

*Ірина Бондаренко
Дмитро Курган*

СТОСОВНО ПИТАНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

На сьогодні практично відсутня як нормативна база параметрів стану земляного полотна, так і система їх натурального вимірювання. Показники працездатності земляного полотна мають суттєвий вплив на роботу всієї залізничної колії. Умови експлуатації залізниць змінилися порівняно з тими, що закладалися в період будівництва, тому нижня будова колії може не забезпечувати сучасні потреби. Вирішення задачі повинне базуватися на сучасних теоретичних обґрунтуваннях. Різноманітність форм і методів побудови динамічних моделей, що принципово розрізняються між собою, свідчить про те, що вони виходять не з теоретичної суті процесів, а ґрунтуються на емпіричному підході, фіксуючи окремі зовнішні прояви динаміки.

На сегодняшний день практически отсутствует как нормативная база параметров состояния земляного полотна, так и система их натурального измерения. Работоспособность земляного полотна влияет на работу всего железнодорожного пути. Условия эксплуатации изменились в сравнении с закладываемыми в период строительства и нижнее строение пути может не соответствовать требованиям. Решение должно основываться на современных моделях. Разнообразие методов построения динамических моделей, принципиально отличающихся между собой, показывает, что они исходят не с теоретической сути процессов, а основываются на эмпирическом подходе, фиксируя отдельные внешние проявления динамики.

Today practically is absent as regulatory base for parameters of a road bed condition, and system of their natural measurement. Operability of a road bed influences work for all track. Service conditions changed in comparison with put during construction and the bottom structure of a way can not conform to requirements. The decision has to be based on modern models. Methods of creation of dynamic models are various. It shows that they proceed not from a theoretical essence of processes, and are based on empirical approach and fixing separate external manifestations of dynamics.

Ключові слова: земляне полотно, працездатність, пружність, деформації, хвильовий процес.

Термін експлуатації земляного полотна за техніко-економічними розрахунками складає 400 років, що на порядок більше найдовшого терміну експлуатації серед усіх елементів верхньої будови колії – залізобетонної шпали.

На сьогоднішній день експлуатація більшості конструкцій земляного полотна на українських залізницях перевищує півтора століття.

Жодними типовими технологічними процесами або нормативними вимогами (наприклад такими, як «Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних

робіт на залізницях України» [1]) не передбачається проведення ремонту цих конструкцій в межах такого проміжку часу навіть при наявності змін умов експлуатації, виключаючи випадки спливів і латання за рахунок досипки баластного шару та відводу води.

Будь-який норматив стосовно міцності та стійкості колії [2], надійності її роботи в часі, яка на сьогодні виражена в термінах експлуатації елементів та проведення ремонтів, передбачає роботу конструкції земляного полотна у пружній стадії. А для забезпечення тільки пружних деформацій земляного полотна треба, щоб його щільність в будь-яких точках в різні періоди часу роботи була не менше відповідно визначеного мінімуму. Тобто потрібно дотримуватися таких вимог:

1) забезпечення модуля пружності колії на рівні 40–50 МПа (існуючі нормативи розраховані з умови забезпечення цієї величини на рівні 50 МПа влітку, та 80–100 МПа взимку);

2) ущільнення до нормованої щільності ґрунтів у насипах, а також, у певних випадках, під основною площадкою у виїмках і на нульових місцях згідно з встановленими нормативами (додаток Б [3]);

3) забезпечення дренажних властивостей конструкції земляного полотна або застосування дренажних ґрунтів (ґрунти, які мають при максимальній щільності за стандартним ущільненням коефіцієнт фільтрації не менше 0,5 м/добу і мають в гранулометричному складі не більше 10% часток, розміром менше 0,1 мм (за [4]. Це такі типи ґрунтів: чистий гравій, чисті піски та суміші чистих пісків та гравію), або за допомогою водовідвідних конструкцій.

Що стосується першої вимоги, то, по-перше, дотепер не існує чітких норм стосовно жорсткості конструкції колії, тому забезпечити їх виконання неможливо. По-друге, взагалі відсутні прилади для визначення та оцінки жорсткості колії в інвентарному парку будь-якого підрозділу залізниці. По-третє, жодна спроба досягти однорідності жорсткості колії на всьому протязі за рахунок використання однорідних елементів верхньої будови колії (одного типу рейок, залізобетонних шпал, скріплень) не призведе до очікуваного результату, оскільки частка земляного полотна в деформаційному процесі всієї конструкції колії, залежно від роду ґрунту та його стану, становить 60–96 %, що, у свою чергу, призводить до певних похибок стосовно рекомендацій щодо використання та термінів служби будь-яких конструкцій верхньої будови колії.

