, в цей момент активується алгоритм, який порівнює отриману інформацію з обладнання з інформацією, яка знаходиться в ВІМ-моделі, а саме з гранично-допустимими відхиленнями, і тут є декілька варіантів розвитку подій: перший – отримана інформація (координати) з обладнання не перевищують гранично допустимі значення, тоді нічого не відбувається окрім фіксації, і спостереження ведуться далі; другий варі-

ант – отримані дані перевищують гранично допустимі значення відбувається фіксація події, оповіщення експлуатуючого персоналу, створення нового об'єкта з характеристиками отриманими в результаті події. Новостворену марку можливо буде розглянути як в цифрову так і графічному варіанті. Цифрову інформацію можливо буде розглянути як в табличній формі, так і в журналі технічного огляду в цьому варіанті буде зафіксовано час створення та координати точки. Графічний варіант – як тільки відбулася подія алгоритмом створив на 3D-моделі марку іншого кольору або форми в залежності від налаштування, з іншими координатами отриманими в ході фіксації перевищення встановлених значень.

Аналіз отриманих даних відбувається за допомогою платформи візуального програмування «Dynamo», яка встановлюється разом з програмою «Revit» за допомогою цієї програми було створено алгоритми (script), які будуть виконувати операції з створення документів «Microsoft Excel» в яких відбувається автоматичний запис координат контрольних (базових) точок створених в BIM-моделі для моніторингу технічного стану конструкції, порівняння координат отриманих від облад-

нання встановленого на конструкції з базовими координатами точок в BIM-моделі, в разі перевищення гранично-допустимих значень контрольних (базових) точок – створення нових точок з новими координатами.

Пропонуємо розглянути вищевказану інформацію на рисунку 2.

Розглянемо ці алгоритми детальніше. Першим розглянемо алгоритм, який відповідає за створення документу «Microsoft Excel», а також за знаходження контрольних (базових) точок в BIM-моделі та внесення їх координат в Excel.

В загальному вигляді цей алгоритм виглядає так (див. рис. 3)

По суті цей алгоритм не сильно відрізняється від звичайних мов програмування таких як Java, C, C++, C# рис, головною відмінністю служить сам інтерфейс, який виконаний спеціально максимально доступним та зрозумілим для звичайного користувача. Простота програми «Dynamo» полягає в тому, що код для створення алгоритму вже готовий та знаходиться в блоках які в свою чергу знаходяться в бібліотеці (див. рис. 4).

Нам залишається тільки підібрати необхідні блоки та правильно під'їдати їх, що і було зроблено.

