

Antoni Niederliński
Politechnika Śląska

KOMPUTEROWE SYSTEMY STEROWANIA MAGAZYNÓW WYSOKOŚCIOWYCH. PRZEGLĄD PROBLEMATYKI

Streszczenie: W referacie przedstawiono stan obecny rozwoju systemów sterowania magazynów wysokościowych ze szczególnym uwzględnieniem struktury funkcjonalnej tych systemów oraz zagadnień komputeryzacji sterowania operatywnego.

1. Magazyn wysokościowy jako proces dyskretny

Magazynowanie staje się w warunkach masowej produkcji i dystrybucji coraz większego wachlarza coraz bardziej złożonych produktów, procesem, którego efektywność i sprawność wpływa coraz silniej na efektywność obsługiwanego procesu produkcji lub dystrybucji. Jeżeli (por. [10]) magazynowane detale można paletyzować, pojemność magazynu przekracza 5000 palet, ilość magazynowych detali jest większa od 500 i średni czas pobytu palety detali w magazynie przekracza tydzień, najbardziej efektywnym sposobem magazynowania staje się magazynowanie wysokościowe. Do zalet tego magazynowania należy:

- możliwość przyjmowania różnorodnych detali w dowolnych zestawach z bardzo dużymi natężeniami dopływu
- możliwość ich przechowywania przy bardzo korzystnym stosunku ilości detali do całkowitej powierzchni zajętej przez magazyn
- możliwość wydawania magazynowanych detali w dowolnych zestawach z bardzo dużymi natężeniami wypływu
- niezwykle korzystny stosunek natężenia przepływu detali do liczby osób obsługujących magazyn
- możliwość automatyzacji czynności manipulowania detali i palet
- możliwość integralnej automatyzacji przyjmowania, wydawania i zamawiania detali oraz inwentaryzacji i fakturowania, co umożliwia zmniejszenie stanu zapasów i zwiększenie dyspozycyjności magazynu.

Magazyn wysokościowy składa się w ogólnym przypadku z następujących części (por. rys. 1):

- wejście, w którym przeprowadza się rozpakowanie przesyłek, ich identyfikację oraz rejestrację, sortowanie i paletyzację przyjmowanych detali i weryfikację faktury
- transport poziomy dostarczający palety z wejścia do urządzeń transportu pionowego oraz z urządzeń transportu pionowego do wyjścia magazynu. Może on być zrealizowany za pomocą przenośników rolkowych, wózków-robotów (por. [14]), wózków trolejowych bez sterowców i wózków trolejowych z kierowcami (por. [6]).
- transport pionowy przeznaczony do załadunku palet z urządzeń transportu poziomego do półek regałowych oraz wyładunku palet z półek regałowych do urządzeń transportu poziomego. W szczególnym przypadku (por. [6]) transporty poziomy i pionowy mogą być realizowane przez te same urządzenia, np. wózki trolejowe z hydraulicznymi podnośnikami klatek ładująco-rozładowujących. W przypadku najbardziej rozpowszechnionego transportu poziomego przenośnikowego, transport pionowy stanowią windy ładująco-rozładowujące, mogące poruszać się wzdłuż i wznosząc regałów. Napędy tych wind są z reguły napędami prądu stałego sterowanymi tyrystorowo. W windy mogą rozwijać prędkości poziome do 180 m/min i pionowe do 60 m/min. Ustawianie windy odbywa się z błędem mniejszym od 5 mm w pionie i poziomie dzięki zastosowaniu cyfrowych absolutnych pomiarów położenia (por. [10], [13]).
- regały magazynujące o wysokości od kilku metrów w przypadku stosowania wózków trolejowych z podnośnikami hydraulicznymi do ok. 50 m w przypadku stosowania wind. Długość regałów może dochodzić do 150 m, a szerokość do 5 m. Regały mogą zawierać do ok. 10.000 półek każdy. Regały są ustawione równolegle i podzielone korytarzami. W każdym korytarzu może pracować jedna winda lub jeden względnie kilka wózków trolejowych, posiadających dostęp do półek regałowych z obydwu stron.