Що стосується другої вимоги, то існує нормативний показник, але відсутність технічного забезпечення його перевірки і безкарність невиконання цієї вимоги також призводить до експлуатації земляного полотна не в пружній стадії.

Що стосується третьої вимоги, то, по-перше, умови експлуатації залізниць як правило, змінилися порівняно з тими, що закладалися в період будівництва, тому співвідношення напружень і водного балансу в тілі насипу можуть не забезпечувати сучасні потреби. А також, деякі водовідвідні споруди за цей період експлуатації або опинились у частково працездатному стані, або взагалі знаходяться в граничному стані, тобто поза терміном їх експлуатації. Згідно з [1] періодичність виконання робіт така:

– 100 % заміни дефектних кам'яних, бетонних, залізобетонних труб становить 100 років;

– 100 % заміни гофрованих металевих труб – 50 років;

– 100 % заміни, улаштування нових дренажних та водовідвідних споруд – 60 років;

– 100 % ремонту дренажних та водовідвідних споруд – 10 років;

– 50 % ремонту поверхонь лотків, селеспусків кожні 20 років. Тобто за 40 років повинно відновитися 100 % всіх поверхонь.

Тому, забезпечення цієї вимоги потребує перевірки дренажних властивостей земляного полотна з урахуванням рівня промерзання та відбудови водовідвідних споруд. В свою чергу, для перевірки дренажних властивостей земляного полотна необхідно провести його паспортизацію, оскільки в більшості випадків геобазис не мають даних стосовно навіть інформації про склад земляного полотна.

На сьогодні прийнято оцінювати стабільність земляного полотна його міцністю та стійкістю. Але ж ступінь міцності та стійкості земляного полотна не залишається незмінною в часі.

Збільшення вологості ґрунту, наприклад, внаслідок інфільтрації поверхневої води в ґрунт або підняття рівня ґрунтових вод (що найчастіше відбувається з випадінням опадів, таненням снігу, підйомом води в річках, водоймищах тощо) або внаслідок перерозподілу вологи в ґрунті в результаті зміни його температури і особливо промерзання взимку і т.п. може викликати різкі зміни таких основних характеристик ґрунту, як опору здвигу, об'ємної ваги та компресійних залежностей, від яких головним чином залежать міцність та стійкість ґрунтових масивів. Зміна щільності ґрунту, концентрації електролітів в розчині агресивності підземних вод та інших факторів також впливають на основні характеристики ґрунтів. Вплив цих факторів відрізняється для ґрунтів з різноманітним генезисом, структурою та текстурою, різноманітним мінералогічним та хімічним складом, не дивлячись на збіг за гранулометричним складом. Тому ступінь стабільності ґрунтових масивів взагалі і земляного полотна зокрема не залишається незмінним в часі, та при цьому основним вирішальним фактором є вода.

Якщо мають місце сезонні коливання вологості в ґрунті, то протягом року коефіцієнт стабільності масиву (що визначається як відношення факторів опору до факторів руйнування) змінюється від річного максимуму до річного мінімуму. Якщо, окрім цього, з року в рік йде накопичення вологи в ґрунтовому масиві, тоді середньорічне значення коефіцієнта стабільності буде падати. Якщо поточний коефіцієнт стабільності буде дорівнювати одиниці (при цьому буде мати місце гранична рівновага) і буде падати далі, то система виходить зі стану рівноваги, pojawiaються залишкові деформації ґрунтового масиву, іноді у вигляді дуже серйозних руйнувань. В результаті таких деформацій найчастіше основна маса води, що накопичилась у ґрунті, виходить з нього, ґрунт осушується і ґрунтовий масив приходить до нової системи рівноваги, зазвичай з суттєвим збільшенням коефіцієнта стабільності.

Якщо в подальшому знову відбувається накопичення вологи в ґрунті, то описаний процес на дестабілізованих об'єктах буде відбуватись циклічно. Як, наприклад, відбувається процес руйнування нестійких зсувних косогорів. Періоди циклів на одному і тому самому об'єкті мають різну тривалість залежно від інтенсивності зміни співвідношення між факторами опору та факторами руйнування, що визначається впливом діяльності людини та природи.

В загальному вигляді кожен цикл на дестабілізованому об'єкті складається з таких періодів:

- період відносної стабілізації;
- період місцевих посувань;
- період посувань загального або найбільшого охоплення;
- період місцевих посувань.

