

Józef Głąbik, Jerzy Niewiadomski

PRZESTRZENNY RUSZT SIATKOWY W ZASTOSOWANIU DO PRZEKRYCIA STAŁOWYCH HAL PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę teoretyczną przestrzennego rusztu siatkowego przeznaczonego do przekrycia hal przemysłowych. Rozpatrzono możliwość wykorzystania rusztu do hal o siatce słupów od 18 x 12 m do 24 x 24 m przy obciążeniu do 200 kg/m². Wykonane obliczenia sił w prętach rusztu wykazały celowość wyeliminowania pewnych grup prętów, których udział w pracy przekrycia jest nieznaczny.

1. Celowość stosowania

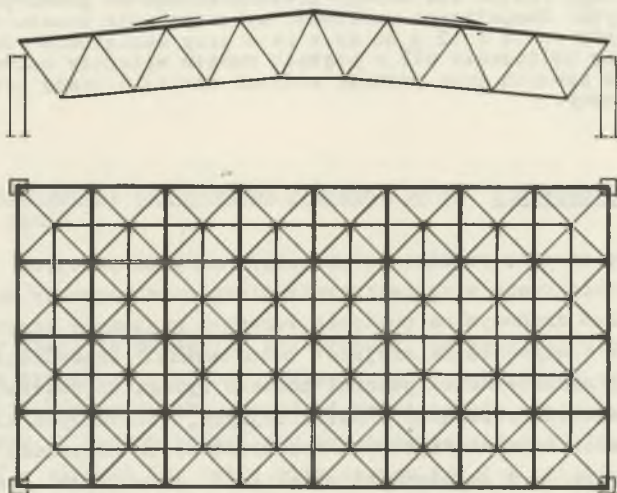
Dla przyspieszenia realizacji przekryć hal przemysłowych stosuje się konstrukcje zblokowane w geometrycznie niezmiennie segmenty montowane łącznie z pokryciem dachowym na poziomie terenu a następnie przenoszone za pomocą urządzeń dźwigowych na miejsce zabudowania. Zapewnienie segmentom geometrycznej niezmienności podczas montażu wymaga wprowadzenia, przy zastosowaniu typowych rozwiązań konstrukcyjnych, dodatkowych wiązarów i stężeń, co prowadzi do niekorzystnego rozczłonkowania materiału konstrukcyjnego i występowania w zabudowanym przekryciu podwójnych elementów konstrukcyjnych. Przekrycia takie zostały zrealizowane między innymi w halach produkcyjnych FSM w Bielsku Białej i Tychach.

Wymienione niekorzystne cechy przekryć montowanych systemem blokowym można wyeliminować przez stosowanie przestrzennych rusztów siatkowych [1], [2]. Przestrzenne ruszty siatkowe charakteryzują się równomiernym rozłożeniem w przekryciu elementów konstrukcyjnych a ponadto przy odpowiednim ukształtowaniu siatki prętowej stanowią konstrukcję geometrycznie niezmienną niezależnie od podpór. Jednolita budowa rusztu umożliwia typizację zarówno prętów jak i ich połączeń, co stanowi podstawę wprowadzenia seryjnej produkcji i uzyskania dodatkowych efektów ekonomicznych.

2. Wybór struktury siatki

Biorąc pod uwagę stosowany w halach przemysłowych sposób rozmieszczenia słupów usytuowanych w węzłach prostokątnej lub kwadratowej siatki oraz najczęściej stosowane rozpiętości hal, przyjęto - przestrzenny ruszt

siatkowy o dwukierunkowym przebiegu prętów w warstwie i elemencie typowym w kształcie połowy ośmiościanu (rys. 1). Z dwóch alternatyw wykonania przekrycia - jako jednospadowe i jako dwuspadowe - wybrano przekrycie dwuspadowe, które zajmuje w hali mniejszą wysokość, a ponadto umożliwia podwieszenie do konstrukcji dachowej belek dla suwnic mostowych. Rozpatrując możliwości podparcia rusztu - w węzłach warstwy górnej lub w węzłach warstwy dolnej - wybrano podparcie w węzłach warstwy górnej, gdyż przy drugim rozwiązaniu wynikają pewne trudności z ułożeniem pokrycia w kierunku spadku dachu a ponadto zestawienie dwóch pasów dolnych na styku sąsiadujących ze sobą rusztów jest niekorzystne ze względów wizualnych.