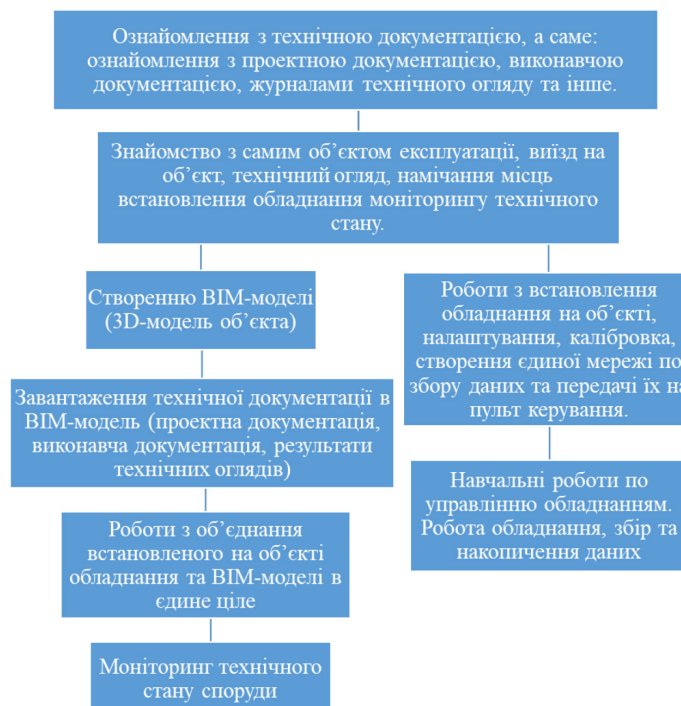


Рис. 2. Алгоритм побудови інформаційної моделі системи моніторингу

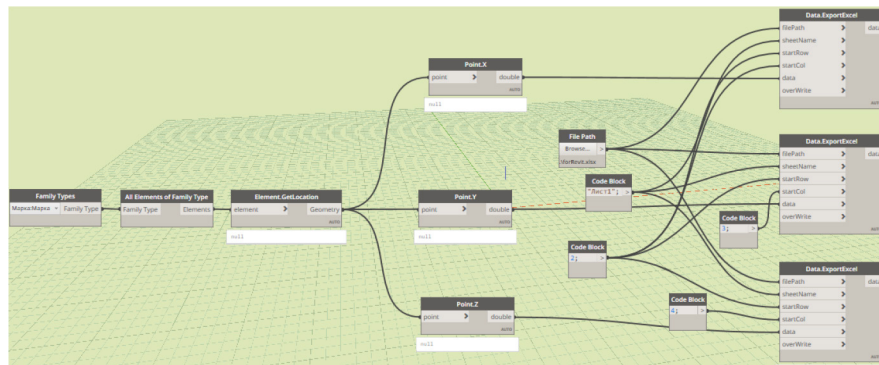


Рис. 3. Алгоритм формування файлу Excel з координатами базових точок

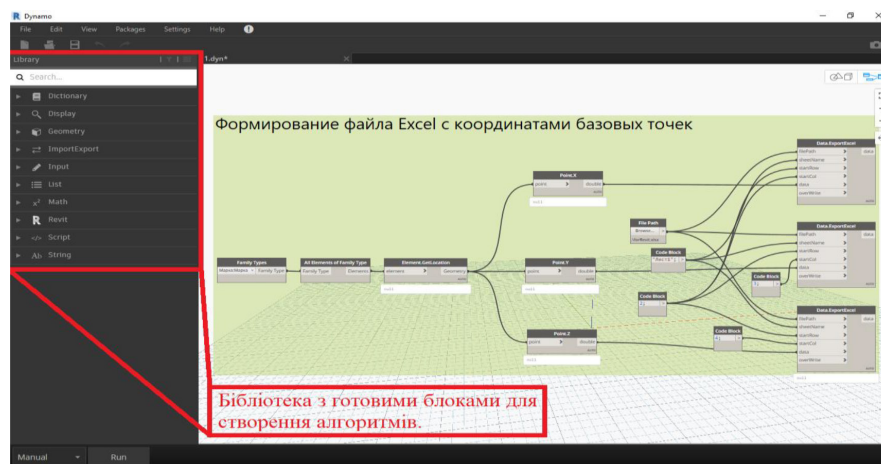


Рис. 4. Бібліотека готових блоків

Умовно весь алгоритм можливо розділити на певні групи, які виконують визначені операції. Конкретно цей алгоритм складається з 3 груп:

- перша група (див. рис. 5) відповідає за створення документу «Microsoft Excel», знаходження всіх базових точок в BIM-моделі.
- друга група (див. рис. 6) відповідає за зчитування та розмежування координат X , Y , Z з BIM-моделі.

На цьому рисунку можна побачити блоки з назвами «Point. X , Y , Z » саме вони виконують операцію з зчитування координат X , Y , Z з BIM-моделі, також ми бачимо розмежування координат на точки X , Y , Z .

– третя група (див. рис. 7) безпосередньо відповідає за внесення даних в документ «Microsoft Excel». На цьому етапі розмежовані координати точок вносяться в відповідні строки та стовпці документу, також відбувається збереження документу.

