ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: MECHANIKA z. 82 Nr kol. 845

Antoni Jakubowicz, Józef Kapłanek
Jan Rzytka, Gabriel Wróbel

Instytut Mechaniki i Podstaw
Konstrukcji Maszyn
Politechnika Śląska

Zbigniew Gębicki

CMG KOMAG Gliwice

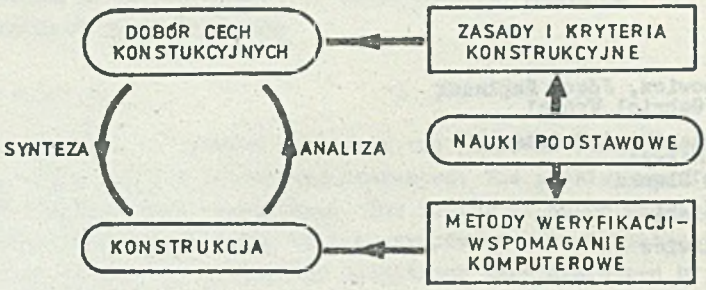
ANALIZA METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH W KOMPUTEROWYM WSPOMAGANIU PROJEKTOWANIA WYSIĘGNIKÓW KOMBAJNU WĘGLOWEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono zastosowanie metody elementów skończonych w postępowaniu projektowo-konstrukcyjnym na przykładzie wysięgników kombajnów węglowych. Obiektem podlegającym analizie jest korpus wysięgnika.
Wyniki są przygotowywane w przejrzystej postaci graficznej umożliwiającej szybką ich ocenę oraz ewentualną ingerencję projektanta. Wykazano, że w dotychczasowej praktyce na ogół spełniano kryteria wytrzymałości, lecz nierozeznawane pozostawało bardzo istotne kryterium sztywności. Podano również zarys metodyki postępowania optymalizacyjnego w sensie osiągania największej sztywności przy niezwiększeniu masy obiektu.

1. Wstęp

Zasadnicza treścią procesu projektowania maszyny jest dobór jej cech konstrukcyjnych. O metodach doboru cech i jego wyniku decydują sformułowane na początku kryteria wynikające z racji kreowania projektowanego urządzenia.
Ważną grupę kryteriów stanowią kryteria wytrzymałościowe. Wprowadzania tych kryteriów do procesu projektowo - konstrukcyjnego dokonuje się w sposób sekwencyjny w poszczególnych jego fazach, gdy możliwe są ilościowe określenia wielkości kryterialnych.

W przedstawionej na rys.1 pętli postępowania realizowane są sekwencje poszukiwania zbioru cech konstrukcyjnych. Działania te mogą być dodatkowo porządkowane przez wybraną procedurę poszukiwania rozwiązania optymalnego ze względu na przyjęte kryteria. Wielkości, dla których sformułowane są kryteria wytrzymałościowe, to spowodowane obciążeniem dynamicznym maszyny wytężenie materiału i przemieszczenia wynikające z deformacji obiektu.



