

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ МОСТА МЕТРО ЧЕРЕЗ Р. ДНІПРО В М. КИЄВІ

**М**іст метро через р. Дніпро в м. Києві побудовано у 1965 р. Мостозагоном № 2 Мостобуду № 1 за проектом Київської філії Державного інституту з проектування і вишукування автомобільних доріг «Союздорпроект» під керівництвом головного інженера проекту Г.Б. Фукса (рис. 1). У цьому ж році міст було прийнято в постійну експлуатацію. Міст призначений для проїзду автомобільного руху по чотирьох смугах та поїздів метро по двох коліях. По мосту проходить найстаріша лінія Київського метрополітену – Святошинсько-Броварська. Міст метро разом із інфраструктурно з ним пов'язаним Русанівським мостом сполучають правобережну частину м. Києва з Русанівським, Лівобережним, Воскресенським і Лісовим житловими масивами та парковою зоною відпочинку – Гідропарком. На правому березі р. Дніпро міст завершує станція «Дніпро» Київського метрополітену.

Міст метро – це аркова інженерна споруда з великими прогонами загальною довжиною близько 700 м, а його прогонові будови прийняті арково-консольного типу (рис. 2). Що ж стосується загальної характеристики конструктивної системи моста, то вона складається з врівноважених аркових консолей та зтяжок – т.з. «пташок». Причому кожна «пташка» є симетричною, статично врівноваженою консольною системою, яка вирішена у вигляді чотирьох консольних напіварок (по дві з кожного боку), об'єднаних із тілом масивної опори, та зтяжками із забетонуваних попередньо-напружених витих канатів, розміщених між блоками плити проїзної частини. Між собою «пташки» з'єднані чотирма металевими шкворневими шарнірами (по два на кожен арку), розрахованими як на передавання вертикальних зусиль (поперечної сили), так і на сприйняття горизонтальних і вертикальних температурних переміщень.

У поперечному перерізі моста розташовані дві напіварки незамкненого коробчастого перерізу, зібрані з блоків на сухих та частково на мокрих стиках (рис. 3). Над кожною напіваркою передбачена двоярусна надаркова будова, що призначена для пропуску в верхньому ярусі двох колій метрополітену, а в нижньому ярусі по обидва боки метростакади – автомобільного



**Д.Й. Тарнопольський**  
директор ТОВ «Містпроект»,  
м. Київ



**Д.О. Котлубей**  
в.о. начальника  
Комунального підприємства  
по ремонту та утриманню мостів  
і шляхів м. Києва «Київавтошляхміст»



**О.В. Кот**  
провідний інженер  
ТОВ «Містпроект», м. Київ

транспорту і пішохідного руху. Колії метрополітену знаходяться в центральній частині поперечного перерізу моста завширшки 9,4 м. Естакада метропроїзду має власний профіль, що піднімається над автопроїздом на кінцях моста, а посередині перебуває з ним в одному рівні. З кожного боку від колій метрополітену улаштовані дві смуги під автомобільний рух завширшки 7,0 м кожна, а по краях моста розташовано два пішохідних тротуари завширшки 2,5 м, підняті над проїзною частиною на 0,5 м.

Через те що міст метро будувався на місці зруйнованого під час Другої світової війни моста, то при проектуванні фундаментів були застосовані різнотипні рішення. А саме: всі його опори, крім правобережного стояна, обпираються на фундаменти глибокого залягання, а правобережний стоян влаштований над існуючою на момент проектування і будівництва опорою старого моста, основа якої являє собою масивну плиту мілкового залягання. Фундаменти чотирьох проміжних опор виконані у вигляді оболонки діаметром від 1,36 м до 3,0 м, а фундаменти решти опор є опускними колодязями діаметром 5 м і 6 м. Крім того, над кожною опорою запроектовані монолітні пілони.