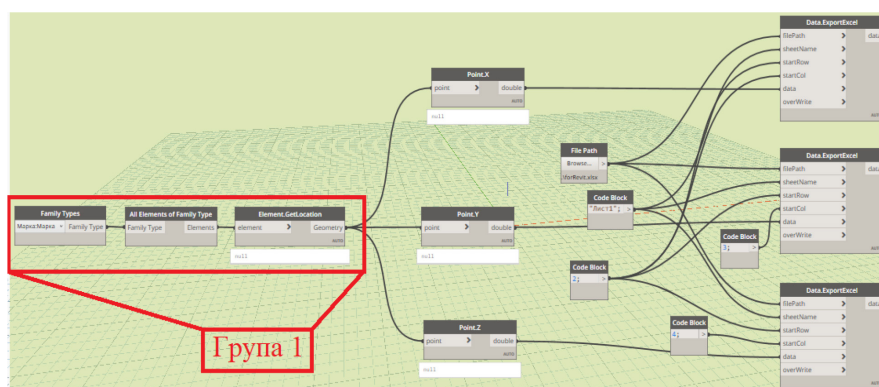


Рис. 5. Перша група створеного алгоритму

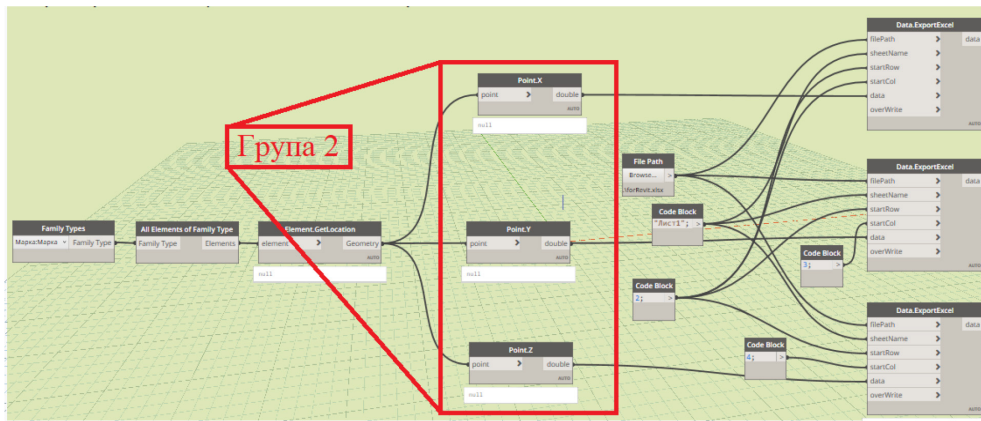


Рис. 6. Друга група створеного алгоритму

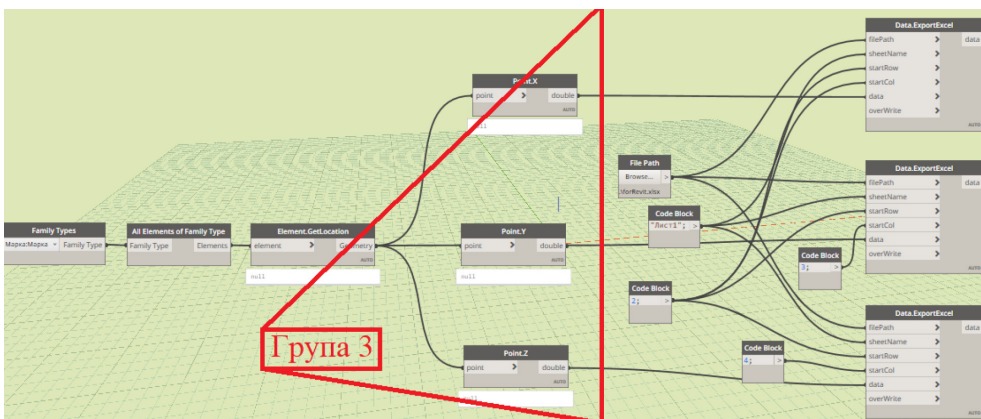


Рис. 7. Третя група створеного алгоритму

Після запуску алгоритму послідовно виконуються всі операції та створюється документ «Microsoft Excel» з координатами всіх контрольних точок.