Rys.1

2. Wspomaganie komputerowe a postępowanie projektowo-konstrukcyjne wysięgnika kombajnu węglowego

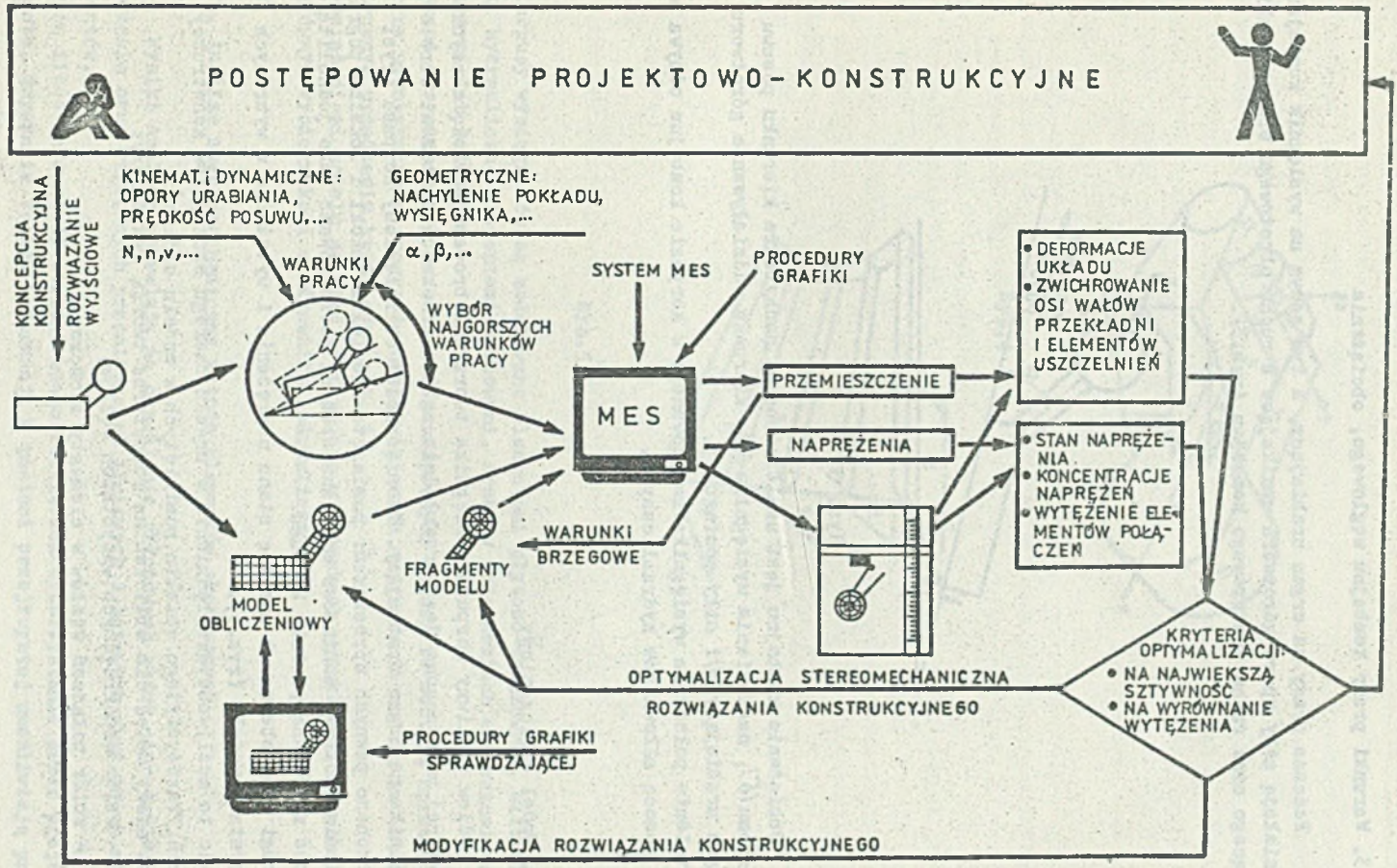
Prowadzone obecnie prace w dziedzinie konstrukcji kombajnów zmierzają do doskonalenia istniejących rozwiązań drogą modyfikacji elementów lub zespołów, które w warunkach wzrastających wymagań eksploatacyjnych nie spełniają zadowalająco swych zadań.

W kombajnach takimi zespołami są ich wysięgniki, w których posadowione są organy urabiające oraz przekładnie napędów tych organów. Skrzynkowa obudowa /korpus/ wysięgnika poddana znacznym obciążeniom winna zapewniać prawidłowe warunki pracy posadowionym w niej elementom przekładni zębatej - geometryczne warunki współpracy, smarowanie, chłodzenie - oraz organowi urabiającemu.

Podstawowe wymagania związane z niezawodnością eksploatacyjną kombajnu dotyczą stanu wytężenia i stanu przemieszczeń /deformacji/ korpusu wysięgnika. Wspomaganie komputerowe umożliwia w tym względzie włączenie analizy modeli konstrukcji do postępowania projektowo - konstrukcyjnego. Wstępnymi do analizy etapami tego postępowania są:

- opracowanie modelu obliczeniowego korpusu wysięgnika,
- analiza warunków pracy i wyznaczenie obciążeń zewnętrznych oraz więzów /sposobu podparcia/,
- dyskretyzacja modelu jako przygotowanie do zastosowania metody elementów skończonych,
- sformułowanie kryteriów i wybór metod optymalizacji.