Rys. 1. Przestrzenny ruszt siatkowy o dwukierunkowym przebiegu prętów w warstwach i elemencie typowym w kształcie połowy ośmiościanu

Zakładając możliwość wykorzystania rusztów do przekrycia hal o rozpiętościach i rozstawach słupów od 18 x 12 m do 24 x 24 m przyjęto rozstawy węzłów rusztu 3 m, co odpowiada stosowanemu w budownictwie systemowi modułarnemu. Wysokość konstrukcyjną rusztów, dla uzyskania krzyżulców o jednakowej długości we wszystkich rusztach, przyjęto jednakową, wynoszącą 2,4 m. Wartość ta dla rusztu o rozpiętości 24 m odpowiada 1/10 rozpiętości, która jest często stosowaną wysokością konstrukcyjną wiązarów trapezowych.

Przedstawiony na rys. 1 przestrzenny ruszt siatkowy jest konstrukcją przesztynioną, z której można wyeliminować pewne grupy prętów. W szczególności mogą to być wewnętrzne pręty poprzeczne w warstwie dolnej i wewnętrzne pręty poprzeczne w warstwie górnej. Wyeliminowanie tych ostatnich prętów, w przypadku bezpośredniego oparcia pokrycia na ruszcie siatkowym, uniemożliwia jednak ułożenie pokrycia w kierunku spadku dachu.

3. Analiza stosowanych systemów konstrukcyjnych

Główną trudnością w realizacji przestrzennych rusztów siatkowych jest uzyskanie prostych rozwiązań konstrukcyjnych połączenia kilku prętów w węzle przestrzennym przy jednoczesnym zachowaniu możliwie niskiego zużycia stali.

Dla dokonania wyboru rozwiązań przeprowadzono analizę kilkunastu znanych systemów konstrukcyjnych ze względu na technologię wykonania, montaż, rozwiązania konstrukcyjne oraz walory estetyczne. Uwzględniono przy tym takie systemy [3], jak: Mero, Weimar, Unistrut, Oktaplatte, Triodetic, IFI, Tridimatec, SDC, Space Deck, Space Grid, Pyramitec, GP, systemy - węgierski i szwajcarski, Tubaccord i inne. Systemy te można podzielić na cztery charakterystyczne grupy, w których na elementy montażowe składają się odpowiednio: pręty i węzły (np. Mero), elementy przestrzenne i pręty (np. Space Deck), elementy płaskie i pręty (Tubaccord) oraz elementy liniowe i pręty (system szwajcarski).

W wyniku analizy zalet i wad systemów konstrukcyjnych stwierdzono, że całowy dla przyjętego rusztu siatkowego jest podział na elementy liniowe i pręty oraz podział na elementy płaskie i pręty. Podział na pręty i węzły ze względu na charakter rozwiązań konstrukcyjnych i bardzo małe tolerancje wymiarowe wymaga stosowania maszyn specjalistycznych a ponadto największą zaletą tego systemu, jaką jest uniwersalność, w przypadku rozpatrywanego rusztu nie mogłaby być wykorzystana. Podział zaś na elementy przestrzenne i pręty w zastosowaniu do rusztów siatkowych zbudowanych z elementów o dużych wymiarach, które w rozpatrywanym przypadku wynoszą 3 x 3 x 2,4 m, uniemożliwiłaby racjonalne wykorzystanie ładowności środków transportowych.

4. Dobór rozwiązań konstrukcyjnych

W toku dalszej analizy zdecydowano się ostatecznie na rozwiązanie, w którym jako elementy montażowe występują elementy liniowe i pręty. Kierowano się przy tym lepszym wykorzystaniem środków transportowych, prostszym wykonaniem w wytwórni a w szczególności mniejszą możliwością odkształcenia się elementów w czasie transportu. Elementami liniowymi są ciągłe pasy górnej i dolnej warstwy - prętami - krzyżulce i części pasów poprzecznych.

Dla racjonalnego wykorzystania materiału konstrukcyjnego oraz uniknięcia stosowania płatwi, na pręty górnej warstwy zastosowano przekroje zamknięte wykonane z ceowników. Na pręty dolnej warstwy przyjęto pojedyncze kątowniki, podczas gdy na krzyżulce rozciągane - pojedyncze kątowniki, a na ściskane - dwa kątowniki, tworzące przekrój zamknięty. Te ostatnie pręty mogą być ewentualnie zastąpione rurami kwadratowymi lub kolistymi.