При цьому період відносної стабілізації характеризується значенням коефіцієнта стабільності більше одиниці. Якщо поточне значення коефіцієнта стабільності наближається до одиниці, але в цілому для всього об'єкта більше її, в окремих частинах об'єкта можуть відбуватись місцеві посування, що характеризуються появою місць з початковими тріщинами, відривами, здиманням ґрунту і т.п. при збереженні загальної стійкості об'єкта. Якщо, загальне падіння поточного коефіцієнта стабільності для всього об'єкта досягає такого значення, при якому весь об'єкт втрачає рівновагу, відбуваються загальні посування. Тому, знання та розуміння природно-історичних умов та динаміки процесів, що відбуваються на об'єкті, є умовою для правильного та раціонального проектування стабілізуючих заходів. І слід розуміти, що в більшості випадків будови земляного полотна (наприклад, на нестійких, зсувних косогорах, у гірських районах і т.п.) тільки пряма протидія силам природи (у вигляді будови підтримних споруд, перерозподілу мас ґрунту і тощо) є економічно дорогою, а технічно дуже громіздкою. Тому основою заходів що до стабілізації ґрунтових масивів повинно бути орієнтування та нейтралізацію сил природи в ба-

жаному напрямку. Крім цього, недостатньо намітити всі заходи по стабілізації – потрібно їх правильно розташувати та виконувати в потрібний час. Найдоцільніше проведення всіх заходів в період відносної стабілізації. Таким чином, важливішим завданням експлуатації ґрунтових споруд повинно бути вивчення об'єкта і процесів, що відбуваються в ньому, а також безперервне приведення у відповідність факторів, що опираються руйнуванню, факторам, що викликають деформації об'єкта.

Розглядаючи питання щодо підвищення стабільності земляного полотна необхідно проаналізувати його стан в різних країнах.

В нашій країні земляне полотно, зазвичай, це споруда, що відсипана з місцевих або привозних ґрунтів, тобто це комплекс ґрунтових споруд, що отримані в результаті обробки земної поверхні. Якщо розглянути характеристики ґрунтів, що використовуються для зведення земляного полотна, то інтервали модулів пружності колії з використанням таких ґрунтів становить для конструкцій з дерев'яними (чисельник) та залізобетонними (знаменник) шпалами, МПа:

- пилювато-суглинних 13,8/19,7...31,3/35,5;
- супісків, легких суглинків 15,5/23,3...40,7/49,1;
- середніх та важких суглинків 7,5/14,3...26,4/30,6;
- легких глин 7,4/9,6...31,6/35,8;
- середніх та важких глин 12,7/18,9...57,7/69,6.

Тобто, не всі конструкції земляного полотна працюють в пружних стадіях з врахуванням сьогоdnішніх навантажень на колію. Для підвищення стабільності колії можна використовувати захисний шар, конструкції якого запропоновано, наприклад, у [5]. Зазвичай, це однорідний шар товщиною 15...80 см, розташований над існуючими ґрунтами.

Аналіз закордонного досвіду свідчить, що для забезпечення стабільності земляного полотна використовується захисний шар, що є складною конструкцією з різними характеристиками:

- першим є захисний шар, що виконує функцію армування з природних матеріалів з модулем деформації 120 (100) МПа, товщиною 15...75 см;
- другим розташовано захисний від промерзання з модулем деформації 80 МПа, та товщиною 50 см;
- третім розташовано верхній шар земляного полотна з модулем деформації 60 МПа та товщиною 130 см;
- четвертим розташовано нижній шар земляного полотна з модулем деформації 40 МПа та товщиною 50 см;
- п'ятим йде шар з ґрунтів основи товщиною не менш 50 см.

Реалізація цих параметрів для діючих ліній закордоном здійснюється при їх капітальному ремонті або реконструкції колії. Як матеріал захисних шарів використовують штучно підібрані піщано-гравійні суміші. В останні роки почали широко застосовувати геосинтетичні матеріали, які виконують функції армування, розділення, дренажу, фільтрації та запобігання ерозії.

У Росії будівельно-технічними нормами СТН Ц-01-95 [6] і СНиП 32-01-95 [7] регламентується посилення баластної конструкції укладанням захисного шару з дренуючого ґрунту, в т. ч. спільно з геотекстилем і плитами пінополістиролу. Товщина цього шару має відповідати розрахунку, але не менше 0,8-1,0 м для суглинків і глин і 0,5-0,7 м для супісків.

