

Тема 7 .Розрахунок і проектування сталевих елементів.Програмний модуль „LIRA-STK”. Призначення і можливості. Проектовані перерізи. Завдання додаткових даних для розрахунку. Конструктивні і уніфіковані елементи. Перевірки несучої здатності елементів. Підбір перерізів прокатних елементів. Наскрізний і локальний розрахунки

7.1 Призначення і можливості

Система «ЛІР-СТК» призначена для підбору і перевірки перетинів в стержньових елементах відповідно до [1], [2] і [3]. «ЛІР-СТК» дозволяє варіювати перетини конструкцій. Так, наприклад, заданий в програмі «ЛІРА» залізобетонний перетин може бути замінений і розрахований як сталевий.

Розрахунок виконується на одне або декілька розрахункових поєднань зусиль або навантажень (РПЗ або РПН), які отримані з розрахунку конструкції за допомогою ПК «ЛІРА», або без статичного розрахунку конструкції.

Підбір і перевірка може проводитися в двох режимах:

- наскрізний режим, в процесі якого проводиться розрахунок для всіх вказаних користувачем елементів в автоматичному режимі;
- локальний режим, в процесі якого користувач може проводити багатоваріантне проектування - змінювати розміри перетину, міняти марку сталі, варіювати розстановку ребер жорсткості і т.п.

Результатами рахунку є розміри перетинів елементів і відсотки використання здатності перетинів елементів, що несе, по відповідних перевірках [3]. Результати перевірки або підбору видаються у вигляді текстових, HTML, Excel таблиць і графічних таблиць або копій екрану.

Робота «ЛІР-СТК» здійснюється на базі нормативних даних, які містять відомості про розрахункові характеристики сталей і розмірах листового и фасонного прокату, який випускається. База сортаменту міститься в системі «ЛІР-РС» (Сортамент, який редагується).

7.2 Перетини, що проектуються







В залежності від зусиль, що діють в перетині, для стержньових елементів визначені наступні розрахункові процедури (табл. 7.1).







Таблиця 7.1 – Види зусиль які розраховують робочі процедури

Розрахункова процедура	Зусилля
Елементи ферм	Подовжнє зусилля N (стиснення або розтягування)
Елементи, що згинаються	Згинальні моменти M_y (в площині ZI) і M_z (в площині YI), перерізуючі сили Q_z і Q_y
Елементи колон (позацентрово стиснуті)	Нормальна сила N (стиснення або розтягування) і згинальні моменти M_y і M_z ; перерізуючі сили Q_z , Q_y
Канати	Подовжнє зусилля (розтягування)







У табл. 7.2 дана відповідність між перетинами, які розраховуються за «ЛІР-СТК», і розрахунковими процедурами. Знак "+" указує на те, що для даного перетину відповідна розрахункова процедура можлива.

Таблиця 7.2 – Відповідність між робочими процедурами і перетинами сталю прокату

Елементи	 Двутавр	 Складений двутавр	 Швелер	 Коробка із швелерів	 Розсунені двутаври	 Коробка із двутаврів
Елементи ферм	-	-	+	+	-	-
Елементи, що згинаються	+	+	+	+	-	+







Елементи	 Двугавр	 Складений двугавр	 Швелер	 Коробка із швелерів	 Розсунені двугаври	 Коробка із двугаврів
Елементи колон (позацентровості снуті)	+	+	+	+	+	+

продовж. табл. 7.2

Елементи	 Два кутника	 Крестові кутники	 Кутник	 Труба	 Два швелера	 Два швелера
Елементи ферм	+	+	+	+	+	.
Елементи, що згинаються	+	.
Елементи колон (позацентровості снуті)	.	.	.	+	+	+

продовж. табл.

7.2

Елементи						
----------	---	---	---	---	---	---

	“Молодечно” Коробка із Короб складений	Несиметричн ий двугавр	Квадрат	Круг	С-образний профіль
Елементи ферм	+	-	+	+	+
Елементи, що згинаються	+	+	+	+	+
Елементи колон (позацентровостиснуті)	+	+	+	+	+

продовж. табл.

7.2

Елементи	 Тавр	 Кутниковий перетин	 Канат
Елементи ферм	+	-	-
Елементи, що згинаються	+	-	-
Елементи колон (позацентровостиснуті)	+	+	-
Канати	-	-	+

7.3 Завдання додаткових даних для розрахунку

На рівні системи «ЛІР-СТК», яка конструює після імпорту завдання потрібно задати дані, необхідні для розрахунку перетинів.

