

На правах рукопису

Чічулін Віктор Петрович

В. Чічулін

**ІМОВІРНІСНИЙ РОЗРАХУНОК СТАЛЕВИХ ПОПЕРЕЧНИХ РАМ
ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ**

Спеціальність 05.23.01-Будівельні конструкції,
будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761682 (U)

Дисертація в рукописі
Робота виконана на машині
та пластмас Полтавського

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Пічугін С.Ф.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Усаковський С.В.

- кандидат технічних наук, доцент
Кліменко Є.В.

Ведуча організація - АТ УкрНДІпроектстальмонструкція
(Полтавський відділ)

Захист дисертації відбудеться " 26 " грудня 1996р.
о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої ради Д-25-01-02
"Будівельні конструкції, будівлі та споруди" при Полтавсько-
му технічному університеті за адресою : 314801, м. Полта-
ва, проспект Першотравневий, 24, ауд.234.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці універси-
тету.

Автореферат розіслано " 21 " листопада " 1996р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
доктор технічних наук
професор

В.О.Вончар

ЛННБ ім. В. Стефаніка
Атн України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність роботи. Одною з важливих задач, котра постає перед будівельною наукою, є зниження матеріалоемкості, трудоемкості і вартості на етапах проектування, будівництва та експлуатації будівель та споруд при забезпеченні їх довговічності та надійності. Застосування в розрахунках будівельних конструкцій теорії надійності забезпечує сприятливі передумови до нормування розрахункових параметрів конструкцій на імовірносній основі і перехід до розрахунків, заснованих на імовірносному підході. Це відноситься до багатьох видів конструкцій, і в тому числі до сталевих статично невизначених рам, котрі застосовуються у каркасах будівель та споруд різноманітного призначення.

У теперішній час триває робота над ДБН В.1.2-...-95 "Общие принципы обеспечения надежности и безопасности строительных конструкций и оснований". Ці норми повинні створити основу переходу до розрахунків конструкцій у імовірносній постановці. Але необхідно ув'язати загальні питання надійності з конкретними видами конструкцій та особливостями їх роботи.

Відомо, що в сталевих статично невизначених конструкціях існують деякі резерви несучої здатності, не ураховані при проектуванні. Ці резерви існують за рахунок роботи системи у пластичній стадії з виникненням ряду шарнірів пластичності. Робота сталевих статично невизначених конструкцій також не визчена в імовірносній постановці з урахуванням випадкової природи міцності та навантаження, а також випадкового характеру відказів елементів. В зв'язку з цим, розвиток методів імовірносних розрахунків сталевих статично невизначених кон-

трунцій, котрі можливо втілити у інженерну практику проектування, в задачею важливою і актуальною.

Мета роботи - розробити методику імовірнісного розрахунку та оцінки параметрів надійності сталевих статично невизначених рам та рекомендації до зниження їх матеріалоемкості шляхом регулювання запасів несучої здатності елементів.

Автор захищає: - розроблений метод оцінки параметрів надійності сталевих статично невизначених рам методом перебору станів;

- використання логико-імовірнісних методів дослідження стохастичних характеристик роботи статично невизначених систем (СНС);

- отриману методику оцінки імовірності відказу СНС на основі методу граничної рівноваги з урахуванням кореляції окремих схем руйнування;

- запропонований метод розрахунку значущості і вкладу окремих елементів рам та їх впливу на імовірність відказу системи у цілому;

- метод визначення надійності роботи вузлів рам, поданих у вигляді послідовно з'єднаних елементів;

- практичний метод проектування сталевих статично невизначених рам з використанням коефіцієнту надійності сталевих статично невизначених конструкцій γ_s .

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- запропонована схема визначення імовірності відказу рам методом перебору станів як при крихких, так і при пластичних відказах перерізів;

- одержані алгоритми розрахунку імовірності відказу сталевих рам імовірнісним методом граничної рівноваги і отри-

мання значущості окремих елементів рам;

- запропонований метод оцінки параметрів надійності вузлів рам, поданих у вигляді послідовно з'єднаних елементів, та використання коефіцієнту надійності вузлів статично невизначених рам γ_2 ;

- виконаний чисельний експеримент по розробленню програм на ПЕОМ для оцінки імовірності відпаду широкого кола сталевих рам, і запропонований до використання отриманий коефіцієнт надійності сталевих статично невизначених конструкцій γ_3 .

Практичне значення роботи. На основі більш повного врахування реальної роботи конструкцій і імовірної природи міцності та навантаження, застосування коефіцієнту надійності можливо одержувати більш економічні рами при проектуванні нових та реконструкції існуючих будівель та споруд. На основі запропонованої методики складені алгоритми і розроблені програми на ПЕОМ по імовірному розрахунку сталевих статично невизначених рам різноманітного призначення. Матеріали роботи в цілому прийняті для врахування в подальшій роботі по вдосконаленню норм проектування.

