

Streszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Eweliny Chołodowicz pt. "Sterowanie procesem dystrybucji produktów o zróżnicowanej trwałości w warunkach zmiennego popytu i opóźnień dostaw z uwzględnieniem niepewności układu oraz wykorzystaniem metod optymalizacji jedno- i wielokryterialnej" w formie zbioru powiązanych tematycznie artykułów naukowych

Zwiększająca się złożoność łańcuchów dostaw oraz wielość strumieni przepływu towarów powoduje ciągłą potrzebę doskonalenia metod sterowania systemami magazynowymi. Te systemy, uwzględniając szereg aspektów ekonomicznych i procesowych, dążą do minimalizacji kosztów. Wykorzystują one szerokie spektrum danych oraz opierają się na dogłębnej analizie dynamiki procesów, aby optymalizować działanie w zmieniających się warunkach operacyjnych i rynkowych. Systemy logistyczne są coraz bardziej narażone na niepewności i ryzyka, co wynika bezpośrednio ze wzrostu liczby kanałów wymiany produktów i informacji, a także z ciągłych zmian w ich dynamice. W obliczu tych wyzwań, kluczowe staje się wsparcie decyzji dotyczących przepływu produktów w systemach logistycznych.

Wiele modeli systemów magazynowych opiera się na uproszczonych założeniach takich jak liniowość elementów modelu, stałe opóźnienia i trwałość produktów. Jednakże w rzeczywistych systemach logistycznych opóźnienia są zmienne, a produkty mogą podlegać procesom pogarszających ich jakość. Elementy strukturalne systemów logistycznych są nieliniowe, na przykład magazyny mają ograniczoną (i nieujemną) przestrzeń magazynową, a dostawcy oraz zasoby w produkcji są ograniczone, co skutkuje niemożnością zastosowania dowolnych sygnałów sterujących. Modele statyczne nie zapewniają efektywnej analizy systemów magazynowych z uwzględnieniem opóźnień i zjawisk w nich zachodzących. W miarę rozbudowy struktur systemów logistycznych, modele dynamiczne stały się bardziej adekwatne, umożliwiając kompleksową analizę procesów w nich zachodzących. Biorąc pod uwagę podobieństwa między systemami stricte inżynierskimi, a łańcuchem dostaw, automatyka, zwłaszcza teoria sterowania, może dostarczać narzędzi do tworzenia metod zapewniających optymalizację procesów logistycznych.

Prezentowany zbiór publikacji, stanowiący rozprawę doktorską, zawiera 12 artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowych oraz materiałach z międzynarodowych konferencji. Poruszane kwestie obejmują modelowanie systemów magazynowych, sterowanie dystrybucją produktów oraz optymalizację tego procesu w obliczu zmienności i niepewności opóźnień, popytu oraz procesu psucia. W ramach modelowania systemu magazynowego opracowano dwa modele. Pierwszy to liniowy, dyskretny, dynamiczny model matematyczny systemu magazynowego z produktami trwałymi, uwzględniający niestacjonarność opóźnień związanych ze

stosowanymi środkami transportu. Drugi model został stworzony w celu rozwiązania problemu zarządzania przepływem produktów nietrwałych. W porównaniu do pierwszego modelu, ten uwzględnia polityki FIFO i LIFO.

W kontekście sterowania i optymalizacji systemów magazynowych, początkowe działania skoncentrowano na projektowaniu układów sterowania dedykowanych do długich, zmiennych opóźnień oraz zmian popytu. Następnie skoncentrowano uwagę na opracowywaniu systemów sterowania dedykowanych do dystrybucji produktów nietrwałych, biorąc pod uwagę niepewności związane z procesem psucia się, opóźnieniami dostaw oraz zmiennością popytu. W prezentowanych publikacjach zaproponowano metody sterowania, w tym metodę z regulatorem PD oraz zmodyfikowanym predyktorem Smitha, jak również modyfikacje klasycznych metod: cyklu zamawiania z adaptacyjnym maksymalnym poziomem zapasu oraz punktu zamawiania z adaptacyjnym poziomem zamówień. Kolejno, w odpowiedzi na problem niepewności procesu psucia, zaprojektowano system sterowania wykorzystujący sieci neuronowe, który następnie został poddany procesowi optymalizacji odpornej. Ostatnia praca w zbiorze publikacji prezentuje odporny regulator neuronowo-rozmyty, który posiada rozmyty estymator do regulacji liczby generowanych zamówień, uwzględniając prognozowaną niepewność popytu oraz jego różnorodne wzorce: przerywany, nierównomierny, równomierny i nieregularny. Do weryfikacji opracowanych metod przeprowadzono analizy porównawcze układów sterowania z wykorzystaniem danych z rzeczywistego systemu magazynowego.

Zaproponowane metody sterowania umożliwiają automatyczną kontrolę zamówień dla zapasów ze znaczącym 28-dniowym opóźnieniem i zmiennym zapotrzebowaniem. Przedstawione analizy wykazują, że proponowane metody sterowania osiągają lepsze wyniki niż klasyczne metody. Opracowany odporny regulator neuronowy umożliwia redukcję funkcji kosztu o około 9% w porównaniu z regulatorem neuronowym. Z kolei, zaproponowany odporny regulator neuronowo-rozmyty znacząco przewyższa klasyczną metodę zamów-do-poziomu pod względem wskaźnika poziomu usług (ang. fill rate). Największe korzyści są widoczne w scenariuszach charakteryzujących się nierównomiernym popytem, gdzie wskaźnik poziomu usług wzrasta o 14%.

Osiągnięte wyniki potwierdzają, że zastosowanie dyskretnych modeli dynamicznych wraz z metodami sterowania, wspieranymi przez nowoczesne techniki optymalizacji jedno- i wielokryterialnej oraz metody sztucznej inteligencji, umożliwia poprawę jakości zarządzania zamówieniami w systemach dystrybucyjnych, szczególnie w warunkach niepewności związanych z opóźnieniami dostaw i zmiennym popytem rynkowym.