Для всіх типів елементів задаються коефіцієнти умов роботи і коефіцієнти надійності.

Необхідно задати коефіцієнт умов роботи γ_c для перевірок перетину по стійкості і по міцності. Коефіцієнти умов роботи задаються як для всього

перетину, так і для кожного елемента перетину окремо. Якщо γ_c для елемента перетину відрізняється від γ_c всього перетину, то вони будуть використані для перевірок стійкості цього елемента перетину. Наприклад, коефіцієнт умов роботи елемента "стінка" буде використаний при перевірці місцевої стійкості елемента стінки. Коли задається коефіцієнт умов роботи для всього перетину, він дублюється для всіх його компонентів, Тому після задання коефіцієнта умов роботи для всього перетину необхідно перевірити правильність його задання для всіх компонентів перетину. У таблиці початкових даних локального розрахунку задається тільки коефіцієнт умов роботи всього перетину.

Необхідно задати коефіцієнт надійності по відповідальності γ_n .

Коефіцієнт надійності задається єдиний для всього перетину.

Розрахункові довжини задаються відносно місцевих осей Z_1 і Y_1 .

Термін «відносно вісі» означає площину, перпендикулярну вісі.

На рис. 7.1 показано розташування місцевих осей.

Розрахункові довжини задаються в одиницях вимірювання геометрії або як коефіцієнт довжини. У останньому випадку для отримання розрахункових довжин при запуску розрахунку обчислюється геометрична довжина елемента (або конструктивного елемента, якщо ведеться розрахунок конструктивного елемента), яка помножується на відповідний коефіцієнт довжини.

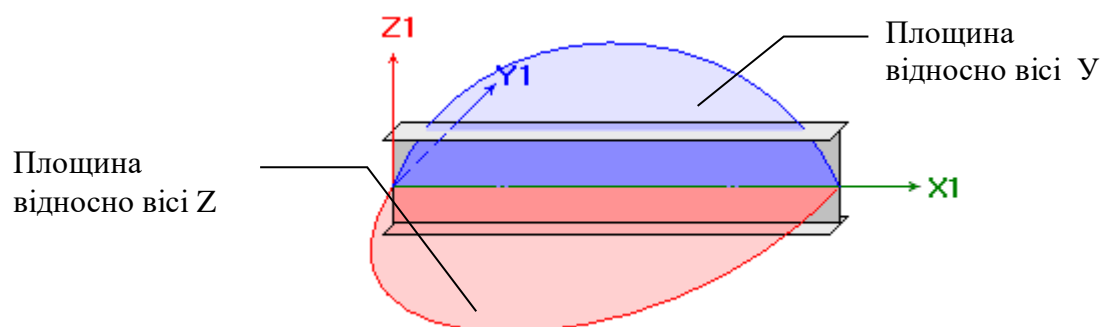


Рисунок 7.1 – Орієнтація місцевих осей стержнів.

7.3.1 Додаткові дані для елементів ферм

Гранична гнучкість. Гранична гнучкість на розтягування завжди задається чисельно. Гнучкість на стиснення може задаватися чисельно або як випадок таблиці 19* [3], якщо при обчисленні граничної гнучкості використовується коефіцієнт α .

Гранична гнучкість на розтягування завжди за умовчанням рівна 300.

При перевірках несучої здатності елементів з парних кутників може використовуватися додатковий коефіцієнт 0,8; як для основного елемента решітки зварної ферми покриття і перекриття. Він помножується на коефіцієнти умов роботи.

7.3.2 Додаткові дані для елементів, що згинаються

Ребра жорсткості. Необхідно вказати, чи потрібно ставити ребра жорсткості. Якщо значення кроку ребер жорсткості встановити рівним 0, то буде вибраний максимально допустимий крок.

Необхідно вказати, чи проводити розрахунок в межах пружних або пластичних деформацій.

Відносний прогин. Для розрахунку по другому граничному стану потрібно вказати граничний відносний прогин, а точніше значення, вказане в знаменнику.

Розрахункова довжина задається або в одиницях вимірювання геометрії, або у вигляді коефіцієнта до геометричної довжини елемента, на який для отримання L_{ef} під час розрахунку помножується геометрична довжина балки (або конструктивного елемента, якщо ведеться розрахунок конструктивного елемента).

7.3.3 Додаткові дані для елементів колон (позацентрово стиснутих)

Гранична гнучкість. Гранична гнучкість на розтягування завжди рівна 300. Гранична гнучкість на стиснення задається випадком з таблиці 19*

[3]. Охоплені тільки випадки, в яких при обчисленні граничної гнучкості використовується коефіцієнт α з таблиці 19* [3].