Реалізація роботи. Окремі отримані результати роботи підготовлені до включення у проект майбутніх ДБН В 1.2.-...-95. "Общие принципы обеспечения надёжности и безопасности конструкций и оснований". Розроблена методика імовірностного розрахунку статично невизначених рам використана при проектуванні та врахована в подальшій експлуатації несучих конструкцій підпірної стінки каменеподрібнювальної установки, споруджуваної на Полтавському ГЗК. Розроблені методи оцінки параметрів надійності сталевих статично невизначених рам ви-

користуються в учбовому процесі Полтавського ІУ.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались на: XXII Міжнародній конференції молодих вчених в області бетона і залізобетона (Іркутськ, 1990), Міжнародній науково-практичній конференції "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях" (Суми, 1994), Всесоюзній нараді "Проблемы метрологического обеспечения в строительстве" (Москва, 1989), Всесоюзній конференції "Экспериментальные исследования инженерных сооружений - 91" (Суми, 1991), Всесоюзній науково-технічній конференції "Испытания строительных металлических конструкций в условиях действующих предприятий" (Магнітогорск, 1991), П'ятій Українській науково-технічній конференції по металевим конструкціям "Усиление и реконструкция производственных зданий и сооружений, построенных в металле" (Київ, 1992), Республіканській науково-технічній конференції "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику" (Полтава, 1989), тематичних конференціях і семінарах: "Автоматизация проектирования и исследований железобетонных конструкций многоэтажных зданий" (Львів, 1989), "Повышение качества и надежности строительных металлоконструкций" (Челябінськ, 1988), "Исследование работы и применение в строительстве эффективных элементов конструкций" (Рівне, 1990), "Исследование строительных элементов и конструкций и особенности преподавания строительных дисциплин" (Ровно, 1993), "Надежность строительных конструкций зданий и сооружений" (Черкаси, 1993), на щорічних науково-технічних конференціях Полтавського ІВІ (1988- 1995).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в двадцяти шести друкованих роботах, найбільш важливі з яких приведені у списку літератури.

Обсяг роботи. Дисертаційна робота загальним обсягом 215 сторінок складається із вступу, п'яти розділів, висновку, використаних джерел із 182 найменувань і додатків. Робота містить 146 сторінок основного тексту, з них 12 сторінок малюнків і 18 сторінок таблиць.

Робота виконана на кафедрі конструкцій з металу, дерева та пластмас Полтавського технічного університету під керівництвом доктора технічних наук, професора Пічугіна С.Ф.

ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, коротко викладений зміст і результати дисертації.

У першій главі розглянуто застосування та сучасні дослідження в області роботи та розрахунку сталевих статично невизначених конструкцій. Використовуються сталеві статично невизначені конструкції досить різноманітно: у каркасах будівель різного призначення, робочих площадках, етажерках і т. д. технологічне обладнання та ін.

Одним з найбільш важливих обставин аналізу роботи конструкцій є врахування пластичних властивостей матеріалу. Вже досліджено теоретично та експериментально, що несуча здатність СНС зберігається і після виникнення в її елементах пластичних деформацій. Питанням використання пружно-пластичних методів у розрахунку металевих конструкцій з'являлись Кайтер В.Т., Ніл В.Г., Стрілецький М.С., Ходж Ф.Г. та ін. вчені.

Дослідженням реальної роботи сталевих статично невизначених

них рам присвячені роботи Геммерлінга Д.В., Жудіна М.Д., Кузнецова В.М., Меламента Л.І., Мравика М., Стрілецького М.С., Токмачка М., Чернова М.Л., Шебаніна В.С., Шкалоуда М., та ін. вчених.

Сучасні експериментальні дані показують, що метод граничної рівноваги дозволяє відносно достовірно оцінювати несучу здатність сталевих статично невизначених конструкцій. Втіленням в розрахунок СНС методу граничної рівноваги займалися Гвоздев О.О., Ржаніцин О.Р., Проценко О.М., Чірас Д.О. та ін. вчені.

Розглядаючи імовірнісні методи розрахунку будівельних конструкцій, необхідно визначити термін надійності як властивість об'єкту, котра складається з таких критеріїв, як безвідказність, довговічність, ремонтоздатність, цілісність як для об'єкту в цілому, так і для складових частин. Найбільш важливою властивістю об'єкту є безвідказність, яка полягає в збереженні працездатності на протязі заданого часу і визначається як імовірність відказу за визначений проміжок часу $Q(t)$. Для даної роботи безвідказність оцінюється по критерію несучої здатності.

Суттєвий вклад у розвиток та втілення імовірнісних методів теорії надійності будівельних конструкцій внесли М.С. Стрілецький, О.Р. Ржаніцин, В.В. Болотін.