Але для аналізу технічного стану цього алгоритму не достатньо, тому було створено ще один алгоритм. Створений алгоритм порівнює координати контрольних точок з координатами які були отримані з обладнання умовно встановленого на набережній суднобудівного заводу «Лиман».

Даний алгоритм складається з «сімейств» або ще їх можна назвати «малі алгоритми»:

- читання координат базових точок (читання координат зі створеного документу «Microsoft Excel», «Лист 1») (див. рис. 8);
- читання координат точок зйомки (читання координат зі створеного документу «Microsoft Excel», «Лист 2» отримані під час роботи обладнання встановленого на набережній та внесені в документ «Microsoft Excel» на «Лист 2») (див. рис. 9);

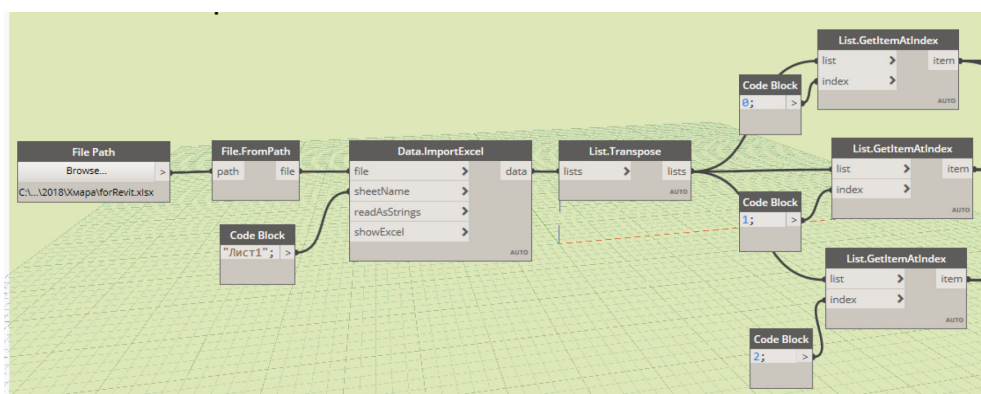


Рис. 8. Алгоритм для читання координат базових точок

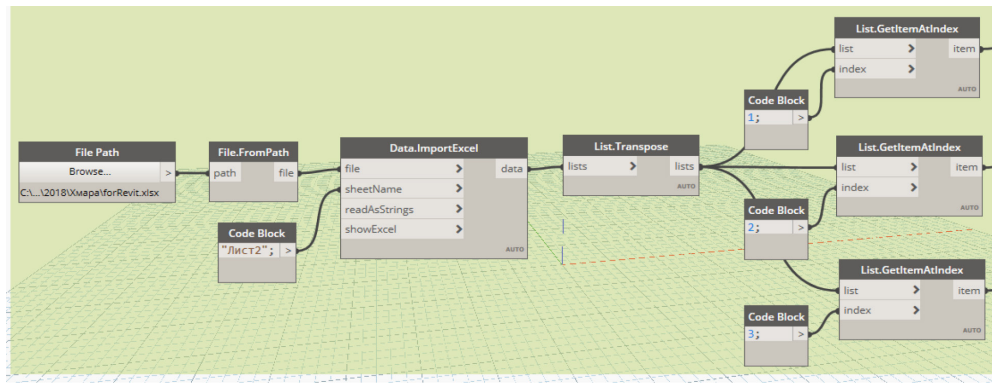


Рис. 9. Алгоритм для читання координат точок зйомки

- визначення переміщень в даних точках;
- читання параметрів елементів створених в BIM-моделі (рис. 10) для визначення максимальних переміщень базових точок, які були задані при створенні цих точок;
- порівняння фактичних переміщень з максимальними переміщеннями базових точок;
- у разі необхідності створення нових точок з новими координатами (створення нової точки відбувається в разі перевищення фактичних значень переміщень над максимальними базових точок).

