

УДК 69.059.4

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕХНІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ТРИГРАННОЇ ЩОГЛИ ВИСОТОЮ 120 М

С. Бурчєня, к. т. н.*ORCID ID: 0000-0002-6903-1134**Львівський національний університет природокористування***Н. Дудяк, д. е. н.***ORCID ID: 0000-0002-2384-1991**Херсонський державний аграрно-економічний університет***С. Віхоть, к. т. н.***ORCID ID: 0000-0002-1063-2103**Національний університет «Львівська політехніка»*<https://doi.org/10.31734/architecture2025.26.034>

Бурчєня С., Дудяк Н., Віхоть С. Результати технічного обстеження метеорологічної тригранної щогли висотою 120 м

Подано результати технічного обстеження металеві тригранної щогли висотою 120 метрів з метою визначення причин її руйнування. Щогла розташована на майданчику із сейсмічністю 7 балів за шкалою сейсмічності, згідно з ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України. Рельєф ділянки – гірський. Об'єкт розташований за межами населеного пункту на горі Плай (на відкритій місцевості). Ширина в осях поясних елементів змінна за висотою. Щогла набирається із елементів заводського виготовлення, висотою 2,4 м, 2,0 м та 1,5 м за допомогою фланцевих з'єднань та фіксується за допомогою відтяжок, розташованих у десяти рівнях. Конструктивна система – нерозрізна просторова металева ферма, розташована вертикально. Поперечний переріз щогли – рівносторонній трикутник. Вертикальні поясні елементи – сталеві труби, діаметром 60 мм та 48 мм. Решітка виконана з металевих повнотілих стрижнів діаметром 20, 18 та 16 мм. Відтяжки – сталевий канат, діаметром 10 мм. Просторова жорсткість забезпечена сумісною роботою тіла ферми та відтяжок.

Під час технічного обстеження щогли запроваджено методику натурних обстежень, яка дає можливість оцінити несучу здатність конструкцій.

У процесі обстеження виконано роботи: вивчення технічної документації об'єкта технічного обстеження; попередній огляд, під час якого визначено загальний стан конструкцій, і виявлення ділянок та конструкцій із видимими дефектами; детальне візуальне обстеження видимих дефектів, пошкоджень окремих конструкцій, їх деформації, тріщин в елементах та вузлах, руйнування; інструментальне обстеження за допомогою спеціального устаткування, приладів та апаратури для неруйнівних методів випробувань, приладів та устаткування для лінійних вимірів; під час технічного обстеження згідно із завданням були оглянуті усі елементи щогли, на основі чого надано висновки щодо її руйнування.

Ключові слова: щогла, обстеження, категорія технічного стану, секція, опора.

Burchenia S., Dudiak N., Vikhot S. Results of technical inspection of a 120-meter-high meteorological triangular mast

The article discusses the results of a technical inspection conducted on a 120-meter-high metal triangular mast to determine the causes of its failure. The mast is situated in an area with a seismicity rating of 7 on the seismicity scale, according to DBN V.1.1-12:2014 for Construction in Seismic Areas of Ukraine. The terrain is mountainous, and the site is located outside a settlement on Mount Plai, in an open area. The width in the axes of the belt elements varies with height. The mast is constructed from factory-made elements with heights of 2.4 meters, 2.0 meters, and 1.5 meters, using flange connections, and is anchored by guy wires at 10 different levels. The structural system is a vertically oriented continuous spatial metal truss. The cross-section of the mast forms an equilateral triangle. Vertical belt elements consist of steel pipes with diameters of 60 mm and 48 mm, while the lattice is made of solid metal rods with diameters of 20 mm, 18 mm, and 16 mm. The stays are steel cables with a diameter of 10 mm. The spatial rigidity of the structure is achieved through the combined action of the truss body and the stays.

During the technical inspection of the mast, a field survey methodology was employed to evaluate the load-bearing capacity of the structures.

The inspection included several steps: familiarization with and study of the technical documentation related to the inspection object; preliminary inspection to assess the general condition of the structure and identify sections with visible defects; detailed visual inspection of visible defects, including damage to individual elements, deformations, cracks in components and joints, and any destruction; instrumental inspection utilizing specialized equipment and non-destructive

testing methods, along with devices for linear measurements. Throughout the inspection, all elements of the mast were thoroughly examined, and conclusions regarding its failure were drawn based on these observations.

Keywords: mast, inspection, technical condition category, section, support.