У розвитку загальних питань надійності будівельних конструкцій помітне місце займають роботи А.Я. Барашикова, Є.В. Горохова, А.Я. Дривінга, М.М. Застави, М.П. Мельникова, В.А. Палинського, А.В. Перельмутера, С.Ф. Пічугіна, В.Д. Райзера, М.М. Складнєва, Ю.Д. Сухова, С.А. Тимашева, С.В. Усаковського, Е.І. Федорова, В.П. Чіркова та ін. вчених.

Питання теорії надійності будівельних конструкцій за кордоном розглядалось у роботах А.С.Анга, Г.Аугусті, А.Заратта, Р.М.Беннета, Ф.Кашіатті, С.А.Корнеда, Ф.А.Моаса, К.Ферреґута, Д.Франгола і ін. вчених.

Розрахункові величини у будівельних конструкціях можна розподілити на дві основні групи. До першої групи відноситься узагальнена несуча здатність конструкції \tilde{R} , до другої групи відноситься узагальнене навантаження \tilde{F} . Запропонована О.Р.Ржаніциним умова безвідказності має вигляд:

$$\tilde{S} = \tilde{R} - \tilde{F} > 0. \quad (1)$$

У постановці, що розглядається, несуча здатність і навантаження конструкцій подяються як випадкові величини, і для роботи що пропонується, вони підпорядковуються нормальним законам розподілу випадкових величин.

На даний час малодослідженими залишаються питання імовірнісного розрахунку сталевих статично невизначених конструкцій. В інженерній практиці відсутні методи і програми, котрі урахувуть реальну роботу матеріалу, а також імовірнісні характеристики міцності і навантаження. Дослідження СНС ускладнюється внаслідок перерозподілу зусиль після відказу окремих елементів. Моделі руйнування систем характеризуються складною розгалуженою структурою шляхів відказу елементів, які в кінці перетворюють конструкцію на аміанну систему. Для практичної оцінки надійності СНС необхідно використовувати прості, але в той же час досить близькі до реальної роботи методи розрахунку. Одним з таких методів є імовірнісний метод граничної рівноваги.

У кінці глави приведені висновки про стан питання і сформульовані задачі дослідження.

В другій главі розглянуті методи імовірнісного розрахунку сталевих статично невизначених рам при різноманітних видах відказів елементів. Найбільш повно враховує хід руйнування конструкції метод перебору усіх можливих станів. Графічно метод станів представляється у вигляді орієнтованого графа. Вершини графа виражають стан, а якому знаходиться конструкція, а ребра представляють умовні імовірності відказу відповідних елементів. Для обчислювання імовірнісних характеристик графів-дерев використовуються методи математичної логіки. Імовірність відказу СНС в цілому Q_{Σ} згідно графу відказів представляється виразом логічного складання (діа'єкції) усіх можливих (і-тих) шляхів (кон'єкції) відказів перетинів Q_{ij} :

$$Q_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^n Q_{ij} \right), \quad (2)$$

де m - загальна кількість шляхів (підграфів) відказів для даної конструкції; n - кількість j -х відказів перетинів, вхідних в i -й шлях. Модель відказів рами у виді графу станів математично представляється у вигляді матриці безпосередніх зв'язків, котра методом виключення вузлів перетворюється в матрицю повних зв'язків. Елемент матриці повних зв'язків аналітично виражає усі логічні зв'язки між входом и виходом графа станів.

Відкази конструкції розглядалися крихкі і пластичні. При крихких відказах елемент виключається з роботи, а конструкція в цілому продовжує функціонувати. Пластичний відказ припускає виникнення в перетині шарніру пластичності.

Загальна схема імовірнісного розрахунку методом станів приведена на рис.1.

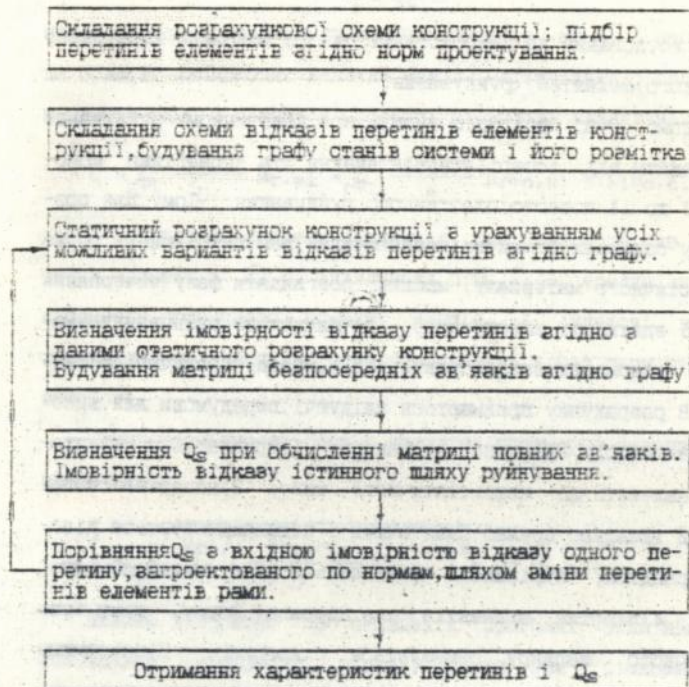


Рис.1.План-схема розрахунку надійності рам методом перебору станів.