Ładowanie i rozładowanie półek może odbywać się:

- a/sposobem FIFO (first in-first out), czyli kolejno: palety najwcześniej wprowadzone zostaną najwcześniej wyprowadzone. Przy tym sposobie regały są ładowane z jednej strony, a rozładowane z przeciwnej.
 - b/sposobem FILO (first in-last out), czyli stosowo: palety najwcześniej wprowadzone zostają najpóźniej wyprowadzone. Przy tym sposobie regały są ładowane i rozładowane z tej samej strony.
- wyjście, w którym przeprowadza się depaletyzację i sortowanie detali wyjętych z palet w zestawy odpowiadające zamówieniom (punkty kompletacji zamówień), pakowanie, rejestrację i fakturowanie. Częściowo rozładowane palety są z wyjścia kierowane z powrotem do regałów, a całkowicie rozładowane - na wejście.

Współrzędnymi stanu magazynu wysokościowego są:

- dane charakteryzujące stan napędów
- dane charakteryzujące stan zwrotnic urządzeń sortujących
- dane charakteryzujące stan transportu poziomego i pionowego
- dane charakteryzujące programy paletyzacji realizowane przez maszyny paletyzujące
- dane charakteryzujące inventarż magazynu
- dane charakteryzujące temperaturę, wilgotność, obciążenie półek, czas pobytu detali w magazynie.

Ponieważ przevažająca większość tych współrzędnych stanu da się przedstawić za pomocą liczb całkowitych, proces magazynowania wysokościowego jest typowym procesem dyskretnym.

2. Struktura funkcjonalna systemu sterowania magazynu wysokościowego

System sterowania magazynu wysokościowego - podobnie jak systemy sterowania innych złożonych procesów o dużej ilości współrzędnych stanu i różnorodności celów działania - posiada strukturę funkcjonalną hierarchiczną, przedstawioną na rys. 2. Tab. 1 przedstawia krótką charakterystykę poszczególnych warstw tej struktury.

3. Struktura sprzętowa systemów sterowania magazynów wysokościowych

Warstwa sterowania napędów i warstwa koordynowania napędów są warstwami, które praktycznie we wszystkich magazynach wysokościowych są zrealizowane w oparciu o technikę układów przekaźnikowych lub programowanych układów logicznego sterowania, zrealizowanych przy wykorzystaniu mikroprocesorów lub specjalistycznych systemów cyfrowych. Podstawowe operacje manipulacji detali i palet w magazynach wysokościowych zostały już z końcem lat sześćdziesiątych zmechanizowane w stopniu umożliwiającym ich daleko idącą automatyzację (por. [1]). I tak m.in. został zautomatyzowany:

- transport poziomy
- ładowanie maszyn paletyzujących z przenośników
- paletyzacja według zadanego wzoru za pomocą specjalizowanych automatów paletyzujących lub uniwersalnych robotów
- rozładowanie maszyn paletyzujących
- załadunek i wyładunek urządzeń transportu pionowego
- transport pionowy
- załadunek i wyładunek półek magazynu.

W najbardziej wyrafinowanych rozwiązaniach, szczególnie przy dużej wysokości regałów, stopień automatyzacji warstwy sterowania napędów i warstwy koordynowania napędów umożliwił załadunek palet z wejścia na półki oraz wyładunek palet z półek na wyjście wraz z operacjami paletyzacji i depaletyzacji bez udziału człowieka. W przypadku małej wysokości regałów można obecnie często spotykać rozwiązania, w których załadunek i wyładunek palet jest dokonywany przez operatorów wózków trolejowych lub wind. Osiągnięty w warstwach niższych stopień automatyzacji był przy tym całkowicie niezależny od rozwoju komputerowych systemów sterowania, gdyż bazował na znanym od dawna machiarzu konwencjonalnych, przekaźnikowych lub półprzewodnikowych struktur sprzętowych.

4. Sterowanie operatywne magazynów wysokościowych

Daleko posunięta automatyzacja czynności manipulacji detali i palet umożliwiła stworzenie efektywnych systemów sterowania operatywnego, realizujących bardziej złożone cele strategiczne (realizacja zamówień, planowanie zakupów, ciągła inwentaryzacja, fakturowanie transakcji) oraz taktyczne, związane z ruchem palet w magazynie (por. [1], [5], [9], [10], [13]). Systemy te automatyzują zadania wyższych warstw struktury funkcjonalnej

z rys.2.