Постановка проблеми. Забезпечити довговічність та надійність будівель можна завдяки вчасно проведеним технічним обстеженням конструктивних елементів будівлі [9; 11]. Основою для проведення обстеження є технічне завдання, яке формує замовник обстеження, а діагностування технічного стану окремих будівельних конструкцій та об'єкта в цілому здійснюють через виконання необхідної сукупності обстежувальних, розрахункових та аналітичних процедур, перелік і повноту яких зазначають у технічному завданні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вчасно проведене обстеження об'єкта дозволить встановити необхідність підсилення несучих конструкцій, що працюють на різні типи зусиль [3; 4; 5; 12], та вибрати надійний метод підсилення [5; 8] для подальшої безпечної експлуатації. Є низка причин, що можуть призвести до утворення дефектів та руйнування конструкцій: збільшення навантаження на конструкції, зміна конструктивної схеми при реконструкції тощо. Нові підходи до розрахунку [7; 10] та дослідження напружено-деформованого стану конструкцій будівель та штучних споруд [2] дають змогу зменшити витрати матеріалів та покращити техніко-економічні показники.

Постановка завдання. Наше завдання – обстеження металевої тригранної щогли висотою 120 м для визначення причин її руйнування, надання рекомендацій щодо проектування та конструювання щогл на висоті більше 1000 метрів над рівнем моря для їх безпечної експлуатації за призначенням.

Виклад основного матеріалу. Щогла розташована на майданчику із сейсмічністю сім балів за шкалою сейсмічності, згідно з ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України. Рельєф ділянки – гірський. Об'єкт розташований за межами населеного пункту на горі Плай (на відкритій місцевості).

Висота металевої щогли – 120 м. Ширина в осях поясних елементів змінна за висотою. Щогла набирається із елементів заводського виготовлення, висотою 2,4 м, 2,0 м та 1,5 м за допомогою фланцевих з'єднань. Щогла фіксується за допомогою відтяжок, розташованих у десяти рівнях.

Конструктивна система – нерозрізна просторова металева ферма, розташована вертикально (рис. 1). Поперечний переріз щогли – рівносторонній трикутник. Вертикальні поясні елементи – сталеві труби, діаметром 60 мм та 48 мм. Решітка виконана з металевих повнотілих стрижнів діаметром 20, 18 та 16 мм. Відтяжки – сталевий канат, діаметром 10 мм. Просторова жорсткість забезпечена сумісною роботою тіла ферми та відтяжок.

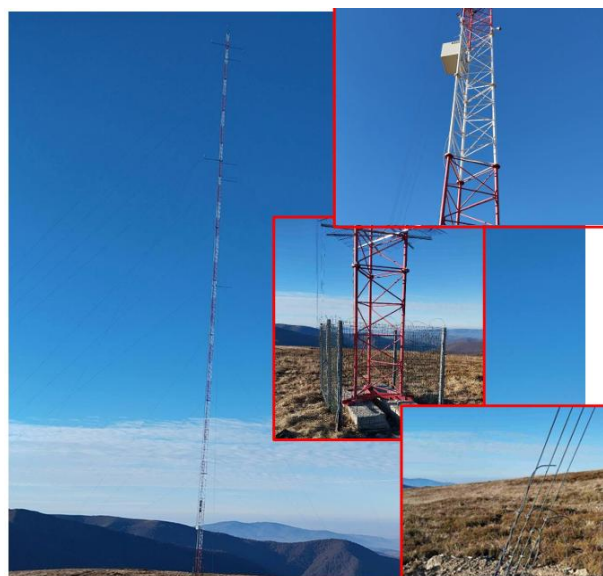


Рис. 1. Загальний вигляд щогли

Фундаменти щогли та анкери відтяжок не обстежувалися. Шурфування не проводилось. На рис. 2–3 зображено наземні частини фундаменту щогли та анкерів відтяжок.



Рис. 2. Загальний вигляд надземної частини фундаменту

На верхній площині залізобетонного фундаменту розташовані анкерні болти. Опирання щогли на фундамент – шарнірне. До нижніх фланців опорного її елемента прикручені короткі сталеві елементи із швелерів, розвернуті полочками вниз (рис. 4, 5). Цими елементами щогла опирається на опорну раму у вигляді металевих швелерів, які з'єднані у формі трипроменевої зірки.