Аналіз шляхів руйнування конструкції показав, що імовірність відказу системи в цілому найчастіше чисельно наближається до імовірності відказу по одному найбільш імовірному шляху відказу перетинів. Значення імовірності відказу системи значно менше імовірності відказу до першого відказу перетинів рами. Метод перебору станів можливо використовувати для невеликих рам (<20 перетинів), в зв'язку з рівним зростанням об'єму розрахунків. Для подолання труднощів по зростанню розміру задачі пропонується метод розре-

хвунку, збудований на використанні одного найбільш імовірного (істинного) механізму руйнування.

Відомо, що розподіл зусиль при пластичному руйнуванні не залежить від історії навантаження та поведінки конструкції до її повного пластичного руйнування. Тому для розрахунку сталевих статично невизначених рам, виконаних з пружно-пластичного матеріалу, можливо розглядати фазу вичерпання несучої здатності конструкції, їх пластичне руйнування. Наведене положення використовується в методі граничної рівноваги. В розрахунку приймаються наступні передумови для використання методу граничної рівноваги: 1) прикладання навантаження належить до квазістатичного типу; 2) матеріал конструкції ідеально пружно-пластичний і підпорядковується діаграмі Прандтля; 3) рівняння складаються для недеформованої схеми; 4) перетин елементів має ідеальну форму, тому зона пластичного шарніру обмежується крапкою; 5) основними діючими зусиллями є згинаючі моменти.

Розроблена процедура розрахунку надійності СНС, в котрій умови для шарнірів пластичності мають вигляд рівнянь гіперплощин в $(k+1)$ -мірному гіперпросторі:

$$\sum_{j=1}^k M_{i,j} x_j + q M_{i,0} = M_{i,p1} \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (3)$$

де $M_{i,p1}$ - граничний момент в i -му перетині; $M_{i,j}$ - момент в i -му перетині основної системи від зайвого невідомого $x_j=1$; $M_{i,0}$ - момент в i -му перетині від зовнішніх навантажень q , параметр котрих приймається $q = 1$.

Пересікання гіперплощин визначає вершину багатогранника умов, а на її розраховується максимальне значення навантаження Q_{max} . З рівняння $(k+1)$ лінійних рівнянь (4) та підстановкою в

праву частину середніх граничних моментів $\bar{M}_{r,pl}$ і переходом до області випадкових величин маємо математичне сподівання міцності рами в цілому в просторі параметра навантаження:

$$\bar{Q} = \sum_{r=1}^{k+1} \frac{A_{r,k+1}}{D} \bar{M}_{r,pl} = \sum_{r=1}^{k+1} \frac{A_{r,k+1}}{D} \mu_r \bar{M}_{0,pl} = \rho_1 \bar{M}_{0,pl}. \quad (4)$$

де D - визначник системи рівнянь; $A_{r,k+1}$ - алгебраїчне доповнення елементів $\bar{M}_{r,pl}$ визначника D ; $\bar{M}_{0,pl}$ - середнє значення параметру граничного моменту рами; μ_r - складові вектору співвідношень граничних моментів рами; r - номер шарніру пластичності.

Стандарт міцності рами в просторі параметру навантаження визначиться:

$$\hat{Q} = \sqrt{\sum_{r=1}^{k+1} \left(\frac{A_{r,k+1}}{D} \hat{M}_{r,pl} \right)^2} = \rho_2 \hat{M}_{0,pl}. \quad (5)$$

Згідно алгоритму по складеній програмі були виконані розрахунки імовірності відкасу 30-ти рам різноманітної конфігурації і призначення на проектне чи діюче навантаження. Розраховані імовірності відкасу СНС у цілому мають невелику розбіжність від $3.99 \cdot 10^{-11}$ до $1.6 \cdot 10^{-15}$. Розрахунки виконані при мінливості міцності і навантаження 0.1 і 0.2 відповідно, і відхиленню розрахункових значень від середнього міцності і навантаження 3 і 5 стандартів відповідно, що дає для імовірності відкасу окремого елемента, запроєктованого згідно норм, значення $Q_{сис} = 5.6 \cdot 10^{-8}$.

Оцінка надійності систем в цілому по одному механізму руйнування чисельно виправдана, але дійсно існують механізми, котрі мають імовірність появи, близьку до найбільш імовірного механізму. Тому відповідальність елементів,

вхідних до даних механізмів, досить висока, і їх необхідно враховувати в імовірносних розрахунках СНС.

В третій главі розроблено імовірносний метод граничної рівноваги (ІМГР) для оцінки надійності сталевих статично невизначених рам при пластичних відказах елементів.