Критичною розрахунковою зоною є не тільки «нова» основна площадка, яка є основою для верхньої будови колії і найбільшою мірою сприймає впливи від поїзного навантаження, а й межа розділу дренуючих і глинистих ґрунтів власне земляного полотна. На нових лініях – це нижня межа захисного шару, а на існуючих – положення деформованої первісної основної площадки земляного полотна. Розрахункові методи повинні передбачати як недопущення пластичних деформацій глинистого ґрунту земляного полотна, так і обмеження величини деформацій під впливом морозного здимання. Для земляного полотна швидкісних і високошвидкісних залізниць в Росії сьогодні вважається необхідним виконання таких технічних вимог:

- пружна осадка основної площадки земляного полотна, не повинна перевищувати 1,5 мм під впливом навантаження від рухомого складу, прийнятого для експлуатації на конкретній лінії. Розрахунки свідчать, що ця умова забезпечується при встановлених обрисах поперечного

профілю земляного полотна, відсипаного ґрунтами, які мають в ущільненому стані модуль пружності 45-50 МПа;

– деформація основи баластної призми внаслідок морозного здимання не допускається. Отже, із зони промерзання повинні виводитися ґрунти, в яких спостерігається морозне здимання. До них належать всі різновиди глинистих ґрунтів з вологістю вище межі розкочування і дрібнозернисті піллуваті піски;

– осадки основної площадки земляного полотна, обумовлені сезонними змінами кліматичних факторів (відтавання – промерзання, зволоження – висихання і т.д.), не допускаються;

– осідання, викликані ущільненням ґрунтів земляного полотна і його утворення в період експлуатації залізничної колії, допускаються з інтенсивністю до 5 мм в рік, за умови ущільнення ґрунтів під час будівництва до 90% їх максимальної щільності. Робота земляного полотна за своїм функціональним призначенням безпосередньо пов'язана з коливаннями від динамічного впливу рухомого складу. Однак при проектуванні земляного полотна динамічні процеси не враховують або враховують наближено. Пояснюється це тим, що на даний час немає достатньо адекватної динамічної моделі роботи земляного полотна. Дефекти основної площадки земляного полотна у вигляді баластових корит, лож, мішків завжди тією чи іншою мірою з'являються залежно від зовнішніх умов, особливо якщо насип відсипаний з глинистих ґрунтів. Основною причиною їх появи є багаторазовий динамічний вплив від поїзного навантаження.

З вищевикладеного випливає, що облік динамічного впливу поїзного навантаження в роботі земляного полотна є одним з найважливіших напрямків досліджень у транспортній геомеханіці. Актуальність проблеми підтверджується широким спектром робіт, що проводяться в цьому напрямку безліччю наукових колективів. Дослідження динаміки земляного полотна проводяться у ВНІЖТі, ЛІЖТ, МІТі, СГУПС та інших транспортних закладах Росії. В сукупності дослідження можна поділити на п'ять напрямків.

Перший напрям пов'язаний з установленням динамічних характеристик ґрунтів. У переважній більшості випадків мова йде про характеристики міцності з урахуванням їх нелінійності.

Другим напрямом, який отримав широкий розвиток, є експериментальне моделювання. Причому найбільші практичні результати були досягнуті в відцентровому моделюванні. На початку 60-х років ХХ ст. у колієдослідній лабораторії МІТу під керівництвом д.т.н. Г. М. Шахунянца, Д. І. Івановим та Т. Г. Яковлевою була створена установка для відцентрового моделювання. Доктором технічних наук Т. Г. Яковлевою було проведено багато досліджень, що мають велике теоретичне і практичне значення. Вона розширила загальну теорію відцентрового моделювання і доповнила її розробкою теорії моделювання нестационарних процесів, а також розробкою теорії моделювання поведінки земляного полотна залізниць з урахуванням їх специфічних особливостей. Прикладом практичного застосування відцентрового моделювання є розробка методики визначення інтегрального параметра, що враховує вплив динамічного впливу на насип з обґрунтуванням конкретних значень цього параметра ґрунту. Моделювання динамічних процесів, що відбуваються в насипі, виконано у ВНІЖТі д.т.н. Г. Г. Коншин. Незважаючи на відмінності розмірів моделі і натурних розмірів насипу, а також параметрів джерела коливань (ультразвукові частоти) з коливаннями від поїзного навантаження, все ж таки вдалося на моделі простежити характерні ознаки пошкоджень в природних умовах.

Третім, одним з найважливіших напрямів досліджень, є натурне спостереження.

Четвертим перспективним напрямом розвитку динамічних досліджень транспортних споруд є вібродіагностика. У сучасній техніці широко застосовують вібродіагностичні методи. У дослідженнях насипів земляного полотна поряд з природними джерелами коливань, яким є рухомий склад, також застосовують штучні джерела ударного типу та ультразвукові. Вібродіагностика може фіксувати кордон мерзлих і талих зон ґрунтів, потужність торф'яного шару, а також складні нашарування з прошарками слабких ґрунтів. Якщо говорити про найближчі перспективи вібродіагностики, то слід очікувати, що можливості методу будуть нарощуватися за рахунок автоматизації процесу та отримання більш повної та якісної інформації.