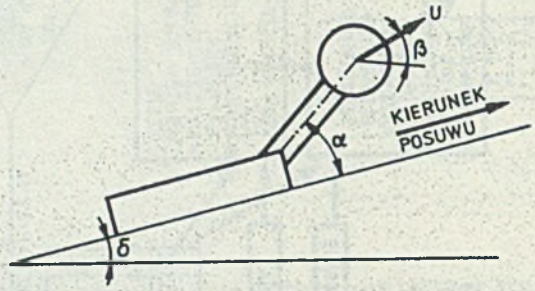
Schemat działań odpowiadających omawianemu zakresowi postępowania projektowo - konstrukcyjnego przedstawiono na rys. 2.


POSTĘPOWANIE PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNE
KONCEPCJA KONSTRUKCYJNA
ROZWIĄZANIE WYJŚCIOWE
KINEMAT. i DYNAMICZNE: OPORY URABIANIA, PRĘDKOŚĆ POSUWU,...
N, n, v,...
GEOMETRYCZNE: NACHYLENIE POKŁADU, WYSIĘGNIKA,...
α, β,...
WARUNKI PRACY
WYBÓR NAJGORSZYCH WARUNKÓW PRACY
SYSTEM MES
PROCEDURY GRAFIKI
MES
PRZEMIESZCZENIE
NAPRĘŻENIA
• DEFORMACJE UKŁADU
• ZWICHROWANIE OSI WAŁÓW PRZEKŁADNI I ELEMENTÓW USZCZELNIEŃ
• STAN NAPRĘŻENIA
• KONCENTRACJE NAPRĘŻEŃ
• WYTĘŻENIE ELEMENTÓW POŁĄCZEŃ
WARUNKI BRZEGOWE
FRAGMENTY MODELU
MODEL OBLICZENIOWY
KRYTERIA OPTYMALIZACJI:
• NA NAJWIĘKSZĄ SZTYWNOŚĆ
• NA WYRÓWNANIE WYTĘŻENIA
OPTYMALIZACJA STEREOMECHANICZNA ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNEGO
PROCEDURY GRAFIKI SPRAWDZAJĄCEJ
MODYFIKACJA ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNEGO

Rys. 2.

3. Warunki pracy kombajnu węglowego, obciążenia

Podczas pracy na organ urabiający, a tym samym na wysięgnik kombajnu działają siły oporu górotworu wynikające z ruchu obrotowego organu urabiającego oraz ruchu postępowego kombajnu (rys.3).

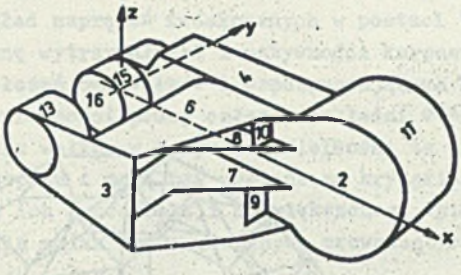


Rys. 3

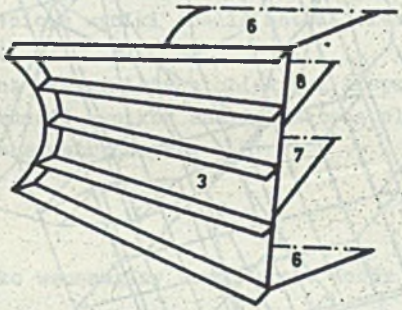
Obciążenie kombajnu jest uzależnione od nachylenia kierunku posuwu do poziomu (δ), nastawienia wysięgnika (α), kierunku oddziaływania górotworu na organ urabiający (β) i siły pociągowej.
Ustalenie położenia wysięgnika zamocowanego w korpusie kombajnu odbywa się za pomocą siłowników hydraulicznych.

4. Model obliczeniowy

Odlew staliwny korpusu wysięgnika tworzy użebrowaną powłokę skrzynkową, w której umieszczona jest przekładnia zębata przekazująca moment obrotowy z silnika na organ urabiający. Tworząc model obliczeniowy korpusu (rys. 4) dokonano pewnych uproszczeń: pominięto niewielkie uskoki i lokalne pogrubienia, pokrywy montażowe mocowane śrubami potraktowano jako jednolitą całość ze ścianą powłoki korpusu.
Drugi etap obejmował analizę stanu naprężenia i wytężenia w wybranych fragmentach modelu (rys.5).
Daje to możliwość uwzględnienia w modelu szeregu szczegółów konstrukcyjnych, rzeczywistego obiektu, pominiętych w modelu ogólnym.
Wejściowy model dla obliczeń na komputerze tworzą dwa zbiory:
1/ - zbiór współrzędnych wszystkich węzłów,
2/ - zbiór połączeń węzłów w elementy skończone.