Згідно рівняння зовнішньої і внутрішньої віртуальної роботи імовірність відказу для окремого i -го механізму руйнування має вигляд:

$$P(E_i) = P\left(\sum_{j=1}^m \tilde{P}_j f_j > \sum_{k=1}^k \tilde{M}_{p1,k} v_k\right) = P(\tilde{F}_i > \tilde{R}_i), \quad (6)$$

де \tilde{P}_j - значення j -го зовнішнього навантаження; $\tilde{M}_{p1,k}$ - пластичний момент у k -му перетині з пластичним шарніром; f_j, v_k - повороти чи переміщення вузлів і стержнів відповідно.

Для рами визначаються основні (елементарні) механізми руйнування, кількість котрих дорівнює $l=j-k$, де j - кількість небезпечних перетинів, k - ступінь статичної невизначеності рами. До числа основних належать балочні, зсувні (етажні) і вузлові механізми. Аргументами в рівняннях рівноваги виявляються випадкові параметри навантаження і міцності. Далі з основних механізмів шляхом їх сполучення отримують комбіновані механізми, котрі відображають багатогранність форм відказа конструкції, що розглядається. При отриманні комбінованих механізмів проводиться відбір найбільш імовірних (пропонується, $Q_1 > Q_{пр} = 10^{-30}$). Виключаються також ті механізми, в котрих кількість шарнірів пластичності більше, ніж ступінь статичної невизначеності рами плюс один.

Згідно кінематичної теореми граничної рівноваги конструкція руйнується при реалізації не менше, чим однієї з подій E_i . Тому імовірність відказу системи в цілому визначається:

$$Q_G = P(E_1) + P(E_2) + \dots - P(E_1 \wedge E_2) \dots \quad (7)$$

Відкаа одночасно двох механізмів $P(E_i \wedge E_j)$ необхідно розглядатись з урахуванням кореляційного зв'язку в залежності від спільних пластичних шарнірів і навантажень. Коефіцієнт парної кореляції, що використовується для цього, між i -м і j -м механізмами знаходиться як:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m A_{ik} A_{jk} \sigma_R^2 + \sum_{l=1}^n B_{il} B_{jl} \sigma_S^2}{\sigma_i \sigma_j} \quad (8)$$

де A_{ik} , A_{jk} - віртуальні переміщення вузлів відповідно для i -го і j -го механізму в k -му перетині; σ_R , σ_S - середнє квадратичне відхилення (стандарт) відповідно несучої здатності і навантаження; B_{il} , B_{jl} - віртуальні переміщення стержнів від l -го навантаження; σ_i , σ_j - стандарт резерву міцності для i -го і j -го механізмів руйнування.

Розрахунок імовірності відкаау двох механізмів одночасно $P(E_k \wedge E_l)$ з урахуванням кореляційної залежності при нормальному розподілу випадкових величин виконується за виразом:

$$Q_{kl} = (0.5 - \Phi(v_k))(0.5 - \Phi(v_l)) \sqrt{1 - r_{kl}^2} \exp(r_{kl} v_k v_l) \quad (9)$$

де Φ - табулірована функція Лапласа; характеристики безпеки v_k, v_l замінюються на v_k, v_l :

$$v_k = \frac{B_k}{\sqrt{1 - r_{kl}^2}}, \quad v_l = \frac{B_l}{\sqrt{1 - r_{kl}^2}}$$

В ІМГР реалізовано при розрахунку імовірності відкаау СНС також метод узагальненої коваріації, запропонований А.П. Кудзісом, метод FNET, запропонований С.А. Корнелсом. Усі ці методи в області малих імовірностей дають близькі результати. Схема розрахунку ІМГР приведена на рис. 2.