П'ятий напрям – розрахунки земляного полотна з урахуванням динамічних впливів, поряд з натурними спостереженнями займає особливе місце серед згаданих напрямків досліджень. Адекватне розрахункове моделювання роботи земляного полотна є в кінцевому результаті ме-

тою переважної більшості досліджень. Тому всі перераховані напрями тісно пов'язані один з одним, а рівень розрахункового моделювання характеризує рівень розвитку даної галузі науки. У цілому уся безліч динамічних розрахунків насипів земляного полотна підрозділяється в основному на три частини. Це, по-перше, розрахунки стійкості земляного полотна, по-друге, розрахунки пружного осідання, по-третє, розрахунки залишкових деформацій основної площадки. При цьому динамічний вплив враховують декількома способами.

Відповідно до одного з них, при статичній схемі розрахунку слід збільшувати величину статичного навантаження. Т. Г. Яковлева пропонує вводити інтегральний параметр, одержуваний за допомогою відцентрового моделювання. Цей параметр характеризує сумарний вплив на стійкість насипу інерційних і дисипативних сил, що виникають при його коливанні і вібрації, а також зниження опору ґрунтів зрушенню, і згасання динамічного впливу з глибиною.

У статичних схемах розрахунку найбільшого поширення набуло застосування динамічних характеристик міцності. З наведених методик розрахунку стійкості при динамічних впливах видно, що основоположна сутність динаміки – хвильовий процес у цих розрахунках не моделюється, а є «чорним ящиком», прояви якого дуже різноманітні [8].

Інші розрахунки земляного полотна, про які згадувалося вище: визначення пружних осідань і залишкових деформацій основної площадки, також виконують в цілому без урахування хвильового процесу. В утворенні пружних осідань бере участь низькочастотний хвильовий процес, пов'язаний з проходженням колісних пар поїздів. При малих і середніх швидкостях руху поїздів інерційні сили не можуть чинити помітного впливу на накопичення залишкових деформацій, але багаторазовість навантаження змінює характер процесу.

Деформації основної площадки прогнозують напівемпіричними методами. Є спроби створення загальної теорії накопичення деформацій при повторних навантаженнях, але також без прямого розгляду хвильового процесу.

Проведений короткий аналіз робіт по динаміці земляного полотна свідчить:

1. Динамічні процеси, що протікають в земляному полотні, є суттєвим чинником накопичення деформацій і їх необхідно враховувати при проектуванні земляного полотна.

2. У розрахунках та прогнозуванні динамічного впливу на споруди не розглядають власне динамічний процес, а використовують різні прийоми урахування динамічного ефекту. При цьому, як правило, використовують різні статичні розрахункові схеми.

3. Різноманіття форм і методів урахування динаміки, що принципово розрізняються між собою, свідчить про те, що всі вони виходять не з теоретичної суті процесів, а ґрунтуються на емпіричному підході, фіксуючи окремі зовнішні прояви динаміки.

4. Відсутність єдиної концепції динаміки земляного полотна, що витікає з хвильової природи всіх динамічних процесів, гальмує подальший розвиток адекватного моделювання, впевненого прогнозування і проектування надійного в експлуатації земляного полотна в різних природних умовах з урахуванням вантажонапруженості та інтенсивності руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колієвих робіт на залізницях України. ЦП-0113 від 10.08.2004, №630-ЦЗ – К., 2004. – 32 с.
2. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 від 13.12.2004, № 960-ЦЗ – К., 2004. – 170 с.
3. ДБН В.2.3 -12:2006. Споруди транспорту залізничної колії 1520 мм. – К., 2006 – 151 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Ґрунти. Класифікація. Наказ Держкоммістобудування України №189 від 01.11.96. 1997. – 52 с.
5. Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії. ЦП-0204 від 25.12.2008, №557-ЦЗ – К., 2009. – 44 с.
6. СТН Ц 01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. Утверждено приказом МПС РФ от 25.09.1995 г. № 14 Ц. – М., 1995. – 93 с.
7. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. Утверждено постановлением Минстроя России от 18.10.1995 г. № 18-94. – М., 1995. – 46 с.
8. *Бондаренко І. О., Курган Д. М.* Застосування теорії розповсюдження пружних хвиль для вирішення задач напружено-деформаційного стану залізничної колії. // 36. наук. пр. ДЕТУТ «Транспортні системи і технології». Вип. 18. – К., 2011. – С. 14–18.