Таким чином для аналізу технічного стану конструкції було створено два алгоритми:

- перший виконує функцію з створення документа «Microsoft Excel», знаходження контрольних точок в BIM-моделі, зчитування з контрольних точок координат, розділення координат на окремі площини, заповнення таблиці «Microsoft Excel» таким чином,

щоб кожна координата мала своє місце. Цей алгоритм дає змогу фіксувати дані, отримані під час роботи обладнання встановленого на причальній споруді;

– другий алгоритм безпосередньо виконує функцію аналізу отриманої інформації шляхом зчитування інформації з документу «Microsoft Excel», аналізуючи переміщення в точках, порівнюючи отримані дані з обладнання з контрольними точками побудованими в BIM-моделі, які в свою чергу мають гранично-допустимі значення переміщень. Після порівняння, у разі перевищення гранично-допустимих значень відбувається побудова нової точки з своїми координатами в BIM-моделі, що дає змогу графічно оцінити переміщення точки.

Отже, маючи в розпорядженні спеціалізоване обладнання, BIM-модель та два простих алгоритми, експлуатуюча організація може виконувати моніторинг та аналіз технічного

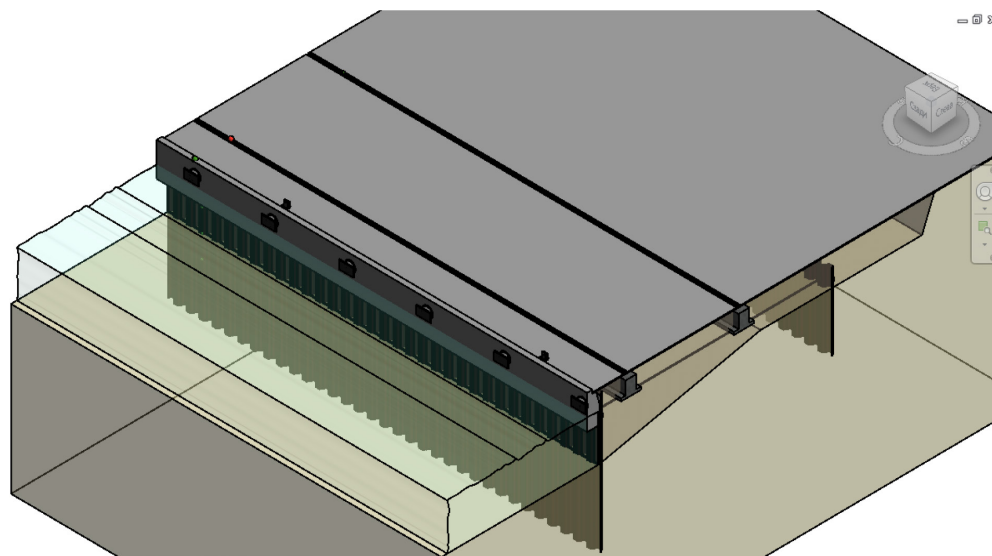


Рис. 10. BIM-модель частини причальної набережної

стану гідротехнічної споруди в будь який час на протязі всього періоду експлуатації.

Висновки. У роботі було проведене дослідження по створенню моделі моніторингу технічного стану причальної споруди типу «больверк». Під час роботи був розроблений алгоритм побудови інформаційної моделі системи моніторингу технічного стану причальної набережної, що в свою чергу дає можливість в будь-який час відстежувати технічний стан причальної конструкції типу «больверк» за допомогою сучасних приладів і пристроїв, встановлених на об'єкті спостереження.

В ході роботи були вирішенні наступні задачі:

1. Виконаний аналіз нормативних документів та літературних джерел з проведення технічного нагляду технічного стану причальної споруди типу «больверк».