Sterowanie operatywne magazynów wysokościowych jest obecnie realizowane na trzy różne sposoby (por. [4]):

1. Ręcznie
2. Automatycznie z wykorzystaniem specjalizowanych systemów cyfrowych oraz kart perforowanych jako nośników informacji
3. Automatycznie z wykorzystaniem systemów komputerowych oraz pamięci masowych do przechowania informacji

W przypadku sterowania operatywnego ręcznego:

- adresy półek mogą być wprowadzane przez operatora magazynu ręcznie za pomocą klawisury do układu sterowania windy, która automatycznie wyszuka zas adresowaną półkę, albo winda może być ustawiana przez znajdującego się w niej operatora zgodnie z poleceniem wyświetlonym na ekranie monitora windy.
- inwentaryzacja magazynu jest przeprowadzana ręcznie, podobnie jak wystawianie faktur i zamówień.

W przypadku sterowania operatywnego automatycznego z wykorzystaniem specjalizowanych systemów cyfrowych i kart perforowanych:

- układy sterowania wind otrzymują adresy półek z centralnej sterowni magazynu
- adresy te wraz z informacjami o inwentarzu są przechowywane na kartach perforowanych, uaktualnianych ręcznie.

Manipulacje ręczne tych kart są jednakże już w przypadku magazynu średniej wielkości (ok. 10.000 półek, 100 detali, 100 transakcji na godzinę) tak czasochłonne (por. [5]), że niweczą część potencjalnych korzyści magazynowania wysokościowego. Uzupełnienie takiego systemu sterowania operatywnego komputerem pracującym off-line dla celów prowadzenia inwentaryzacji i perforowania kart daje tylko niewielkie dodatkowe korzyści. Dalsze zwiększenie dyspozycyjności magazynu i zmniejszenie ilości zatrudnionych w nim pracowników wymaga komputerowego systemu sterowania operatywnego.

W przypadku sterowania operatywnego komputerowego:

- adresy docelowe półek przekazywane są z pamięci masowej systemu komputerowego bez pośrednictwa człowieka do układów sterowania wind. Przy wyznaczeniu tych adresów zostaje uwzględnione szereg czynników, których uwzględnienie przy poprzednich sposobach sterowania jest bardzo trudne lub w zasadzie niemożliwe (por. [3], [9], [13], [19]):
 - a/średni czas pobytu detali w magazynie. Detale przebywające krócej są rozmieszczane w półkach bliższych, detale przebywające dłużej - w półkach dalszych
 - b/miejsca pobytu tych samych detali, znajdujących się już na półkach. Dla zapewnienia dostępu do wszystkich detali w przypadku awarii którejś z wind, wskazane jest by jednakowe detale były rozmieszczone we wszystkich regałach (por. [3], [19])
 - c/ciążar i rozmiary ładowanych palet oraz aktualne obciążenie regałów
 - d/wrażliwość magazynowanych detali na temperaturę. Część magazynu może, np. posiadać półki o stabilizowanej temperaturze
 - e/niebezpieczeństwo pożaru. Część magazynu może być wyposażona w czujniki wykrywające pożar i urządzenia do gaszenia
 - f/całkowitą swobodę wyboru adresu półki w całym magazynie
 - g/całkowitą swobodę wyboru adresu półki w ograniczonym obszarze magazynu
 - h/aktualne czasy pobytu detali w magazynie. W niektórych przypadkach detale przebywające dłużej należy wyładować w pierwszej kolejności
 - i/odległość półki z wyładowywanym detalem od aktualnego miejsca postoju windy
 - j/długość kolejki palet czekających w punktach przygotowania palet przed poszczególnymi korytarzami
 - k/obecność niecałkowicie zapełnionych palet z poszukiwanymi detalami. Dla zmniejszenia zajętości miejsca w magazynie i drogi windy, rozładowywanie takich palet posiada priorytet
 - l/stosunek ilości detali w niecałkowicie zapełnionych paletach do ilości detali potrzebnych dla realizowanego zamówienia. Dla zmniejszenia drogi wind pożądany jest wybór takiej półki, która zawiera palety z poszukiwaną ilością detali.
 - m/miejsca pobytu innych detali, składających się na realizowane zamówienie. Dla zmniejszenia drogi wind i wózków kompletujących