Рис. 3. Загальний вигляд анкерного кріплення відтяжок метеощогли

Із слів представника замовника анкерні бетонні елементи відтяжок були привезені на будівельний майданчик у вигляді блоків. Ці блоки були опущені у викопані заздалегідь котловани на глибину приблизно три метри. Троси щогли з'єднані з анкерами через талрепи (рис. 5), які кріпляться до розподільчих металевих пластин, що прикріплені до металевих тягів. Металеві тяжі прикріплені безпосередньо до залізобетонних фундаментних блоків. На момент обстеження щогла була зруйнована (впала). Дефектів фундаменту

щогли та фундаментів-анкерів відтяжок не виявлено.



Рис. 4. Опорна частина щогли в момент обстеження

Висновок: фундамент щогли та фундаменти-анкери відтяжок у задовільному технічному стані (категорія технічного стану – «2»).

Виявлені дефекти описані в табл. (позначення секцій у таблиці прийнято від 1 до 56, де 1 – опорний елемент, а 56 – оголовок щогли).

Усі секції щогли оцинковані. Поверх цинкового покриття виконано їх додаткове фарбування емалевими фарбами білого та червоного кольорів. З'єднання елементів щогли – фланцеві. Фланці виконані з металевих круглих пластин товщиною 16 мм. Болти та гайки фланцевих з'єднань М16. У місцях кріплень відтяжок (на рівні з'єднань секцій) передбачені діафрагми жорсткості та спеціальні пластини з отворами для кріплення тросів (рис. 6). Діафрагми жорсткості виконані у формі трипроменевої зірки з пластин товщиною 8 мм та шириною 170 мм. В отвори пластин встановлені коуші, через які протягнуті канати. Фіксація канатів виконана із допомогою спеціальних затискачів.



Рис. 5. Загальний вигляд щогли після падіння



Рис. 6. Діафрагма жорсткості в місцях кріплення відтяжок

Таблиця

Дефекти щогли

Нумерація елементів щогли	Позначення у проєкті	Геометричні розміри в осях	Довжина, мм	Опис, виявлені дефекти
1	2	3	4	5
1–5	C1	900	2400	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 20 мм, пошкоджень та деформацій не виявлено
6–7	C1	900	2400	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 20 мм, виявлено деформації від падіння зверху на іншу секцію (рис. 7)
8	C1	900	2400	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 20 мм. Між секцією 8 та 9 встановлена діафрагма та прикріплені троси розтяжок Т1. Деформацій не виявлено
9	C2	900	2400	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 20 мм. Виявлено деформації в розкосах
10	C3	900-700	2400	Секція перехідна з 900 мм на 700 мм в осях трикутника (база). Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 20 мм. Секція 10 є перехідною – осьові розміри сторін трикутника в нижній частині рівні 900 мм, а у верхній 700 мм. На з'єднаннях між 10 та 11 секціями відбувся згин щогли. В секції 10 деформовані основні труби ствола та розкоси (рис. 8)
11	C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. У секції 11 деформовані основні труби ствола та розкоси (рис. 9). Відбувся згин щогли. Між секцією 11 та 12 проєктом передбачено діафрагму, але її там не виявлено
12–14	C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. Деформацій не виявлено
15	C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. Між 15 та 16 секціями

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
				встановлені троси розтяжок та діафрагма жорсткості. У місці фланцевих з'єднань секцій 15 та 16 зафіксовано невеликий згин щогли – втрата прямолінійності та розрив, в одному фланцевому з'єднанні, болтів
16–18, 20–21, 23, 26–27	C4-C5 C4 C5 C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. Деформацій не виявлено
19	C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. Зафіксовано згин секції із зломом головних несучих труб ствола щогли (рис. 10-11 прямолінійний «зріз/розрив» труб)
22	C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. Деформацій не виявлено Між секцією 22 та 23 встановлені троси розтяжок
24	C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. Між секцією 24 та 25 зафіксовано розрив болтів у фланцевих з'єднаннях та відповідно згин ствола щогли
25	C4	700	2000	Діаметр труб – 60 мм, розкоси – 18 мм. Розрив болтів з'єднань з секцією 24. Деформації труб у місцях кріплення фланців. Лежить під секціями 1–5
28	C6	700	2000	Діаметр труб ствола 48 мм (перехід на менший діаметр основних труб ствола щогли), розкоси 18 мм. Між секцією 28 та 29 встановлено діафрагму та прикріплені троси розтяжок. Один з тросів розірваний! Секція сильно деформована, оскільки в наступній секції відбулось руйнування
29	C8	700	2000	Діаметр труб ствола 48 мм, розкосів – 18 мм. Зігнуті розкоси, труби деформовані та розірвані, також зафіксовано розрив тросу відтяжки
30–33 35–38	C7	700	2000	Діаметр труб ствола 48 мм, розкосів – 18 мм. Деформацій не виявлено
34	C7	700	2000	Діаметр труб ствола 48 мм, розкосів – 18 мм. Між секціями 34 та 35 встановлено діафрагму та прикріплені троси розтяжок. Зафіксовано руйнування труб ствола щогли через їх розрив
39	C9	700-500	2000	Секція перехідна. Перехід на менший переріз, з 700 мм на 500 мм в осях. Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 18 мм. Деформацій не виявлено