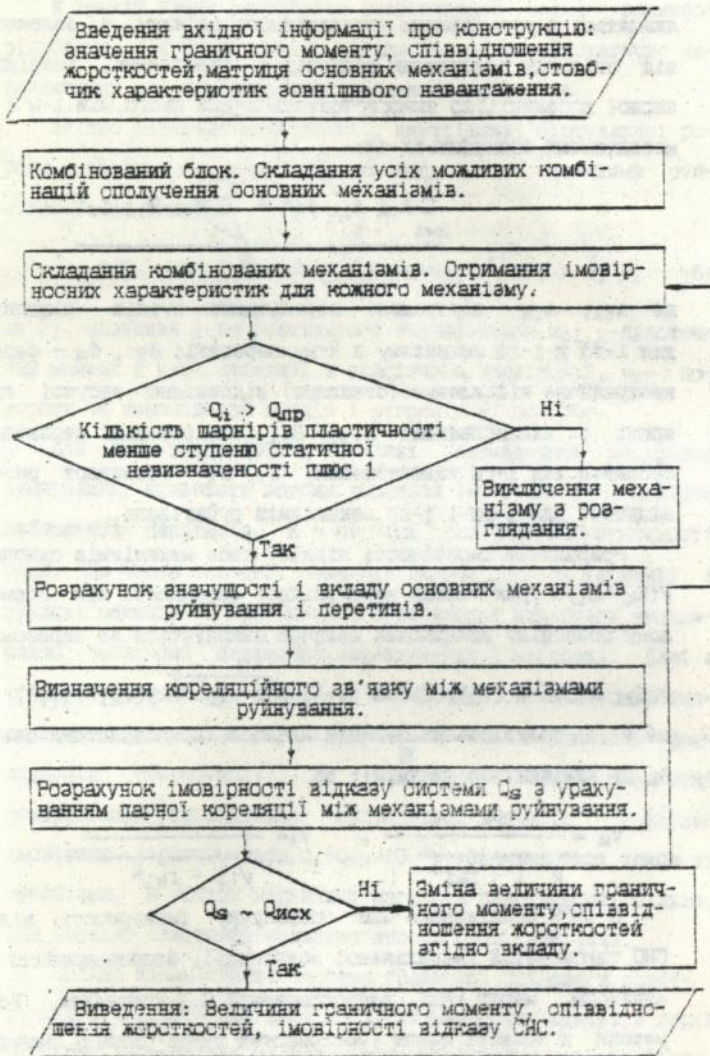


Рис.2. Блок-схема розрахунку ІМФР.

Одним з факторів, які впливають на несучу здатність елементів СНС, є поведінка сила, котра враховується в ІМГР для стиснуто-зігнутих стержнів як частка в граничному згинаючому моменті, який знаходиться:

$$M_{D1, n} = \left[1 - \left(\frac{N}{N_{D1}} \right)^2 \right] M_{D1} = \mu_k M_{D1}, \quad (10)$$

де j - показник ступеню, для двутавру рівний 1.5; N, N_{D1} - поведінка сила в елементі 1 пластична несуча здатність стиснутого елемента; M_{D1} - пластичний згинаючий момент для даного елемента. Коефіцієнт умов роботи μ_k враховує вплив поведіночної сили в стиснуто-зігнутих елементах, попередньо його приймають рівним 0.85.

Для отримання можливості впливати на СНС без зниження її працездатності необхідно використовувати таку характеристику, як вклад i -го елемента в надійність конструкції у цілому R_S , він знаходиться як:

$$B_i = R_i \xi_i = R_i \frac{dR_S}{dR_i} = Q_S - Q_{S1}, \quad (11)$$

де ξ_i - значущість i -го елемента; Q_{S1} - імовірність відкасу системи при надійності окремого елемента $R_i=1$.

В роботі показано, що ефективно використовувати визначення вкладу окремих основних механізмів руйнування, а не окремих небезпечних перетинів.

Для врахування випадкової природи діючих на конструкцію зовнішніх факторів в ІМГР використовується критерій багатопараметричного навантаження. Кожне навантаження подається як випадковий параметр, і для комбінованого механізму сумарне навантаження складається згідно з правилами складання випадкових величин з обов'язковим урахуванням кореляційних

зв'язків між навантаженнями.

Імовірносний розрахунок завершується зрівнянням імовірності відкасу системи в цілому Q_c і імовірності відкасу одного перетину $Q_{\text{чиск}}$, запроєктованого згідно норм.

В четвертій главі розроблена методика оцінки параметрів надійності вузлів сталевих статично невизначних рам. Імовірносну роботу елементів жорстких вузлів можливо представити у вигляді послідовного з'єднання. Таке з'єднання характеризується тим, що вихід зі строю тільки одного елементу з'єднання веде за собою відкас усього вузла у цілому.

Для дослідження використовувались жорсткі вузли на монтажному зварюванні (односторонній і двосторонній), на обрізках двотаврів, болтове з'єднання (фланцеве) та вузли з'єднання колони і фундаменту.

При незалежності випадкових характеристик елементів вузла, що запроєктовані згідно з нормами, імовірність відкасу вузла у цілому буде визначатися як сума імовірностей відкасу усіх елементів. При допущенні, що запроєктовані елементи мають однакову нормовану імовірність відкасу Q_1 , у аварійному односторонньому вузлі імовірність відкасу буде: $Q_{\text{вузла}} = 3Q_1$, і понижуючий коефіцієнт до розрахункового опору складає $\gamma_2 = 0.956$. Коефіцієнт необхідно використовувати для зрівняння імовірності відкасу вузла у цілому і імовірності відкасу окремих елементів вузла. Для двостороннього зварного вузла, опорного вузла і вузла на болтах $Q_{\text{вузла}} = 7Q_1$, $\gamma_2 = 0.923$. Для вузла на болтах і обрізках двотаврів $Q_{\text{вузла}} = 5Q_1$, $\gamma_2 = 0.937$. Відмітимо, що чим більше статистично незалежних елементів, тим більше імовірність відкасу вузла у цілому. Для отримання більш точних оцінок надійності вузлів

необхідно мати статистичні характеристики роботи усіх елементів і їх взаємозв'язок.