Wszystkie połączenia warsztatowe przyjęto jako spawane. Dla wykonania połączeń montażowych zastosowano połączenia na śruby niedopasowane do otworów, które mogą być zastąpione połączeniami na śruby sprężające, w przypadku większego ich rozpowszechnienia w kraju.

5. Obliczenia statyczne i wymiarowanie

W celu określenia rozkładu sił w prętach rusztu przyjęto obciążenie pionowe równomiernie rozłożone na rzucie poziomym przekrycia o wartości 200 kG/m^2 , które skupiono w węzłach warstwy górnej. Obliczenia wykonano dla kilku wariantów rusztu, rozpatrując między innymi wpływ eliminacji pewnych grup prętów z rusztu siatkowego oraz wpływ zmiany wysokości konstrukcyjnej na ciężar własny rusztu.

Obliczenie sił w prętach rusztu przeprowadzono metodą przemieszczeń jak dla układu prętowego o przegubowych połączeniach w węzłach, zapisując dla każdego węzła równania rzutów w postaci:

$$\sum T_{ik} p_{ik} + P_i = 0;$$

gdzie:

- sumowanie obejmuje wszystkie pręty dochodzące do węzła i ,

T_{ik} - macierz kosinusów kierunkowych osi pręta ik ,

p_{ik} - siła osiowa w pręcie ik ,

$$p_{ik} = - \frac{E A_{ik}}{l_{ik}} T_{ik}^t (U_i - U_k),$$

E - moduł sprężystości podłużnej,

A_{ik} - pole powierzchni przekroju pręta ik ,

l_{ik} - długość pręta ik ,

T_{ik}^t - macierz transponowana macierzy T_{ik} ,

U_i, U_k - wektory przesunięć odpowiednio węzłów i oraz k ,

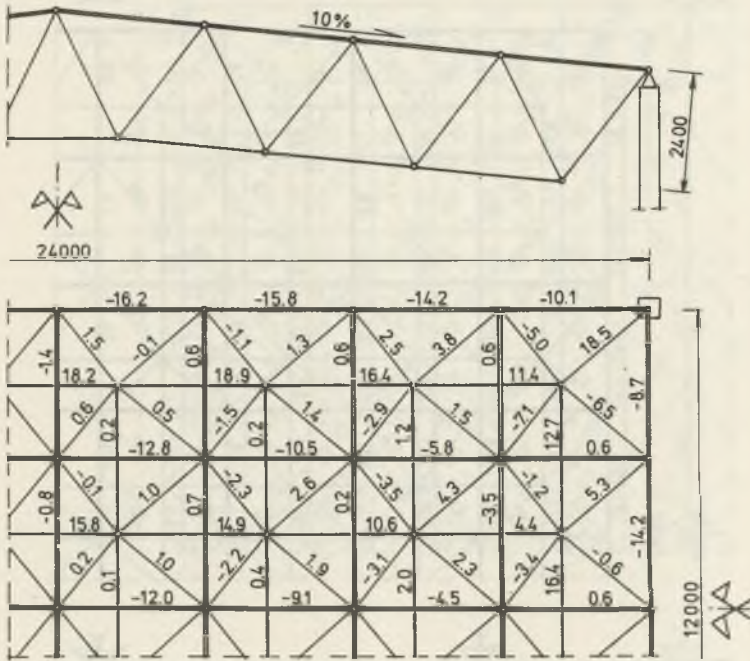
P_i - wektor obciążenia węzła i .

Przekroje prętów przyjęto ze stali niskowęglowej o naprężeniach dopuszczalnych 1700 kG/cm^2 i ze stali niskostopowej o naprężeniach dopuszczalnych 2500 kG/cm^2 .