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
40	C10	500	2000	Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 16 мм. Між секціями 40 та 41 встановлено діафрагму та троси розтяжок). Зафіксовано згин та розрив секції
41	C11	500	2000	Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 16 мм. Секція деформована
42	C10	500	2000	Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 16 мм. Секція розірвана (рис. 12)
43	C10	500	2000	Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 16 мм. Деформована
44	C10	500	2000	Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 16 мм. Дефектів не виявлено (між секціями 44 та 45 проєктом передбачено діафрагму та троси розтяжок)
45–47, 49	C11, C10, C10, C11	500	2000	Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 16 мм. Дефектів не виявлено
48	C10	500	2000	Діаметр труб ствола щогли 48 мм, розкосів – 16 мм. Між секцією 48 та 49 встановлена діафрагма та прикріплені троси розтяжок. Слід зауважити, що в цьому місці встановлені додаткові стабілізаційні троси, які закріплені у вигляді петлі за труби секції. Секція зігнута та розірвана
50	C10	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Секція деформована, одна з труб має ознаки втрати стійкості та розірвана (рис. 13)
51	C10	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Труби та розкоси секції мають незначні деформації
52	C10	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Між секцією 52 та секцією 53 встановлена діафрагма та прикріплені троси розтяжок. Секція деформована, одна з труб має ознаки втрати стійкості та розірвана
53	C11	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Зафіксовано незначні деформації труб та розкосів
54	C10	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Спостерігається деформація труб та розкосів секції (до секції прикріплені конструкції з датчиками).

Закінчення таблиці

1	2	3	4	5
55	C10	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Секція деформована від падіння на неї іншої частини щогли.
56	C10	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Між секцією 56 та 57 встановлена діафрагма та троси розтяжок.
57	C11	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Деформацій не виявлено.
58	C10	500	2000	Діаметр труб 48 мм, розкоси 16 мм. Деформацій не виявлено
КТ1	КТ1		36300	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ2	КТ2		46200	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ3	КТ3		57500	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ4	КТ4		82200	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ5	КТ5		91500	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ6	КТ6		101400	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ7	КТ7		116500	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ8	КТ8		123000	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770. Розрив
КТ9	КТ9		129700	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770
КТ10	КТ10		136500	Канат 10-Г-В-Ж-Н-1770



Рис. 7. Пошкоджена секція 6 від падіння на іншішй фрагмент щогли



Рис. 8. Згин щогли в місці з'єднання секції 10-ї та 11-ї



Рис. 9. Секції 11–19 (на передньому плані секція 19 – зруйнована)



Рис. 10. Згин із зломом секції 19 (характерне прямолінійне руйнування труби у вигляді «зрізу»)



Рис. 11. Розрив 42 секції та згин 44-ї (на передньому плані секція 41)



Рис. 12. Руйнування із згином секції 47 (ближній план)



Рис. 13. Деформації і розрив труби в секції 50



Рис. 14. Деформації і розрив труби в секції 52

Аналізуючи нашарування одних елементів щогли на інших, можна змодельовати поетапне її руйнування: спочатку почали руйнуватись труби верхніх секцій щогли. Труби секцій 51 та 53 зруйнувались від перемінних зусиль стиску та розтягу, що чітко видно на рис. 14. Після розриву елементів цих секцій, імовірно, збільшився ексцентриситет і момент, що утворився від ваги ожеледі, зламав щоглу в секції 47. Слід зауважити, що секція 47 була опорною, оскільки до неї кріпилися відтяжки.

Під час руйнування (падіння) фрагменту 48–58 він потягнув за собою фрагмент із секцій 47–39. Ця частина щогли зігнулася спочатку на елементі 44, потім на 41, і була відірвана від щогли на рівні 40-ї секції. Як і попереднє руйнування, воно відбулося на рівні розташування тросів відтяжок.