В п'ятій главі представлені результати розрахунків сталевих статично незначачних рам з реальним та пропорціональним навантаженнями. Виконувалося пружний, пружно-пластичний та ІМГР розрахунок 30-ти рам різного призначення і конфігурації (одно-, дво-, трьохетажні, одно-, дво-, трьохпрольстні), завантажених діючими чи проектними навантаженнями. Відбувалося порівняння згинаючих граничних моментів, котрі приходяться на одиничну жорсткість.

По результатам обчислювання, було підтверджено, що введення пружно-пластичного розрахунку у практику проектування СНС дозволяє урахувати у середньому 10-15% резерву несучої здатності рам у порівнянні з пружним розрахунком. Розрахунок імовірнісним методом граничної рівноваги при зрівнюванні імовірності відкасу рами у цілому з імовірністю відкасу одного елемента до першого відкасу, запроектованого згідно норм, дозволяє урахувати додатково у середньому 20-25% резерву несучої здатності у порівнянні з пружно-пластичним розрахунком.

За розробленою методикою визначення значущості, вкладу і питомого вкладу окремих основних механізмів руйнування були проведені розрахунки 30-ти рам. По результатам складені діаграми питомих вкладів окремих основних механізмів. При дослідженні діаграм можна відмітити, що питомі вклади у цілому розподіляються нерівномірно для більшості рам. Розкид вкладів різних елементів (10 - 30% по величині несучої здатності) відкриває можливе поле діяльності по їх зрівнянню і урахуванню при цьому виникаючих резервів конструкцій. На

діаграмах питомих вкладів для більшості рам виділяються один або два (частіше один) елементарних механізмів, котрі складають основу найбільш імовірного механізму.

Розбіжність питомих вкладів окремих перетинів в надійність рами у цілому досягає у середньому 10-30% і наближається до питомих вкладів окремих основних механізмів руйнування.

Для врахування статистичної природи міцності і навантаження пропонується вводити в розрахунок сталевих статично невизначених рам коефіцієнт надійності γ_S . Коефіцієнт надійності аналогично:

$$\gamma_S = \frac{M_0(p1)}{M_0(vmpg)}, \quad (12)$$

де $M_0(p1)$ - граничний момент, отриманий з пружно-пластичного розрахунку рами; $M_0(vmpg)$ - граничний момент, отриманий по ІМГР.

Використовувати γ_S необхідно при підборі перетинів елементів сталевих рам як коефіцієнт умов роботи. При розрахунку з урахуванням однопараметричного навантаження до 30-ти рам отримані коефіцієнти 1.2-1.4, і їх можливе використання забезпечить значну економію матеріалу.

Для практичного використання в інженерних розрахунках сталевих статично невизначених рам рекомендується коефіцієнт $\gamma_S = 1.1$, його зведення не вимагає додаткових розрахунків надійності рам. Використання більших коефіцієнтів потребує розрахунків згідно розробленого методу.

У додатках наведені розроблені програми, результати розрахунків по ІМГР на ПЕОМ, довідки впровадження.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Дана робота присвячена розвитку імовірнісного розрахунку

статично невизначних сталевих рам різного призначення і конфігурації з урахуванням реальної роботи матеріалу і навантаження. Основні результати роботи:

1. Розроблена методика оцінки надійності СНС методом перебору станів, в яком використовується графоаналітичні перетворення і враховується як пластичні, так і крихкі відкази елементів.

2. Для отримання нижньої оцінки імовірності відказу конструкції у цілому пропонується метод розрахунку, який використовує найбільш імовірний механізм руйнування, отриманий методом граничної рівноваги. Виконані практичні розрахунки імовірності відказу 30-ти рам різного призначення і конфігурації.

3. Запропонований логіко-імовірносний метод обчислення імовірності відказу системи у цілому шляхом отримання безповторної форми подання функції працездатності системи, яка враховує усі моделі руйнування конструкції.

4. Для визначення імовірності відказу сталевих СНС розроблений імовірносний метод граничної рівноваги. В обчисленнях враховується різноманітність форм відказів конструкції і кореляційний зв'язок між механізмами руйнування, а також виконується зрівняння імовірності відказу системи у цілому з імовірністю відказу одного елемента, запроєктованого агідно нормам. Виконано імовірносний розрахунок широкого кола рам.

5. Розроблено алгоритм оцінки значущості, вкладу і питомого вкладу окремих основних механізмів руйнування і небезпечних перетинів елементів статично невизначних сталевих рам в надійність системи у цілому. Виконана оцінка значущості, вкладу і питомого вкладу основних механізмів для 30-ти рам.

5. Запропонована процедура визначення імовірності відкату жорстких вузлів сталевих статично невизначених рам, поданих у вигляді логічно зв'язаних елементів. Для забезпечення достатньої надійності вузлів пропонується вводити в розрахунок елементів конструкції вузлів коефіцієнт γ_2 . В залежності від типу вузла коефіцієнт дорівнює 0.92-0.96.