Рис. 1. Загальний вигляд моста метро з низового (а) та з верхового (б) боків

Тепер перейдемо до результатів обстеження моста метро. І одразу вкажемо на те, що під час експлуатації його обстеження проводились достатньо регулярно – починаючи від моменту введення в експлуатацію у 1965 р. й закінчуючи 2015–2016 рр., коли ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» виконало комплексне спеціальне обстеження всіх конструкцій

споруди, включаючи і підводне обстеження опор. Найбільш істотними виявленими дефектами є пошкодження захисного шару бетону елементів конструкцій і корозія звичайної та попередньо-напруженої арматури (рис. 4), переміщення консольних ділянок напіварок, ураження корозією ключових шарнірів (рис. 5) та руйнування системи водовідведення та гідроізоляції.



Причинами їх виникнення очевидно є наступне:

- неефективність систем водовідведення та гідроізоляції моста, що призводить до пришвидшення руйнування основних несних конструкцій у результаті їхнього систематичного заливання дощовими та талими водами, які містять розчини агресивних проти-ожедних соляних сумішей;
- довготривалі деградаційні процеси у затяжках через усадку та повзучість бетону й релаксацію напружень у попередньо-напружених канатах й арматурі у комплексі з їхньою корозією, що спричиняє зменшення зусиль попереднього натягу та перевищення вертикальними деформаціями консольних ділянок піварок їхніх проектних значень;
- вимушена репрофіляція профілів метро- й автопроїздів із огляду на зростання вертикальних деформацій консольних ділянок піварок за рахунок потовщення шару баласту колій метрополітену і влаштування монолітної плити проїзної частини під час капітального ремонту в 1998 р., наслідком чого є не тільки приріст вертикальних навантажень понад показники проекту, а й чергове зростання прогинів консольних ділянок піварок;
- неможливість виконання робіт із коригування натягу канатів або заміни канатів чи конструкцій ключових шарнірів, зважаючи на прийняте проектне рішення конструктивної схеми моста;
- нерівномірність деформування мостової споруди, що збільшує навантаження на окремі несні конструкції.

Зазначимо, що аналіз і систематизація дефектів і пошкоджень обстежених конструкцій були виконані у відповідності із вимогами [2] з метою визначення категорії експлуатаційного стану згідно з класифікацією, наведеною у таблиці 4.1 [1]. Що ж стосується технічного стану обстежених конструкцій, то він класифікувався шляхом порівняння кількісних і якісних характеристик дефектів та пошкоджень із відповідними показниками, наведеними у додатку А [1]. В залежності від наявних пошкоджень технічний стан конструкцій оцінено таким чином: мостове полотно – стан 4 (обмежено працездатний); прогонова будова – стан 4 (обмежено працездатний); опори та опорні частини – стан 3 (працездатний); фундаменти – стан 3 (праце-



Рис. 4. Руйнування захисного шару монолітного бетону затяжки з корозією попередньо напружених канатів



Рис. 5. Корозія конструкцій шарніра

здатний); підмостове русло – стан 3 (працездатний). За рейтингом основних конструктивних елементів стан моста визначено як обмежено працездатний (4). А залишковий ресурс даної споруди (до переходу в непрацездатний стан) оцінюється за найнижчим із показників залишкових ресурсів прогонових будов, опор і фундаментів згідно з [1] і складає шість років.

Відповідно до визначеного експлуатаційного стану моста для його подальшої безаварійної експлуатації необхідно проводити обстеження за графіком (не менше одного разу на три роки для мостів із терміном служби 40–60 років) і виконати капітальний ремонт, враховуючи рекомендації звіту з комплексного обстеження моста ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», передбачити підсилення прогонової будови, відновлення конструкцій прого-

нових будов та опор, засипання місцевих розмивів, повну заміну мостового полотна проїзної частини включно із бар'єрними та перильними огорожами та деформаційними швами.

Розглянемо основні конструктивно-технологічні рішення щодо проведення капітального ремонту моста метро, які містяться у розробленій проектно-кошторисній документації. Причому перед початком розроблення цієї документації, з урахуванням результатів проведених обстежень, були визначені основні дефекти, які найбільше впливають на надійність та довговічність споруди в цілому та призводять до руйнування монолітного бетону зтяжок і корозії попередньо-напруженого армування, інтенсивної корозії з розшаруванням металу елементів ключових шарнірів, вертикальних прогинів консолей «пташок» та зниження несної здатності основи внаслідок місцевого розмиву плит фундаментів на опорах № 8, 9 і 10.