6. Analiza rozkładu sił w prętach

Rozkłady sił w prętach przestrzennych rusztów siatkowych: ze wszystkimi prętami, bez wewnętrznych prętów poprzecznych w warstwie dolnej i bez

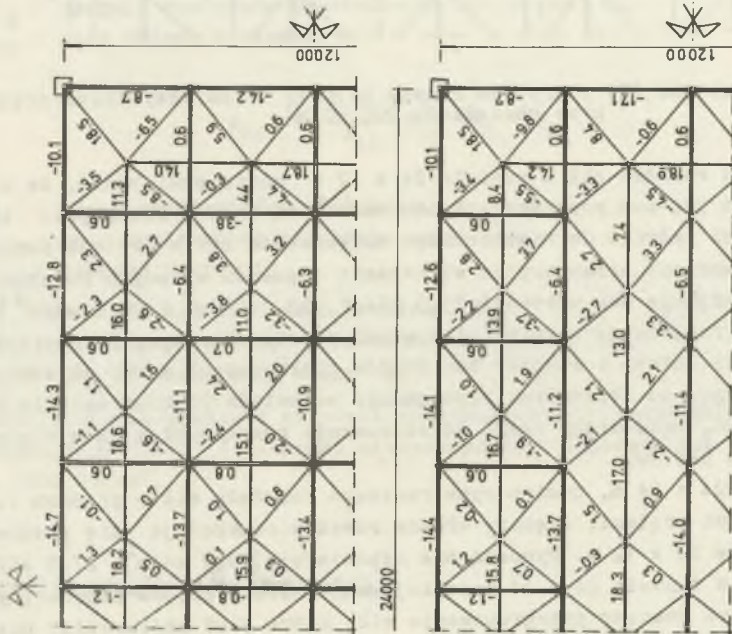
wewnętrznych prętów poprzecznych w warstwie dolnej i górnej, przy rozpiętościach 24 x 12 m i 24 x 24 m przedstawiono na rysunkach 2 do 6.



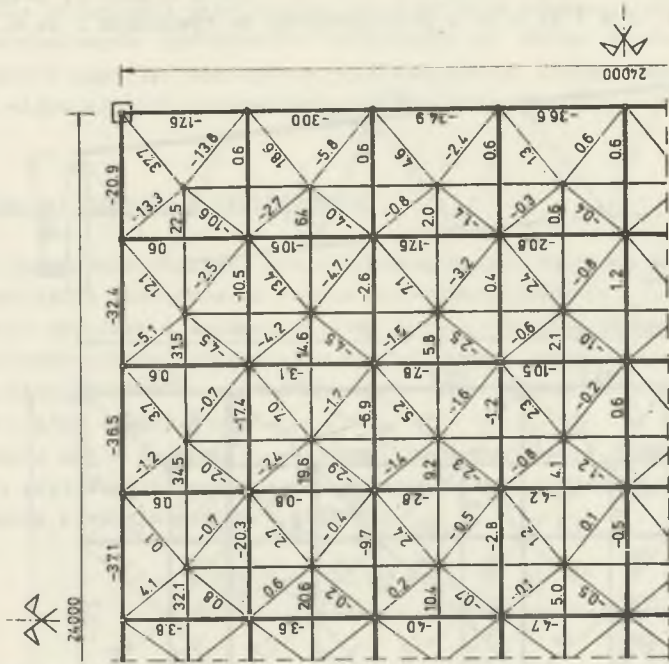
Rys. 2. Rozkład sił (T) w prętach rusztu 24 x 12 m ze wszystkimi prętami przy obciążeniu 200 kg/m²

Rozpatrując rozkład sił w ruszcie 24 x 12 m można stwierdzić, że siły w wewnętrznych prętach poprzecznych obu warstw są małe. Pominięcie tych prętów prowadzi jedynie do nieznacznego zwiększenia sił w prętach podłużnych. Przeprowadzone orientacyjne obliczenia ciężarów własnych rusztów wykazały, że przyjmują one wartości 23,3 kg/m², 23,0 kg/m² i 20,6 kg/m² odpowiednio dla rusztów ze wszystkimi prętami, rusztów bez prętów poprzecznych w warstwie dolnej i rusztów bez prętów poprzecznych w obu warstwach. Biorąc pod uwagę, że ostatniemu rozwiązaniu odpowiada również najmniejsza liczba połączeń, należałoby dążyć do stosowania rusztów 24 x 12 m o minimalnej liczbie prętów.