7. Запропоновано метод визначення коефіцієнту надійності для СНС γ_S при однопараметричному та багатопараметричному навантаженні конструкцій, котрий враховує випадковий характер міцності і навантаження. Згідно методу ІМТР розраховані коефіцієнти γ_S до 30-ти рам, що дорівнюють 1.2-1.4. Використання γ_S дасть економію матеріалу 5-20%. У практичних розрахунках сталевих СНС рекомендується застосовувати $\gamma_S=1.1$.

8. На основі перелічених методів складені і реалізовані програми до ПЕОМ. Результати проведеного чисельного експерименту дозволяють рекомендувати дану розробку для практичного імовірнісного розрахунку сталевих статично невизначених рам.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Личутин С.Ф., Семко А.В., Чичулин В.П. Оценка надежности стальных рам промышленных зданий//Повышение качества и надежности стр. металлоконструкций: Тез. докл. научно-техн. сов. нара.-Челябинск, 1988. - С. 4-5.

2. Личутин С.Ф., Чичулин В.П. Расчет надежности статически неопределимых рам/Интенсификация строительного производства: Тез. докл. обл. научн. техн. конф.-Подтава, 1989.- С. 82-86.

3. Личутин С.Ф., Чичулин В.П. Вопросы надежности стальных статически неопределимых рам//Испытания стр. металл. констр. в условиях действующих предприятий: Тез. докл. Всес. конф.-

Магнитогорск, 1991. - С. 53-55.

4. Пичугин С.Ф., Чичулин В.П. Снижение материалоемкости статически неопределимых конструкций за счет применения в расчетах методов теории надежности // Снижение материалоемкости и трудовых затрат в строительстве: Сб. науч. трудов. - К.: УМК ВО, 1991. - С. 60-65.

5. Пичугин С.Ф., Чичулин В.П. Оценка надежности стальных рам на основе метода предельного равновесия // Эффект. стр. материалы и конструкции, используемые при возведении зданий и сооружений: Сб. науч. трудов. - К.: УМК ВО, 1992. - С. 84-90.

6. Пичугин С.Ф., Чичулин В.П. Расчет надежности статически неопределимых рам промышленных зданий // Надежность стр. констр. адан. и сооружений: Теа. докл. научно-техн. конф. Ч. 1. - Черкассы, 1993. - С. 5-6.

7. Чичулин В.П. Некоторые особенности расчета надежности статически неопределимых стальных рам // Пути повышения эффективности строительства : Сб. науч. трудов. - К.: УМК ВО, 1993. - С. 89- 94.

8. Пичугин С.Ф., Чичулин В.П. К вопросу проектирования статически неопределимых конструкций заданной надежности // Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях: Теаи допов. міжнар. наук. прак. конф. - Суми, ІПП. "Мрія" ЛТД, 1994. - С. 99-100.

АННОТАЦИЯ.

Чичулин В.П. "Вероятностный расчет стальных поперечных рам производственных зданий".

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.23.01. - Строительные конструкции, здания и сооружения. Полтавский технический универ-

ситет, Полтава, 1995.

Оценка параметров надёжности стальных статически неопределимых рам на основе вероятностного метода предельного равновесия с учетом корреляции между механизмами разрушения.

Предложена методика получения расчетных коэффициентов для проектирования стальных статически неопределимых рам.

Отдельные результаты работы включены в проект разрабатываемых национальных норм по надёжности.

Ключеві слова: надійність, сталеві статично невиконані рами, механізмами руйнування, елемент, граничка рівноваги.

ANNOTATION.

Chichulin V.P. "Probabilistic Analysis of Steel Redundant Cross Frames of Industrial Buildings".

The thesis for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences. Speciality 05.23.01. - Building Structures, Buildings and Structures, Poltava Technical University.

Reliability parameters estimation of steel redundant frames on the basis of probabilistic method of breaking balance with the account of a correlation mechanism of destruction.

The method of getting the designed coefficients for steel redundant structures is proposed.

Some results of the work are included in the project of developing national reliability codes.

Key words: reliability, steel redundant frames, mechanism of destruction, element, breaking balance.

Подписано к печати 16.11.65г. Формат 60x84 1/16. Бумага белая писчая.

Печать offsetная. Объем 1 п. л. Тираж 100. Бесплатно. Заказ №1147.

Подразделение оперативной полиграфии управления статистики Полтавской области.

г. Полтава, ул. Пушкина, 108.

1887, January 1st

Dear Mother
I received your letter of the 27th and was glad to hear from you. I am well and hope these few lines will find you the same. I have not much news to write at present. I am still in the same place and doing the same work. I have not much time to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

I have not much news to write at present. I have not much news to write at present. I have not much news to write at present.

446672

AB 33.546
AB 33.546