- Наступний фрагмент, який був зруйнований (секції 34–29). Ці секції були розташовані між діафрагмами, до яких кріпилися троси відтяжок.

- Фрагмент із скручених секцій 34–29, аналогічно до попереднього, був розташований між опорними вузлами кріплення тросів відтяжок.

- Останній найдовший фрагмент – 29–1 – падав останнім, оскільки наклав собою усі інші секції, що вже лежали на землі. У цьому елементі спостерігаємо розрив болтів фланцевих з'єднань у секції 25, згин секцій 19 та 10. Фактично руйнування відбувалось зверху вниз.

Висновки. Руйнування розпочалось із верхніх секцій щогли 48–58. Кожен верхній фрагмент із елементів щогли, що падав, зумовлював надмірні моменти в опорних зонах, які руйнували головні несучі елементи секцій щогли. Руйнування щогли відбулось зверху донизу. Розрив труб у верхніх секціях свідчить, що труби не витримали навантаження від ожеледі. Виявлений дефект стикового з'єднання труби в секції 19 міг стати причиною збільшення амплітуди коливання щогли і відповідно збільшення згинальних моментів, які стали руйнівними.

Бібліографічний список

1. ДСТУ Н Б В.1.2-18:2017 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення їх оцінки та технічного стану. Київ: «УкрНДНЦ», 2017. 47 с. [Чинний з 2017.04.01].

2. Babyak I., Vikhot S. Testing and the Possibility of Using the A-IIIb Periodic Profile Reinforcement for Bridge Running Structures. *Lecture Notes in Civil Engineering, 604 LNCE*. 2024. Pp. 1–10. DOI: 10.1007/978-3-031-67576-8_1
3. Blikharsky Y., Vashkevych R., Kopiika N., Bobalo T., Blikharsky Z. Calculation residual strength of reinforced concrete beams with damages, which occurred during loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. № 1021 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/1021/1/012012
4. Blikharsky Z., Bobalo T., Kramarchuk A., Ilnytsky B., Vashkevych R. Bearing capacity of stone beam reinforced by GFRP, *Lecture Notes in Civil Engineering. Proceedings of 2nd International scientific conference on Eco-Comfort and Current issues of civil engineering EcoComfort*, Lviv; Ukraine, 16–18 September 2020. Vol. 100. P. 42–52. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_6
5. Blikharsky Z., Shnal T., Khmil R. The influence of the damaged reinforcing bars on the stress-strain state of the reinforced concrete beams. *Production Engineering Archives*. 2017. № 14. Pp. 23–26. DOI: 10.30657/pea.2017.14.06
6. Bobalo T., Blikharsky Y., Selejdak J., Kopiika N., Blikharsky Z. Concrete Beams Reinforced with High Strength Rebar in Combination with External Steel Tape. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023. № 13 (7). DOI: 10.3390/app13074528
7. Burchenya S., Famulyak Y., Sobczak-Piastka J. Modelling of Work of Cut and Stretchy Sheet in Span Beam Structures with the Mixed Reinforcement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. № 362 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012114
8. Burchenya S., Sobczak-Piastka J. The research of bearing capacity and stress-strain behavior of bending complex steel concrete beams. *AIP Conference Proceedings, 2077*. 2023. DOI: 10.1063/1.5091871
9. Burchenya S., Vikhot S., Surmai M., Mishchenko Y. The results of the technical inspection of the production building on Buika street, house 24 in the City of Lviv. *AIP Conference Proceedings*. 2023. № 2949 (1). <https://doi.org/10.1063/5.0165906>
10. Vybranets Y., Vikhot S. Spatial Calculation of Metal Truss Structure in Joint Work with Reinforced Concrete Slab. *Lecture Notes in Civil Engineering, 290 LNCE*. 2023. Pp. 450–458. DOI: 10.1007/978-3-031-14141-6_46
11. Vybranets Y., Vikhot S., Burchenya S. Design Recommendations for Flat Monolithic Reinforced Concrete Slabs. *Lecture Notes in Civil Engineering, 604 LNCE*. 2024. Pp. 602–610. DOI: 10.1007/978-3-031-67576-8_56
12. Vybranets Y., Vikhot S., Burchenya S. Field Tests and Analysis of Flat Monolithic Reinforced Concrete Slabs. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2024. № 438. Pp. 484–497. DOI: 10.1007/978-3-031-44955-0_49

Стаття надійшла 10.02.2025