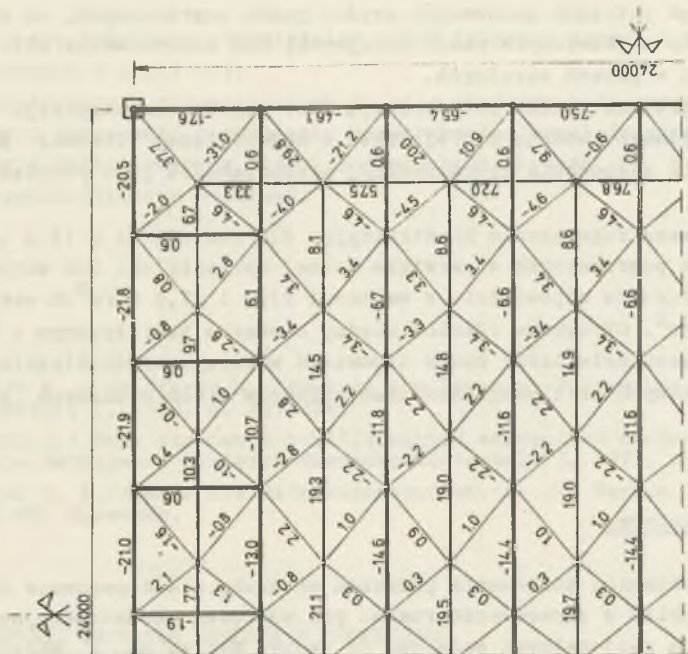
W rusztach 24 x 24 m, pomimo symetrycznego rozkładu sił w prętach rusztu ze wszystkimi prętami, ciężary własne rusztów rozkładają się podobnie jak dla rusztów 24 x 12 m. Wynoszą one odpowiednio 30,2 kg/m², 27,8 kg/m² i 27,5 kg/m². W ruszcie 24 x 24 m zmniejszeniu liczby prętów poprzecznych odpowiada jednak znaczne przegrupowanie sił, które jest najbardziej niekorzystne dla krzyżulców rusztu bez prętów poprzecznych w obu warstwach.



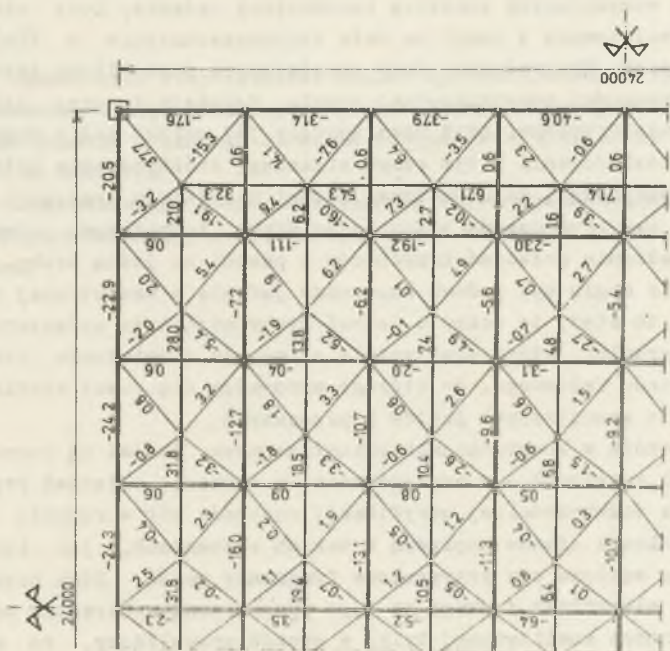
Rys. 3. Rozkład sił (T) w prętach rusztu 24 x 12 m bez wewnętrznych prętów poprzecznych w warstwie dolnej i bez wewnętrznych prętów poprzecznych w obu warstwach



Rys. 4. Rozkład sił (T) w prętach rusztu 24x24 m ze wszystkimi prętami przy obciążeniu 200 kG/m²



Rys. 6. Rozkład sił (T) w prętach rusztu 24 x 24 m bez wewnętrznych prętów poprzecznych w obu warstwach



Rys. 5. Rozkład sił (T) w prętach rusztu 24 x 24 m bez wewnętrznych prętów poprzecznych w warstwie dolnej

Wynika stąd potrzeba zachowania części pasów poprzecznych, co najmniej w sąsiedztwie poprzecznych pasów skrajnych, dla zredukowania sił w krzyżulcach jak i w pasach skrajnych.

Przedstawione wyniki potwierdzają tzw. zasadę koncentracji materiału konstrukcyjnego, według której ruszt o najmniejszej liczbie prętów niezbędnej dla zachowania geometrycznej niezmienności jest również najlżejszy.