Rys.4

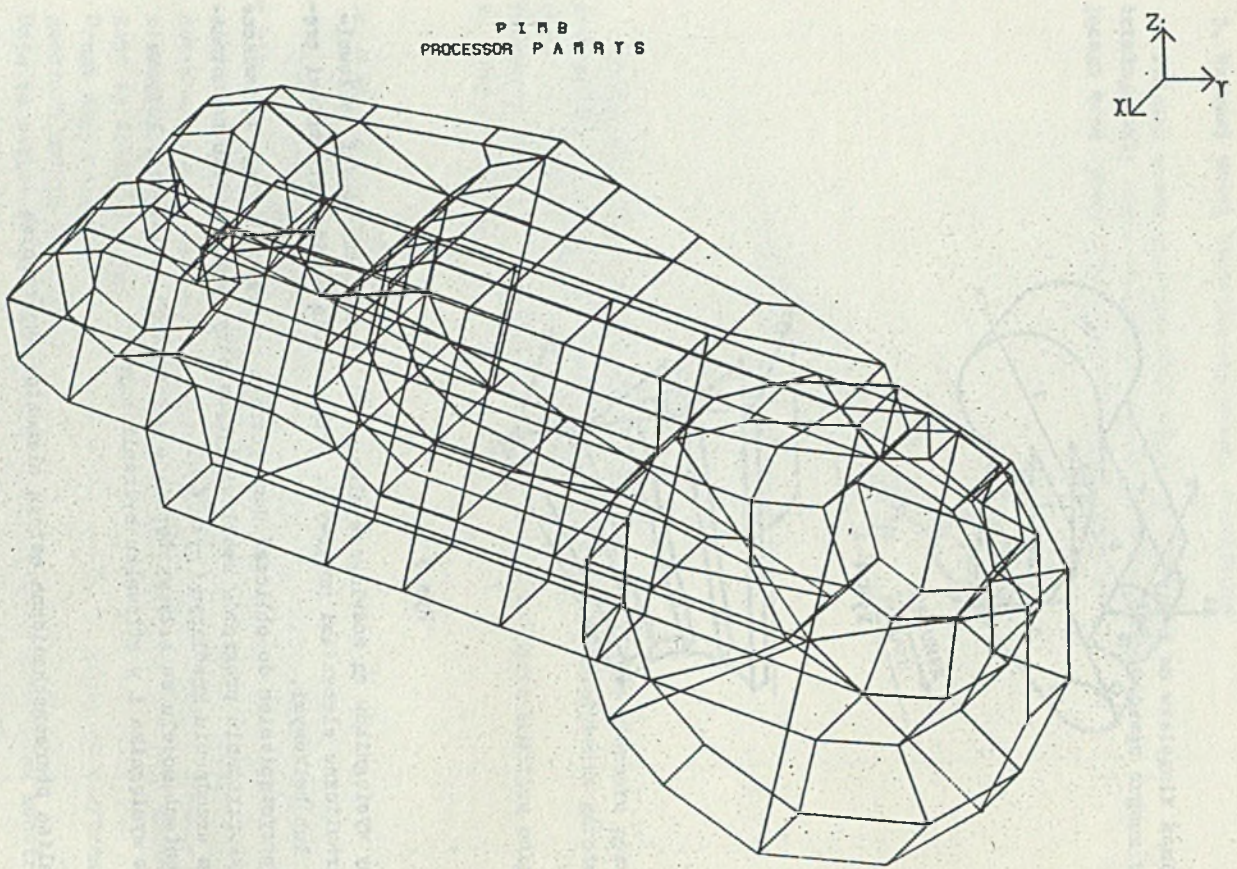


Rys.5

Korpusy wysięgników są modelowane elementami płytowo-tarczowymi, siłowniki hydrauliczne elementami prętowymi, śruby w połączeniach elementami prętowymi lub belkowymi.
Przed przystąpieniem do obliczeń numerycznych zbiory te zostają sprawdzone przy wykorzystaniu programów umożliwiających narysowanie modelu na automatycznym urządzeniu kreślącym (rys. 6).
Obciążeniami modelu są siły, występujące w łożyskach przekładni, łożysku głównym wysięgnika i w siłowniku hydraulicznym.