- oraz czasu kompletacji zamówienia, połączone jest by detale te pochodziły z ograniczonej ilości sąsiadujących regałów. Zagadnienie to zostało w pracy [19] rozwiązane w oparciu o metodę całkowitoliczbowego programowania liniowego
- droga palety lub windy zostaje wyznaczona w sposób minimalizujący jej długość:
 - a. łącząc wyładunek jednych palet z załadunkiem innych, znajdujących się w pobliskich półkach
 - b. określając optymalną kolejność wyładunku palet potrzebnych do realizacji danego zamówienia.
- Celowość minimalizacji drogi wind jest w literaturze przedmiotem kontrowersji. I tak np. Gudehus (por. [11] i [20]) wykazał na drodze analizy teoretycznej, że przynosi ona znikome oszczędności, podczas gdy Kepler i Herbst por. 13 wysoko oceniają efekty jej praktycznego zastosowania. W większości istniejących rozwiązań pod "minimalizacją drogi" rozumie się wynik zastosowania szeregu heurystycznych kryteriów, co jest uzasadnione bardzo dużą złożonością i wielocelowością występujących problemów decyzyjnych
- przekazane do realizacji zamówienia zostają grupowane w sposób umożliwiający minimalizację całkowitej drogi wind, potrzebnej do wykonania tych zamówień. Optymalizację tego typu przeprowadza się z horyzontem tygodniowym, kilkudniowym lub dziennym.
 - rola człowieka zostaje ograniczona do wprowadzanie danych charakteryzujących magazynowane detale do systemu komputerowego. Jest to obecnie realizowane:
 - a. ręcznie, za pomocą klawiatury alfanumerycznej
 - b. głosem, za pomocą końcówki komputerowej dekodującej mowę ludzką. Końcówki tego typu, będące pierwszymi przemysłowymi zastosowaniami metody rozpoznawania obrazów, opracowane i wdrożone m.in. przez firmę Rapisten Technics (por. [7]), umożliwiają wprowadzenie danych z szybkością 1400 transakcji/godzinę. Ilość przekazań, która przy tym występuje, jest średnio równa 1/10 tej ilości przekazań, która występowała przy wprowadzaniu danych przez klawiaturę. Stopień zmniejszenia pracy operatora wykonującego tę czynność jest przy tym znacznie mniejszy, niżeli w przypadku korzystania z klawiatury.
 - system komputerowy przejmuje większość zadań zarządzania magazynem. Do zadań tych należy:
 - a. ciągłe inwentaryzacje zasobów znajdujących się w magazynie
 - b. wystawianie zamówień na detale, których zapasy zmalały poniżej zapasów krytycznych
 - c. przyjmowanie, rejestrowanie i sortowanie zamówień w zależności od terminów realizacji, stanu magazynu i priorytetu zamówienia. W szeregu rozwiązaniach (por. [6]) zamówienia te są wprowadzane on-line za pomocą łącza telekomunikacyjnego z nadrzędnego komputera sterującego procesem produkcyjnym, obsługiwany przez magazyn. W szeregu innych przypadkach (por. [9]) planuje się wprowadzenie zamówień on-line w przyszłości
 - d. wystawianie faktur i rachunków
 - e. wystawianie dokumentów towarzyszących dla palet
 - f. sporządzanie dziennych, tygodniowych, miesięcznych i kwartalnych sprawozdań
 - g. bieżące informowanie o stanie magazynu i możliwości realizacji zamówienia
 - system komputerowy realizuje niektóre zadania diagnostyki stanów awaryjnych warstwy sterowania napędów i warstwy koordynowania napędów
 - system komputerowy realizuje zabezpieczenia przed zagubieniem informacji o inwentarzu w przypadku swojej awarii, wprowadzając periodycznie aktualny stan inwentarza do pamięci zewnętrznej

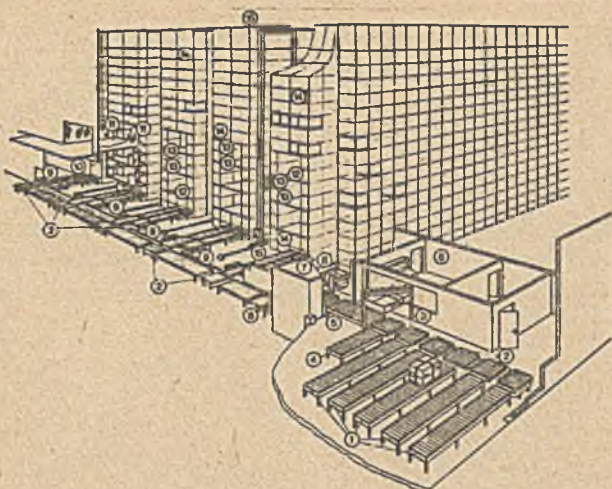
5. Oprogramowanie

Poważny koszt oprogramowania systemów komputerowego sterowania magazynów wysokościowych sprawił, że w szeregu krajach przystąpiono do opracowania uniwersalnych, modułowych systemów programowych dla tych celów. Systemy te można łatwo zaadaptować do potrzeb konkretnego magazynu i możliwości konkretnego systemu komputerowego. I tak np. największy w Europie zachodniej producent magazynów wysokościowych - RFT - już w 1973 r. przystąpił w ramach programu rządowego do opracowania modular-