Opracowane rozwiązania konstrukcyjne dla rusztów 24 x 12 m i 24 x 24 m bez prętów poprzecznych w warstwie dolnej wykazały ok. 20% wzrost ciężaru własnego rusztów odpowiednio z wartości 23,0 i 27,8 kg/m^2 do wartości 27,9 i 34,5 kg/m^2 . Otrzymane różnice między ciężarem teoretycznym a określonym według wykazu materiałów można tłumaczyć większym ujednoczeniem elementów wysyłkowych oraz uwzględnieniem ciężarów blach węzłowych i łącznikowych.

7. Uwagi końcowe

Przy założeniu stosowania połączeń na śruby nie dopasowane do otworów, główny problem w opracowaniu rusztu pod względem konstrukcyjnym stanowi znalezienie racjonalnych połączeń na śruby. Wynika on z małej nośności śrub przy jednocześnie dużym zróżnicowaniu sił w prętach rusztu. Zastosowanie śrub sprężających znacznie uprościłoby zadanie, lecz nie może być obecnie zrealizowane z uwagi na małe rozpowszechnienie w kraju tego rodzaju połączeń. Wprowadzenie śrub sprężających pozwoliłoby także na pewną redukcję wysokości konstrukcyjnej rusztu. Redukcja ta przy śrubach zwykłych jest niekorzystna, gdyż towarzyszący jej wzrost sił w prętach prowadziłyby do rozbudowania i tym samym większego zróżnicowania połączeń.

Biorąc pod uwagę, że w znacznej części krzyżulców występują małe siły, które mogą być przenoszone przez jedną śrubę, rozpatrzono również możliwość wprowadzenia połączeń krzyżulców z pasami na jedną śrubę. Połączenie takie będzie mogło być jednak stosowane jedynie w wewnętrznej części rusztu. Wynika to stąd, że ścięciu jednej śruby odpowiada wyłączenie z pracy jednego krzyżulca, który praktycznie eliminuje z działania skrajną kratownicę układu fałdowego, do którego sprowadza się ruszt siatkowy po wyeliminowaniu wewnętrznych prętów poprzecznych.

Zastosowanie w konstrukcjach przestrzennych, jakimi są ruszty siatkowe, nietypowych rozwiązań - w szczególności w zakresie połączeń prętów w węzłach wymaga doświadczalnej weryfikacji rozkładu sił w ruszcie jako całości i określenia stanów naprężeń w takich elementach, jak końcówki prętów, blachy węzłowe czy przywęzłowe fragmenty pasów. Stan naprężeń w wymienionych elementach z uwagi na jego przestrzenny charakter może być oceniony na drodze analitycznej tylko w sposób przybliżony, co stwarza ko-

nieczność przeprowadzenia odpowiednich badań laboratoryjnych i to na elementach próbnych w skali 1:1.

Dla rozpatrywanych przestrzennych rusztów siatkowych do przekrycia hal przemysłowych opracowano rozwiązania konstrukcyjne uwzględniające wymogi seryjnej produkcji elementów, które zostaną opublikowane po zakończeniu badań wytrzymałościowych połączeń.

LITERATURA

- [1] Thomasch H. i Seiffarth H.: Montage von Stabnetz-Faltwerken, Deutsche Architektur, 7, 1969, s. 425-428.
- [2] Augustyn J.: Hale stalowe o zunifikowanych segmentach dachowych, Konstrukcje Metalowe - Biuletyn Branżowy Mostostal, 3, 1972, s. 5-12.
- [3] Buettner O. i Stenker H.: Metalleichtbauten. T. I. Berlin, 1970. VEB Verlag für Bauwesen.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЕТЧАТАЯ РЕШЕТКА В ПРИМЕНЕНИИ К ПЕРЕКРЫТИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Резюме

В работе представлен теоретический анализ пространственной сетчатой решетки в применении к перекрытию промышленных зданий. Рассмотрена возможность использования решетки в зданиях с сеткой колонн от 18 x 12 м до 24 x 24 м при нагрузке до 200 кг/м².

Выполненные вычисления сил в стержнях решетки подтвердили целесообразность исключения определенных групп стержней, участие которых в работе перекрытия незначительно.

A SPACE NET GRID IN APPLICATION TO COVERING THE INDUSTRIAL BUILDINGS

Summary

In the paper the theoretical analysis of a space net grid in application to covering the industrial buildings has been presented. The possibility to use the grid in buildings with net of columns from 18 x 12 m to 24 x 24 m by the load to 200 kG/m², was considered. The performed computations of the forces in the bars of the grid showed off the suitability of removal of certain groups of bars, the share of which in the work of the covering is rather small.