5. Analiza stereomechaniczna metodą elementów skończonych

Wyniki analizy pozwalają na określenie składowych stanu naprężenia, wytężenia oraz względnych przemieszczeń liniowych i kątowych wszystkich elementów.
Duża ilość informacji utrudnia bezpośrednie ich wykorzystanie przez projektanta. Uzyskanie tychże informacji w postaci przejrzystej umożliwiają pro-



WYSIĘGNIK KOMBAJNU - WARIANT 1

Rys.6.

TYP B

gramy grafiki komputerowej /sieć odkształcona, naprężenia w poszczególnych elementach, rozkład naprężeń redukowanych w postaci "map"/. Uzyskane wyniki pozwalają na ocenę wytrzymałości i sztywności korpusu. Istotne są tu zmiany względnych położeń osi wałków i współpracujących kół zębatych, co może zadecydować o poprawności pracy całej przekładni oraz uszczelnień w miejscach ułożyskowania wałków w korpusie. Wielkości te są zmiennymi wskaźnikami sztywności korpusu i mogą być uważane za kryterialne. Rozkłady naprężeń wskazują miejsca ich koncentracji i zwiększonego wytężenia, stanowią również wskaźniki dla zmian konstrukcyjnych prowadzących do udoskonalenia konstrukcji.

Z uwagi na dużą pracochłonność komputerową bardziej szczegółową analizę można przeprowadzić jedynie w wybranych fragmentach modelu, podwyższając jej dokładność. W ten sposób można w badanych obszarach uwzględnić wpływ użebrowań, połączeń śrubowych itp.

Szczegółowe ilościowe wyniki analiz metodą elementów skończonych podano w pracach [1], [2].

Przeprowadzone na rzeczywistych obiektach eksperymenty tensometryczne [1] potwierdziły zgodność wyników analizy metodą elementów skończonych z wynikami pomiarów tensometrycznych.

6. Optymalizacja jako wspomagany komputerowo dobór cech geometrycznych konstrukcji

Analiza stereomechaniczna prowadzona metodą elementów skończonych może stanowić punkt wyjścia dla prowadzonej ze względu na określone kryteria optymalizacji konstrukcji. Najczęściej formułowane kryteria optymalizacji to:
- kryterium największej sztywności,
- kryterium wyrównanego stanu wytężenia.

W przypadku wysięgników kombajnów węglowych pracujących na ogół przy stosunkowo wysokich współczynnikach bezpieczeństwa dla wytężenia bardzo istotna jest sztywność korpusu. Na przykład analiza przemieszczeń węzłów modelu wysięgnika kombajnu KWB-3RDU [1] wskazuje na zbyt duże wartości swóch względnych przemieszczeń w miejscach łożyskowania wałków w korpusie. Zwiększenie sztywności lokalnej drogą powiększenia grubości elementów może prowadzić do zbyt ciężkiej konstrukcji, tym bardziej, że niektóre fragmenty wysięgnika są już przesztywnione i mało wytężone. Zwiększenie sztywności powinno zatem odbywać się przy niezwiększaniu masy wysięgnika. Można to osiągnąć prowadząc kształtowanie konstrukcji na największą sztywność przy niezmiennej masie [3]. Jako funkcję celu w takim działaniu przyjmuje się energię sprężystą. Minimum energii sprężystej odpowiada wyrównaniu potencjału sprężystego w całej konstrukcji. Problem ten da się sformułować następująco:

znaleźć zbiór $x_i \in X$

wyznaczając postać zbioru $UK_j \subset UK$
przy v = const
taki, by:

$$U = MIN(U_j) ,$$

gdzie:

U_j - energia sprężysta konstrukcji UK_j w j-tej iteracji,
v - objętość konstrukcji,
X - zbiór grubości elementów skończonych x_i.

