



- [2] Candea, G. Automated software testing as a service [Text]: / Proceedings of the 1st ACM Symposium on Cloud Computing (Indianapolis, USA, 10-11 June 2010) / G. Candea, S. Bucur, C. Zamfir, 2010. - pp. 155–160.
- [3] Kudryavceva E. Avtomatizirovanoe testirovanie web-interfaisov. [Automated testing in web applications], Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) /Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)/, GIAB, ISSN 0236-1493, 2014. - pp. 353-356 [In Russian]
- [4] “Visual Regression Testing with PhantomCSS”, [Online], Available: <https://css-tricks.com/visual-regression-testing-with-phantomcss/>, [Accessed: 14-Jan-2018]
- [5] “Selenium WebDriver”, [Online], Available: <https://kreisfahrer.gitbooks.io/selenium-webdriver/content/index.html>, [Accessed: 16-Jan-2018]

УДК 664.724:005.591.6:005.936.41

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗАПАСІВ ЗЕРНА НА ХЛІБОПРИЙМАЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ: КОНЦЕПТУАЛЬНА, МАТЕМАТИЧНА ТА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛІ

Світлий І.М.

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

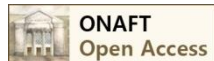
ORCID: [orcid.org/0000-0002-6181-0475](https://orcid.org/0000-0002-6181-0475)

E-mail: [switiy@yahoo.com](mailto:switiy@yahoo.com)

Copyright © 2017 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*Анотація:* Проаналізовано сучасні перспективи України як зернової держави в контексті зовнішньої та внутрішньої торгівлі. Означено неефективне використання наявних потужностей зернових підприємств як основу нестачі потужностей. Обґрунтовано необхідність підвищення ефективності рішень, що мають прийматися персоналом, за рахунок інтелектуальної підтримки прийняття рішень, як спосіб підвищення ефективності роботи зернових підприємств. Для вирішення задачі підтримки прийняття рішень та для попередньої оцінки ефективності запропонованих рішень означено задачу побудови моделі процесів накопичення та витрачання запасів зерна, що має стати складовою моделі зберігання запасів зерна на підприємстві. Запропоновано концептуальну модель створення та витрачання запасів зерна. Основу моделі склали основні положення теорії черг. При цьому основні етапи технологічного процесу накопичення та витрачання запасів зерна подано як систему масового обслуговування. Основними параметрами концептуальної моделі означено рівень запасів зерна, кількість обслужених транспортних засобів. Основними факторами, що впливають на означені параметри системи, є інтенсивність вантажопотоків, розмір та час обслуговування заявки. Запропонована математична модель динаміки рівню запасів зерна, що залежить від інтенсивності вхідного та вихідного вантажопотоку. Інтенсивність вантажопотоку напряму корелює з продуктивністю поточно-транспортної системи підприємства. Імітаційну модель запасів зерна було отримано для прикладу зернового терміналу. При цьому поточно-транспортна система терміналу розглянута як багатозадачна одно-канальна система масового обслуговування. З отриманою моделлю проведено серію машинних експериментів. Також було окреслено основні перспективи розвитку та використання моделі для вирішення задач удосконалення алгоритмів керування запасами зерна.

*Abstract:* The current prospects of Ukraine as a grain state in the context of foreign and domestic trade are analyzed. The inefficient use of available capacities of grain enterprises as a basis for lack of capacity is indicated. The necessity of increasing the efficiency of the decisions to be taken by the personnel, due to intellectual support of decision-making, as a way