Розрахункова довжина для обчислення Φ_b . Необхідна для перевірки стійкості позацентрово-стиснутого стрижня відкритого перетину з площини дії моменту: $N/(c \cdot \phi_y) < R_y \gamma_c$ (п. 5.30 [3]), де c при великих ексцентриситетах залежить від Φ_b . У загальному випадку розрахункова довжина L_{ef} для обчислення Φ_b не рівна розрахунковій довжині L_{Y1} або L_{Z1} , яка використовується для обчислення ϕ_y . Тому доводиться задавати L_{ef} особливо. У розрахунку стержнів замкнутого перетину або при малих ексцентриситетах в розрахунку стержнів відкритого перетину величина L_{ef} не бере участь.

Розрахункові довжини гілок. Задаються для розрахунку в площині, яка перпендикулярна площині сполучної решітки. Розрахункові довжини гілок потрібні для розрахунку двухгілкової колони. Для чотирьохгілкової колони вони при розрахунку ігноруються.

Сполучна решітка. Після вибору типу сполучної решітки необхідно вказати її профіль.

Крок решітки. Якщо крок решітки заданий рівним 0, приймається, що нахил її до вісей гілок рівний 60 градусів.

Якщо в двухгілковому перетині типу [] або I I задати відстань в вісях між гілками близьку нулю, буде проведений підбір оптимального розсунення гілок. Треба мати на увазі, що розсунення гілок підбирається позитивно, тобто стиківка гілок підбраного перетину буде строго позитивна. Це важливо для перетину типу [], в якому можуть бути два варіанти розташування гілок [] і []. Тому, використовуючи цю можливість підбору треба бути уважним при заданні початкової стиківки і при читанні результатів.

7.3.4 Додаткові дані для канатів

На основі відповідних норм буде наданий вибір форми введення початкових даних, які відповідають формулам [4] або формулі, вказаній в "Посібнику з проектування сталевих конструкцій" до [3].

Розрахунковий опір R_{dh} . Використовується у формулах [4]. Коефіцієнт агрегатної міцності. Для канатів одинарного звивання і закритих несучих.

7.4 Конструктивні і уніфіковані елементи

«Конструктивний елемент - це сукупність декількох кінцевих елементів, які при конструюванні розглядатимуться як єдине ціле.

Якщо конструктивний елемент складається з елементів вигляду «балка», то на схемі він позначається КБ, а далі номер типу конструктивного елемента. Якщо конструктивний елемент складається з елементів вигляду «колона», то на схемі він буде позначений КК, а далі номер типу конструктивного елемента. Якщо конструктивний елемент складається з елементів вигляду «ферма», то на схемі він буде позначений КФ, а далі номер типу конструктивного елемента. Якщо конструктивний елемент складається з елементів вигляду «канат», то на схемі він буде позначений К, а далі номер типу конструктивного елемента.

У конструктивний елемент можуть входити тільки елементи з однаковим перетином. Між елементами, що входять в конструктивний елемент, не повинно бути розривів, вони повинні мати спільні вузли і лежати на одній прямій. Конструктивні елементи не можуть входити в інші конструктивні елементи і уніфіковані групи кінцевих елементів.

Для розрахунку вибираються всі РПЗ, які виникли у всіх перетинах елементів, що належать конструктивному елементу.

Уніфікація елементів (уніфікація кінцевих елементів) застосовується, коли необхідно підібрати однаковий поперечний перетин декількох елементів. Тоді для розрахунку вибираються найбільш небезпечні поєднання (РПЗ), які виникли у всіх перетинах елементів уніфікованої групи.

Допустимі наступні типи уніфікації:

- всі перетини уніфікуються між собою;
- елементи уніфікуються між собою по відповідних перетинах;
- елементи уніфікуються між собою з урахуванням симетрії.

Для уніфікації по другому і третьому типам необхідно, щоб кількість розрахункових перетинів в елементах, що уніфікуються, була однаковою.

Увага! Уніфікація по розрахункових поєднаннях зусиль (РПЗ) повинна проводитися виключно в межах «ЛІР-СТК». Використання уніфікації РПЗ, заданої в системі «ЛІР-ВІЗОР», може привести до невірної читання РПЗ підсистемою.

Увага! Розрахунок по розрахункових поєднаннях навантажень (РПН) для уніфікованих груп не проводиться! Якщо елемент, що входить до уніфікованої групи, підбирається по РПН, для підбору будуть використані дійсні значення розрахункових зусиль, що виникають в даному елементі, а не найбільш небезпечні поєднання для всіх елементів уніфікованої групи.