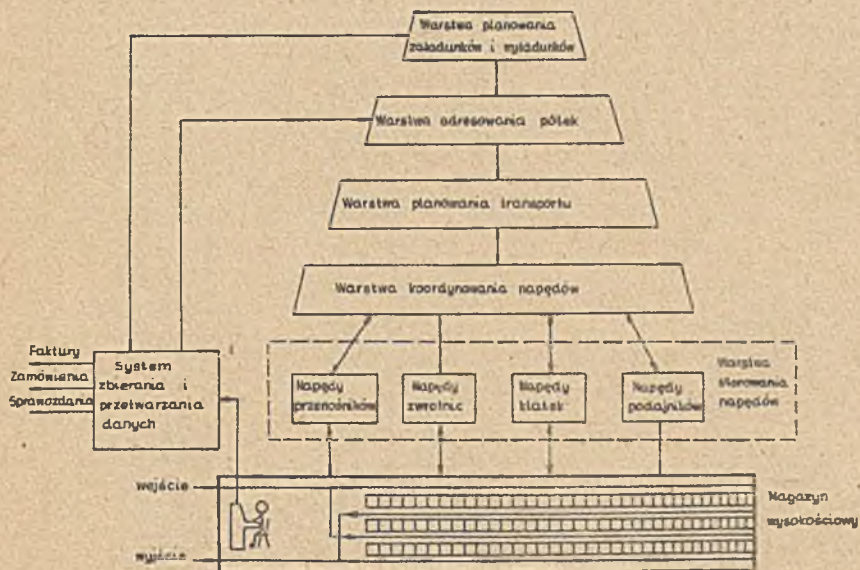
nego uniwersalnego systemu oprogramowania HRL 10 dla sterowania magazynów wysokościowych (por. 18). System ten, napisany w języku COBOL, wysiugu zestawu komputerowego o minimalnej pojemności pamięci operacyjnej równiej 64 k słów. Podobne przedsięwzięcia opisuje 10 i 5

Literatura:

- [1] Koeller D.A.: Applying Computers to Warehousing, Automation, vol.17, January 1970, pp.64-52
- [2] Zisk B.I.: New Developments in Automatic Warehouse and Material Handling Control, IEEE Trans. Ind. Gen. Appl., vol. IGA-6, Mar./Apr. 1970, pp.180-185
- [3] Stackcr Crane and Process Computer Smooth Work Flow for German Automaker, Control Engineering, May 1971, pp.54-55
- [4] Bendeich E., Külle J.: Anforderungen der Hochregallager an Automatisierungseinrichtungen, Fördern und Heben /f+h/, April 1976, s.327-329
- [5] Schmeltz K.: Planung und Abwicklung von Software-Systemen an Beispiel rechnergesteuerter Lager, f+h, April 1976, S.343-356
- [6] Computer-Directed Warehouse System Relieves Personnel by Locating Parts and Maintaining Paperwork, Computer Design, October 1977, pp.54-66
- [7] Selzer J.J.: Hochmechanisierte Distributionszentren versorgen eine Warenhauskette, f+h, April 1977, S.319-323
- [8] Bendeich E., Gantner R.: Schritte zur Analyse von Stückgut-Prozessen f+h, April 1977, S.367-372
- [9] Hermansson U.: On-line computer control in automated warehouses, w "Digital Computer Applications to Process Control-3", ISA, Pittsburgh 1971, pp. XV-4.1 - XV-4-4.
- [10] Brösamle D.: Use of a process computer to control a high-bay warehouse, 4th IFAC/IFIP International Conference on Digital Computer Applications to Process Control, part II, pp.419-433, Springer Verlag, Berlin, 1974
- [11] Gudehus T.: Lagerung und kommissionieren, f+h, November 1974, S.1446-1451
- [12] Weber R.: Lager- und Verteilzentrum für den Handel, f+h, April 1974, S.409-413
- [13] Koppier D.P., Herbst E.J.: Prozessrechnergesteuertes Hochregallager im Grosshandel, f+h, Mai 1974, S.667-671
- [14] Zai E.: Ein neuer Weg in der Lager- und Verteiltechnik: Das Robot System, f+h, Mai 1974, S.714-720
- [15] Warehouse Robots, w opracowaniu Industrial Robots, International Fluidics Services Ltd., Bedford 1972
- [16] Bendeich E., Külle J.: Prozessrechnerinsatz in Stückgutprozessen, Regelungstechnische Praxis, H.7, 1977, S.192-198
- [17] Denk H.: Programmgesteuerter Palettentransport, f+h, August 1974, S.1054-1063
- [18] Modulares Programmsystem zur Steuerung von Hochregallagern, f+h, Mhz 1974, S.280-281
- [19] Hameda W., Kawano M., Takagi T.: An optimal scheduling in an automated warehouse system controlled by a process computer, Proceedings of the IFAC 1975 6-th World Congress, Part 3, pp.3.3.1-3.3.8, ISA, Pittsburgh 1975
- [20] Gudehus T.: Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistung von Regalförderzeugen, f+h, April 1974, S.414-422
- [21] Smith C.P.: Automatic Storage/Retrieval. A versatile core for flexible processing, Automation, December 1977, pp.54-56