Całkowita energia sprężysta konstrukcji jest sumą energii sprężystej poszczególnych elementów skończonych

$$U = \sum_{k=1}^{n} U_k .$$

Jest to miara funkcji celu. Przejście do konstrukcji o niższym stanie energetycznym odbywa się przez modyfikację grubości x_i poszczególnych elementów skończonych, przy równoczesnym zachowaniu warunku stałej objętości konstrukcji. W tym celu wszystkie elementy dzieli się na dwa zbiory: E_1 o potencjale niższym od średniego i E_2 o potencjalne wyższym

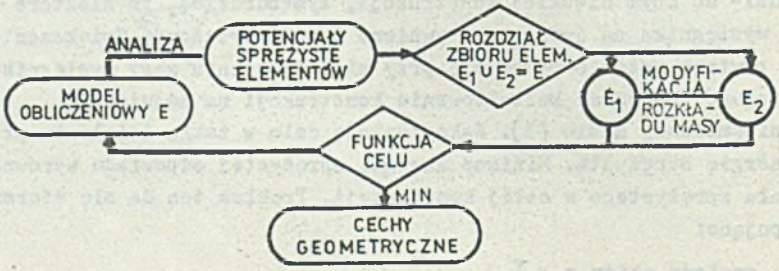
$$E_1 \cup E_2 = E ,$$

$$\bigwedge_{e_i} (\Psi_i < \Psi_{śr}) \Rightarrow e_i \in E_1 ,$$

$$\bigwedge_{e_i} (\Psi_i > \Psi_{śr}) \Rightarrow e_i \in E_2 .$$

Dążąc do wyrównania potencjału we wszystkich elementach, należy przemieścić części tworzywa z elementów należących do zbioru E_1 do elementów tworzących zbiór E_2.

Aby zapewnić przy tym zbieżność tej procedury należy przenosić w miarę małe objętości. Zmiany te prowadzą do wyrównania potencjału sprężystego we wszystkich elementach skończonych, a tym samym minimalizacji energii sprężystej i uzyskania najmniejszej odkształcalności konstrukcji (rys. 7). Uzyskany tą drogą układ cech geometrycznych konstrukcji jest układem teoretycznym i musi być skorygowany przez kryterium technologiczności i rację ekonomiczną. W podobny sposób można prowadzić optymalizację ze względu na wyrównany stan wytężenia. W przypadku przyjęcia potencjału sprężystego za miarę stanu wytężenia /hipoteza Beltramiego/, obydwa kształtowania są zbieżne.



Rys.7.

LITERATURA

[1] Jakubowicz A., John A., Harężlak K., Kapłanek J., Rzytka J., Wróbel G. Zastosowanie komputerowych metod obliczeń stanu naprężenia i odkształcenia, w szczególności metody elementów skończonych w wysięgnikach kombajnów węglowych. Prace NB Instytutu Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn Cz.I, IIa, Gliwice 82-84 r.

[2] Jakubowicz A., John A., Harężlak K., Kapłanek J., Rzytka J., Wróbel G. Zastosowanie metody elementów skończonych do obliczeń stanu naprężenia i odkształcenia w zespole organu urabiającego kombajnu chodnikowego typu K160 i AM50. Prace NB Instytutu Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Cz. I i II, Gliwice,83-84 r.

[3] Kapłanek J.: Kształtowanie płaskich ustrojów nośnych o największej sztywności, Mechanika Teoretyczna i Stosowana z. 2-3/84

FINITE ELEMENT METHOD IN COMPUTER-AIDED DESIGNING PROCESS OF HEADING MACHINE OUTRIGGER

S u m m a r y

Applikation of Finite Element Method in the designing process using an exemple of Heading Machine Outrigger has been presented in the paper.

Results have been shown in a clear graphical form. The drawings are easy to be evaluated and assessed as well as they can be a base for designer interactivity.

There has been shown that strenght criteria were taken into consideration generally in previous practice regardless to stiffness criterion. The method of stiffness optimalization without a mass increasing has been given.

АНАЛИЗ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОМПЮТЕРОВОМ ПОДДЕРЖИВАНИЮ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСОЛИ УГЛОГО КОМБАЙНА

Р е з ю м е

В работе представлено применение метода конечных элементов в проектово-конструктивном поведению на примере консоли угловых комбайнов. Анализированым объектом является корпус консоли.

Результаты приготовляется в графической форме. Дает это возможность быстрой оценки и эвентуальной интеренции проектировщика. Доказано, что до сех пор в общем исполнены были критерия прочности но не распознаван был критерий жёсткости. Представлено методику оптимализации в смысле достижения максимальной жёсткости без увеличивания массы объекта.