При цьому зазначимо, що серед усіх згаданих дефектів і пошкоджень найбільше запитань викликали величини вертикальних переміщень консолей піварок. Це пояснюється тим, що під час аналізу результатів нівелювання «пташок» моста метро було виявлено, що малі прогони 6–7 та 11–12 мають прогини консолей більші, ніж суміжні з ними прогони 7–8 та 10–11 (див. рис. 2). А в прогонах 8–9 та 9–10 прогини досягли максимальних значень. Як виявилось причиною такої, на перший погляд, несподіваної картини деформування є те, що у прогонах 5–6 та 12–13 консолі «пташок» 6 та 12 є невірноваженими, оскільки крайні напіварки спираються на стояни. Засвідчене тягне за собою перевантаження другого «крила пташки» (з боку опор № 7 та 11 відповідно), які, в свою чергу, через ключовий шарнір передають зусилля спочатку на суміжні консолі «пташок» 7 та 11, а потім вже далі уздовж всього моста. У результаті виходить, що додаткові навантаження від обпирання крайніх консолей моста припадають на максимальні за довжиною прогони 8–9 та 9–10, що й призводить до найбільших значень прогинів у зазначених прогонах.

Що ж стосується інших чинників основних складових наявних деформацій, то вони пов'язані з впливом, по-перше, існуючого навантаження (причому розглядається тільки постійне навантаження, оскільки вважається, що деформації від тимчасового навантаження є пружни-

ми), по-друге, обпирання крайніх «пташок» на стояни, по-третє, повзучості та усадки бетону (процеси, що залежать від часу) і, нарешті, по-четверте, втратами попереднього напруження через релаксацію та корозію арматурних пучків. Більше того, має велике значення ще й те, що руйнування попередньо-напруженої арматури не тільки суттєво впливає на рівновагу всієї системи, а й разом із релаксацією пучків та довготривалими процесами в бетоні спричиняє «провисання» кінців консолей «пташок». А останнє, в свою чергу, призводить до сприймання шарнірами додаткових зусиль та пришвидшує через це руйнування самих шарнірів.

З огляду на вказане цілком зрозумілим є те, що задля оцінювання частки втрат попереднього напруження від корозії арматури, повзучості та релаксації пучків насамперед конче потрібно визначити деформації від постійного навантаження, повзучості та усадки бетону. Вказана задача була вирішена із застосуванням ПК «MIDAS Civil», специфічна особливість якого полягає у можливості задання реальних параметрів стадій монтажу та здатності активувати чи деактивувати протягом усього часу стадії довільних граничних умов. Причому кожна з цих стадій характеризується своїм проміжком часу, різними видами навантаження, які до того ж можуть прикладатися в будь-який момент впродовж тривалості стадії.

Отже, з метою найбільш адекватного відображення конструктивних властивостей існуючої споруди та максимально допустимого врахування, в розрахунковій моделі моста метро технологічних особливостей монтажу заплановано провести його у три стадії. Типова послідовність таких стадій на прикладі «пташки» 9 (8) представлена на рис. 6, з якого зокрема вбачається, що загальний час монтажу однієї «пташки» становить 195 днів (6,5 місяців).