Підбір перетинів уніфікованої групи проводиться на зусилля уніфікованої групи.

Перевірка перетинів уніфікованої групи проводиться на зусилля, що виникають в даному елементі, а не на зусилля уніфікованої групи.

Якщо елементи вигляду «балка» об'єднані в групу уніфікації, то на схемі вони будуть позначені УБ, а далі номер групи уніфікації. Для «колон» - УК, а далі номер групи уніфікації. Для «ферм» - УФ, а далі номер групи уніфікації.

Уніфікація конструктивних елементів застосовується, коли необхідно підібрати однаковий поперечний перетин елементів. При цьому вибираються найбільш небезпечні РПЗ (по тому або іншому критерію) зі всіх елементів уніфікованої групи.

Увага! Уніфікація по розрахункових поєднаннях зусиль (РПЗ) повинна проводитися виключно в межах «ЛІР-СТК».

Увага! Розрахунок по розрахункових поєднаннях навантажень (РПН) для уніфікованих груп не проводиться! Якщо елемент, що входить до

уніфікованої групи, підбирається по РПН, для підбору будуть використані дійсні значення розрахункових зусиль, що виникають в даному елементі, а не найбільш небезпечні поєднання для всіх елементів уніфікованої групи.

Підбір перетинів уніфікованої групи проводиться по зусиллях уніфікованої групи.

Перевірка перетинів уніфікованої групи проводиться по зусиллях, що виникають в даному елементі, а не в уніфікованій групі.

Якщо елементи вигляду «конструктивна балка» об'єднані в групу уніфікації, то на схемі вони будуть позначені УГКБ, а далі номер групи уніфікації. Для «колон» - УГКК, а далі номер групи уніфікації. Для «ферм» - УГКФ, а далі номер групи уніфікації.

При уніфікації конструктивних елементів необхідно, щоб кількість елементів, що входять в уніфіковані конструктивні елементи, була однаковою. Перетини елементів також повинні бути однаковими. Кількість розрахункових перетинів по довжині кінцевого елемента повинна бути однаковою.

Для розрахунку вибираються всі РПЗ, які виникли у всіх перетинах елементів, що належать конструктивному елементу.

7.5 Перевірки несучої здатності елементів

Для всіх розрахованих перетинів елементів виводяться результати перевірок по міцності і стійкості (по першому граничному стану), гнучкості і прогину (по другому граничному стану) і по місцевій стійкості. Результати виводяться у вигляді відсотків використання перетину порівняно з граничною несучою здатністю по тій або іншій перевірці.

Для розрахунку слід задати коефіцієнт умов роботи γ_c у вигляді добутку коефіцієнтів умов роботи з таблиці 6* [3], коефіцієнт надійності за призначенням γ_n , а також всі необхідні додаткові характеристики.

Нижче приведені таблиці з перевітками по першому і другому граничних станам процедур елементів з посиланнями на пункти [3], які використовуються в конструюючій системі «ЛІР-СТК».

Таблиця 7.3 - Центральні-стиснуті і центральні-розтягнуті елементи

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНіП	Формула перевірки, примітки
1	Міцність	5.1	$\frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c$
2	Стійкість	5.3	$\frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c$
3	Гнучкість	6.15	Гранична гнучкість [λ] задається користувачем. Для елементів типу 1(а), 2(а), 2(б) таблиці 19* [3] обирається найменша [λ] з отриманої по таблиці 19* і заданої у вхідних даних

Таблиця 7.4 – Елементи, що згинаються

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНіП	Формула перевірки, примітки
1	Міцність за нормальними напруженнями	5.12 5.18	$\frac{M_x}{W_x \min c_x} + \frac{M_y}{W_y \min c_y} \leq R_y \cdot \gamma_c$ Складені перетини розраховуються без урахування пластичних деформацій ($c=1.0$). Прокатні перетини можуть розраховуватися з урахуванням пластичних деформацій ($c>1.0$)