2. Визначені основні показники технічного стану причальних споруд типу «больверк»;

3. Розроблений алгоритм побудови інформаційної моделі системи моніторингу технічного стану гідротехнічної споруди;

4. Використовуючи сучасні методи, системи та обладнання розроблена система моніторингу технічного стану набережної суднобудівного заводу «Лиман».

Також в ході роботи відбувся аналіз розвитку методів та інструментів для моніторингу технічного стану будівельних конструкцій, знайомство з інформаційним моделюван-

ням при будівництві та експлуатації споруд, більш детальне знайомство з нормативною документацією стосовно технічних оглядів, їх видів та призначення. Розглянуті методи та інструменти для моніторингу технічного стану споруд типу «больверк». Знайомство з існуючим об'єктом «Набережна суднобудівного заводу «Лиман»», розглянута проектна документація, виконавча документація та технічна документація по об'єкту спостереження.

Наукова новизна виконаного дослідження полягає в розробленні схеми встановлення обладнання для моніторингу технічного стану на причальній набережній, розроблена система аналізу отриманих даних під час спостереження за технічним станом причальної споруди.

Модель моніторингу технічного стану представляє собою комплекс взаємно пов'язаних заходів та інструментів, які в комплексі виконують постійний контроль технічного стану конструкції. В комплекс заходів входить:

- інформаційна модель споруди (BIM-модель);
- спеціалізоване обладнання для фіксації переміщень та деформацій на причалі;
- спеціалізовані програми для обробки отриманих даних та порівняння з контрольно-допустимими значеннями деформацій ГТС;
- спеціалізований персонал для аналізу отриманих даних.

Список літератури

- [1] Kurama Y.C., Sritharan S., Fleischman R.B., Restrepo J.I., Henry R.S., Cleland N.M., Bonelli P. Seismic – Resistant Precast Concrete Structures: State of the Art. *Journal of Structural Engineering*, 2018, 144(4), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001972](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001972)
- [2] Piras S., Palermo A. Quasi-Static Cyclic Testing of Pier-Pile Connection with Replaceable Bars. In: Ilki, A., Çavunt, D., & Çavunt, Y. S. (Eds.). (2023). Building for the Future: Durable, Sustainable, Resilient. fib Symposium 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 350 LNCE: pp. 211-221. Springer, Cham.
- [3] Kaliukh I., Dunin V., Marienkov M. et al. Peculiarities of Applying the Risk Theory and Numerical Modeling to Determine the Resource of Buildings in a Zone of Influence of Military Actions. 2023. *Cybern Syst Anal*, 59: 612–623. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00596>.
- [4] Kalyukh Y., Senatorov V. The problems of resource evaluation of highly responsible and especially massive RC hydrot echnical strucutres. fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency, Proceedings, 1, 2011. pp. 627–630. Fib, Prague, Czech Republic.
- [5] Foster S. J., Bentz E. Design of UHPC prestressed girders for shear. *Structural Concrete*. Open Access. 2024. <https://doi.org/10.1002/suco.202300738>

- [6] Тіменко Ю.І., Бімбад Г.Ю., Коваль О.В Регістр судноплавства України «Правила технічного нагляду за гідротехнічними спорудами у експлуатації та промірними роботами». Київ, 2013.
- [7] Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. Д24 Будівельне матеріалознавство. Рівне : НУВГП, 2016.
- [8] Барабаш М.С., Бойченко В.В., Палієнко О.І. Інформаційні технології інтеграції на основі програмного комплексу САПФІР Київ: видавництво «Сталь», 2012.
- [9] ДБН В.1.1-12-2014. Будівництво в сейсмічних районах України. Київ, 2014.
- [10] ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2018.
- [11] ДБН А. 2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва.. Київ, 2008.

© Литвиненко В. В., Калюжна В. Є.

Дата надходження статті до редакції: 13.01.2025

Дата затвердження статті до друку: 27.01.2025