Rys.1. Widok komputerowo sterowanego magazynu wysokościowego produkcji firmy DEMAG (wg. 13): 1.Podajniki wejściowe, 2.Zwrotnice, 3.Punkt kontroli rozmiarów palet, 4.Podajnik wyprowadzający, 5.Podajnik wejściowy palet dużych, 6.Centralna sterownia, 7.Winda piętrowa, 8.Winda dla palet dużych, 9.Przesuwnik, 10.Punkt przygotowania palet, 11.Pomost wyjściowy, 12.Pomost kompletacji zamówień, 13.Punkt kompletacji zamówień, 14.Podajniki, 15.Winda ładująco-rozładowująca



Rys.2.Struktura funkcjonalna systemu sterowania magazynu wysokościowego

Nazwa warstwy	Cel sterowania warstwy	Parametry przekazane do warstwy niższej	Parametry przekazane z warstwy wyższej	Działanie sterujące
Warstwa sterowania napędów	Doprowadzenie napędów przenośników, zwrotnic, maszyn paletyzujących, klatek, podajników i in. do pożądanego stanu pracy	-----	Polecenia rozruchu i wyłączenia napędów, prędkości napędów	Załączenie, rozruch, hamowanie i wyłączenie napędów, blokada i zabezpieczenie napędów
Warstwa koordynowania napędów	Synchronizacja współpracy napędów w sposób umożliwiający realizację poszczególnych zadań	Sekwencje sygnałów rozruchu i wyłączenia napędów	Wzory paletyzacji, wzory załadunku na półkach, droga palety na urządzeniach transportu poziomego, droga klatki	-----
Warstwa planowania transportu	Wyznaczenie optymalnej drogi palety w systemie transportu poziomego i pionowego, wyznaczenie optymalnej drogi klatki	Parametry drogi palety i klatki	Adres półki docelowej	-----
Warstwa adresowania półek	Wyznaczenie optymalnego adresu półki docelowej	Adres półki docelowej	Kod zawartości wprowadzonej palety, kod detalu wprowadzonego z półki	-----
Warstwa planowania załadunków i wyładunków	Wyznaczenie optymalnej kolejności realizacji zamówień i przyjęć	Kody zawartości wprowadzanych palet, kody detali wprowadzonych z półek, kolejność wprowadzenia i wyprowadzenia	Plik zamówień, prognozy zapotrzebowania, stan inwentarza	-----

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКИМИ Складскими помещениями с применением электронной вычислительной машины.

ОБЗОР ПРОБЛЕМАТИКИ

Резюме

В работе анализируется современное состояние развития системы управления высокими складскими помещениями с особым обращением на функциональные структуры этих систем, а также на вопросы машинной автоматизации оперативного управления.

COMPUTER CONTROL SYSTEMS FOR HIGH-STORAGE WAREHOUSES. A SURVEY.

Summary

The paper presents the actual state of development of control systems for high-storage warehouses with special attention to the functional structure of these systems and computer operative control.