А тепер привернемо увагу ще до однієї важливої проектною пропозиції, яка полягає в тому, що додатково до зазначених вище трьох стадій монтажу проектом передбачена ще й четверта спеціальна «контрольно-експлуатаційна» стадія, тривалість якої досягає 18250 днів (50 років) і відповідає часу від початку експлуатації моста до дати його останнього обстеження у 1965–2015 роках. Метою цієї стадії є проведення постійного натурального моніторингу розвинення процесів повзучості та усадки бетону й втрати поперед-

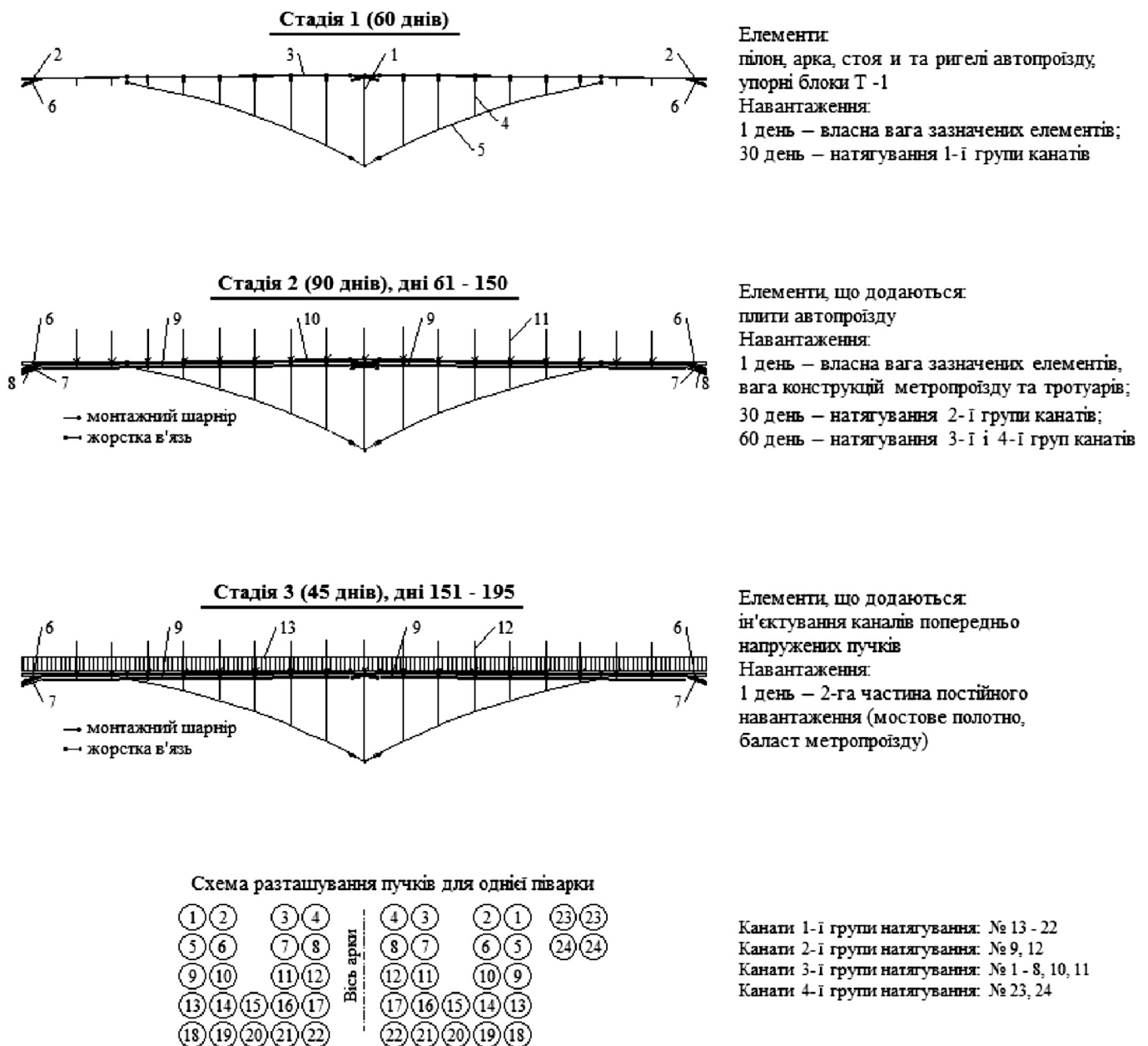


Рис. 6. Розрахункова схема «пташки» 9 (8) та стадії її монтажу:

