

## **ТЕМПОРАЛЬНІ МЕРЕЖІ ТА УРАЗЛИВІСТЬ СКЛАДНИХ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ**

**Дмитро Поліщук**

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН  
України, do.polishchuk@gmail.com

Під темпоральною мережею (ТМ) розуміють багат шарову мережу (БШМ), яка дає змогу описувати зміни в структурі мережевої системи (МС) через певні проміжки часу [1]. Кожний шар такої БШМ є складною мережею (СМ), яка відображає структуру МС у заданий момент часу. Ми розрізняємо поняття складної мережі та мережевої системи, оскільки різні МС можуть мати однакову структуру або використовувати у процесі свого функціонування спільну мережу. Прикладом є системи пасажирських та вантажних перевезень країни. Вони разом використовують залізничну мережу, але керуються різними принципами роботи та мають різні системи управління. Як основну функціональність МС ми розглядаємо рух потоків мережею, оскільки більшість реальних (транспортних, фінансових, інформаційних і т. ін.) систем створювались для забезпечення такого руху або функціонують завдяки йому (живі організми, біосфера тощо). Загалом, темпоральна мережа є частково покритою БШМ, у якій міжшарові зв'язки можливі лише між вузлами з однаковими номерами у загальній сукупності вузлів цієї багат шарової мережі (об'єднанні вузлів усіх шарів БШМ) [2].

Темпоральні мережі є зручним інструментом для дослідження особливостей зміни структури реальних МС із часом, наприклад, протягом життєвого циклу системи. Такий цикл включає в себе принаймні три основні етапи: 1) створення та росту, під час якого розбудовується структура системи та формуються принципи її функціонування; 2) дорослості (maturity), протягом якого при сформованій і практично незмінній структурі системи удосконалюються процеси її функціонування; 3) старіння, під час якого поступово обмежується процес функціонування МС та скорочується її структура. Очевидно, що темпоральні мережі доцільно використовувати під час дослідження історичних процесів, еволюції біологічних видів, вивчення міфів та легенд, розвитку мови тощо.

Не менш продуктивним є застосування темпоральних мереж для аналізу уразливості МС до дії негативних впливів різного типу та походження [3]. До таких впливів, зокрема, належать цілеспрямовані атаки та нецільові ураження

## **Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2026», 27–29 травня 2026 р., Львів**

складних мережевих систем. Процес дії негативного впливу доцільно поділяти на три етапи: 1) оцінювання ризиків та загроз, які постають перед системою, та розроблення засобів захисту МС від дії різномірних негативних впливів (вакцинація, як спосіб захисту від небезпечного інфекційного захворювання, навряд чи допоможе у випадку неспровокованої агресії країни-сусіда і навпаки); 2) протидія поширенню негативного впливу мережею з метою мінімізації його наслідків; 3) оцінювання наслідків ураження та розроблення ефективних стратегій відновлення системи з метою якнайшвидшого її повернення до нормальної життєдіяльності. Саме аналіз змін у структурі та процесі функціонування МС при переході від шару до шару темпоральної мережевої системи дають змогу оцінювати реальний рівень захищеності системи, аналізувати її чутливість до ушкодження елементів та підсистем, розробляти оперативні заходи протидії поширенню негативного впливу та стратегії відновлення МС після закінчення його дії.

На підставі структурної моделі темпоральної мережі розроблені методи визначення найважливіших зі структурного погляду елементів МС, які потребують першочергового захисту та відновлення після ураження. На підставі потокової моделі ТМ розроблені методи визначення найважливіших з функціонального погляду елементів мережевої системи, які потребують пріоритетного захисту для мінімізації наслідків ураження та якнайшвидшого відновлення для повернення системи до процесу нормального функціонування. Пропонований у роботі підхід можна використовувати для аналізу уразливості та відновлюваності мереж критичної інфраструктури країни чи окремого її регіону, транспортних чи логістичних систем різних типів і т. ін.

1. *Holme P., Saramäki J.* Temporal network theory. – Vol. 2. – New York: Springer, 2019.
2. *Поліщук О., Яджак М.* Моделі та методи комплексного дослідження складних мережевих систем та міжсистемних взаємодій. – Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, 2023.
3. *Sawada Y., Bhattacharyay M., Kotera T.* Aggregate impacts of natural and man-made disasters: A quantitative comparison // International Journal of Development and Conflict. – 2019. – Vol. 9(1). – P. 43-73.

### **TEMPORAL NETWORKS AND VULNERABILITY OF COMPLEX NETWORK SYSTEMS**

*Temporal networks are used to analyze changes in the structure and functioning of complex network systems under the influence of negative impacts of various types. Based on the proposed structural and flow-based approaches, methods for assessing the protection and renewability of complex network systems from targeted attacks and non-targeted disruptions have been developed.*