2	Міцність за дотичними напруженнями	5.12	$\frac{ Q \cdot S}{I \cdot t_w} \leq k \cdot R_y \cdot \gamma_c$ <p>Для пружних балок $k = 1.0$, для балок в пластичній роботі $k = 0.9$; для колон - $k = 0.5$</p>
3	Міцність за приведеними напруженнями	5.14	$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15R_y\gamma_c$ <p>Місцеве напруження не враховується</p>
4	Загальна стійкість	5.15, 5.16	$l_{ef} / b \leq [l_{ef} / b] \quad \frac{M}{W_{\min} \varphi_b} \leq R_y \gamma_c$ <p>При забезпеченні загальної стійкості по п. 5.15(а) или 5.16(б) приймається $\varphi_b = 1$</p>
5	Стійкість пояса	7.24	$b_{ef} / t \leq [b_{ef} / t]$ <p>Збільшення граничного значення $[b_{ef}/t]$ за рахунок недонапруження не враховується</p>
6	Стійкість стінки балки		<p>Місцеве і рухоме навантаження не враховується, передбачається відсутність подовжніх ребер жорсткості</p>
6.1	Стійкість стінки, не укріпленої	7.10	$\bar{\lambda}_w \leq 3.2$ <p>Рухоме навантаження не враховується.</p>

	ребрами		
6.2	Стійкість стінки, укріпленої тільки поперечними ребрами і при врахуванні пластичної роботи балки	7.2,7.5, Пособие по проектированию стальных конструкций к [3] п.21.23	$ M_{\max} \leq R_y \cdot \gamma_c \cdot h_{ef}^2 \cdot t \cdot (A_f / A_w + \alpha)$ <p>Місцеве і рухоме навантаження не враховується, збільшення граничного значення $[l_{ef}/t]$ за рахунок недонапруження не враховується</p>
6.3	Стійкість стінки, укріпленої тільки поперечними ребрами при пружній роботі балки	7.6, 7.9, 7.10	$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c$ <p>Місцеве і рухоме навантаження не враховується, збільшення граничного значення $[h_{ef}/t]$ за рахунок недонапруження не враховується.</p> <p>В перевірці використовується розрахункова довжина L_{ef} для розрахунку загальної стійкості балки. Завдання $L_{ef} > 0,1$ м приводить до того, що значення в формулі (77) пункта 7.4* [3] приймається рівним 0,8 ($v=0,8$), при $L_{ef} < 0,1$ м приймається рівним нескінченності ($v = \infty$). Для коробчатих перетинів дотичне напруження обчислюється без урахування впливу перерізуючої сили в іншій площині</p>

7	Прогин (2-й граничний стан)	-	Інтеграцією епюри моментів від нормативних навантажень для даного елемента або конструктивного елемента
---	-----------------------------	---	---

Таблиця 7.5 – Елементи колон (позацентрово стиснуті)

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНіП	Формула перевірки, примітки
1	Міцність	5.1, 5.3, 5.25, 5.28	$\frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c$ $\left(\frac{N}{AR_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{W_x c_x R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{W_x c_x R_y \gamma_c} \leq R_y \gamma_c$ $\left \frac{N}{A} - \frac{M}{\delta W} \right \leq \frac{R_u \cdot \gamma_c}{\gamma_u}$
2	Стійкість колони в площині дії моменту	5.3, 5.27*, 5.32, 7.20*	$\frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \cdot \gamma$ <p>Формула перевірки обирається в залежності від відносного ексцентриситету</p>
3	Стійкість колони із площини дії моменту	5.3, 5.26, 5.27*, 5.30 5.31, 5.32 7.20*	$\frac{N}{\varphi_c c A} \leq R_y \cdot \gamma_c$ <p>Зменшення розрахункового моменту М в залежності від умов спирання згідно п.5.31 [3] не враховується</p>
4	Стійкість колони	5.34, 5.35	$\frac{N}{\varphi_{exy} A} \leq R_y \cdot \gamma_c$

	схильної до вигину в 2-х площинах		
5	Гнучкість колони	6.15*	$\lambda \leq [\lambda]$
6	Гнучкість окремих гілок на ділянці між вузлами поєднувальної решітки в порівнянні з гнучкістю колони	5.6	$\lambda_{ветви} \leq \lambda_{колонны}$
7	Стійкість поясу елементів, що згинаються	7.22*, 7.24.	Вимоги п.5.25
8	Місцева стійкість звису полиці	7.22*, 7.23*, 7.26*, 7.27*.	$b_{ef} / t \leq [b_{ef} / t]$
9	Стінки центрально і позацентрово стиснутих елементів	7.14*, 7.16*, 7.17*, 7.18*, 7.20*, 7.21.	$h_{ef} / t \leq [h_{ef} / t], \lambda_w \leq \lambda_{uw}$ При необхідності розставляються поперечні ребра жорсткості. Якщо стінка працює в закритичній стадії, відсоток використання по стійкості завжди рівний 100%. Для коробчатих перетинів дотичне напруження

			обчислюються без урахування впливу перерізуючої сили в іншій площині.
--	--	--	--