1 – пілон; 2 – упорний блок Т-1; 3 – жорсткість плит автопроїзду без врахування власної ваги; 4 – стояни та ригелі; 5 – арка; 6 – перша група натягування (20 канатів по 115 т); 7 – друга група натягування (4 канати по 145 т); 8 – третя група натягування (20 канатів по 145 т); 9 – четверта група натягування (4 канати по 136 т); 10 – плити автопроїзду; 11 – конструкції метропроїзду та тротуарів; 12 – баласт метропроїзду; 13 – мостове полотно

нього напруження шляхом фіксації показників деформацій конструктивних елементів моста метро. А задля вчасного виявлення імовірних неочікуваних відхилень від проектної роботи споруди намічено проведення регулярного порівняння цих деформацій з їх прогнозованими розрахунковими значеннями, отриманими з використанням ПК «MIDAS Civil».

Підсумовуючи викладене зазначимо, що з метою відновлення несучої здатності та подовження терміну експлуатації моста метро було розглянуто три варіанта його капітального ремонту, а саме:

1. Збереження існуючої геометричної схеми. Встановлення додаткового напруженого армування в усіх «пташках».

2. Перетворення арково-консольної системи в аркову шляхом омонолічування ключових шарнірів, жорстке об'єднання напіварок у прогонах 5–6, 12–13 із опорами № 5 і 13, підсилення фундаментів опор № 5, 6, 12, 13.

3. Перетворення арково-консольної системи в аркову шляхом омонолічування ключових шарнірів усіх «пташок», вільне обпирання напіварок у прогонах 5–6, 12–13 на стояни, підсилення фундаментів опор № 6 і 12.

Проте після аналізування всіх результатів розрахунків третій варіант було відхилено через те, що, по-перше, в опорах № 6 і 12 виникають значні зусилля, які конструктивно неможливо сприйняти в існуючих умовах і, по-друге, виникає необхідність додаткового попереднього напружування армування в прогонах 5–6 та 12–13.

Що ж стосується першого і другого варіантів капітального ремонту, то необхідно звернути увагу на те, що, як і в інших існуючих транспортних спорудах, корозія арматури та руйнування захисного шару бетону конструкцій моста метро майже цілком відбуваються внаслідок зношення та пошкодження гідроізоляції проїзної частини. Тому поверхнева вода з розчинами агресивних протижелезних соляних сумішей, постійно просочуючись крізь існуюче покриття проїзної частини (звичайний асфальтобетон) та місця руйнування захисного шару й гідроізоляції, вільно потрапляє на поверхню залізобетонної зтяжки та пришвидшує його руй-

нування. Погіршують стан ще дві об'єктивні обставини. Перша з них полягає в тому, що всі стики між монолітним та збірним залізобетонном традиційно є слабкими місцями залізобетонних конструкцій, що призводить до збільшення обсягів води, що просочується. Друга ж обставина властива винятково конструктивній схемі моста метро та зводиться до того, що вісь поздовжнього водовідведення в поперечному перерізі перебуває у безпосередній близькості від монолітного вузла, через який проходять пучки попередньо-напруженого армування, що, на жаль, сприяє потраплянню на нього більшої кількості поверхневих вод. Таким чином безсумнівним є той факт, що будь-який із запропонованих варіантів ремонту споруди, крім відновлення несучої здатності моста, обов'язково повинен передбачати системні заходи щодо захисту арматури від корозії, влаштування водонепроникного покриття проїзної частини та усунення чи хоча б відтермінування передумов для погіршення їх технічного стану у майбутньому.

Тому з урахуванням наведених вище міркувань та порівняння вартості робіт та трудовитрат, людських ресурсів за першим й другим варіантами капітального ремонту дійшли остаточного висновку, що перший варіант ремонту моста метро є більш раціональним і рекомендованим до практичної реалізації. Причому термін виконання всіх будівельно-монтажних робіт для цього варіанта складає 22 місяці при цілодобовому режимі роботи.

[1] ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 45 с.

[2] ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2009. – 44 с.

Надійшла 12.03.2019 р.