*to improve the efficiency of grain enterprises is substantiated. To solve the problem of decision support and for the preliminary assessment of the effectiveness of the proposed solutions, the task of constructing a model of the processes of accumulation and consumption of grain stocks, which should become part of the model of storage of grain stocks at the enterprise, has been identified. The conceptual model of creation and consumption of grain stocks is proposed. The basis of the model were the main provisions of the theory of queues. In this case, the main stages of the technological process of accumulation and consumption of grain stocks are presented as a system of mass maintenance. The basis of the model were the main provisions of the theory of queues. In this case, the main stages of the technological process of accumulation and consumption of grain supplies are presented as a system of mass maintenance. The main parameters of the conceptual model are the level of grain stocks, the number of serviced vehicles. The main factors influencing the system's specified parameters are the traffic volume, the size and the time of service of the application. The mathematical model of the dynamics of the level of grain reserves is proposed, which depends on the intensity of the input and output cargo flows. The intensity of the traffic flow correlates directly with the productivity of the current-transport system of the enterprise. The simulation model of grain supplies was obtained for the example of a grain terminal. In this case, the current-transport system of the terminal is considered as a multi-phase one-channel mass service system. A series of machine experiments was carried out with the obtained model. The main perspectives of the development and use of the model for solving the problems of improving the algorithms of grain stock management were also outlined.*

**Ключові слова:** запаси зерна, зерновий елеватор, система масового обслуговування, модель.

**Keywords:** grain stocks, grain elevator, mass service system, model.

### Вступ

Україна – зернова держава. Зернові для нашої країни є основою продовольчої безпеки та експортним товаром, що користується значним попитом. Так за даними Держкомстату України [1], у 2017 році у внутрішньому товарному обороті нашої країни на зернові приходить 8,3% від загального оптового товарообороту, що є найвищим показником по країні. А у структурі експорту на зернові приходить майже 20% від загального експортного обсягу країни. Зернові займають друге місце в структурі валютних надходжень України, поступаючись лише надходженням від експорту чорних металів. Отже слід зазначити, що торгівля зерном як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках є бізнесом вельми прибутковим.

З іншої сторони, аналіз роботи зерноприймальних, зернопереробних та зерно перевантажувальних підприємств виявив значні резерви підвищення ефективності їх роботи. На сьогодні інтенсивна робота таких підприємств пов'язана з утворенням величезних черг автотранспортних засобів, а значить і ненормативного їх простоювання. Зерноперевантажувальні термінали планують свою роботу з коефіцієнтом використання транспортних механізмів у часі 0,5. Заниженим є і коефіцієнт використання ємностей. Це, в свою чергу, призводить до зменшення оберненості підприємства, а значить і до зниження економічної ефективності його роботи. Перераховані вище явища є наслідком неефективного керування запасами зерна в рамках конкретного підприємства.

Попри величезну кількість перевантажувальних терміналів, у нас в країні відзначається суттєва нестача потужностей з відвантаження зерна на експорт. Вирішують цю проблему шляхом побудови нових потужностей ціною величезних капітальних затрат. А доцільно б було більше уваги приділити підвищенню ефективності роботи вже існуючих потужностей. І значні резерви є в підвищенні ефективності керування запасами зерна шляхом використання оптимального керування ними.

Аналіз технологічних схем підприємств, робота яких пов'язана зі створенням, зберіганням та використанням запасів зерна, [2] дозволив зробити висновок, що ефективність роботи таких підприємств суттєвим чином залежить від ефективності прийнятих та реалізованих рішень персоналу на різних етапах технологічного процесу. Тому підвищення ефективності керування такими процесами зводиться до підвищення ефективності підтримки прийняття рішень виробничого персоналу.

Основа підтримки прийняття рішень виробничого персоналу складає оцінка корисності можливих варіантів рішень, що ґрунтується на прогнозуванні стану об'єкту прийняття рішень [3]. Для прогнозування стану будь-якого об'єкту і зберігання запасів зерна зокрема слід розробити математичну модель процесів. Для прогнозування стану запасів зерна слід розробити модель їх створення, зберігання та використання. Але модель має вирішувати не лише задачі прогнозування. Вона повинна стати базою для розробки нових алгоритмів керування, а значить повинна бути адаптована до проведення машинних експериментів для оцінки ефективності існуючих та запропонованих алгоритмів керування.

Метою керування зберіганням запасів зерна є підвищення ефективності роботи підприємства за рахунок зменшення ненормативних витрат від простоювання транспортних засобів у черзі, за рахунок збільшення ефективності використання транспортуючих механізмів та ємностей, зменшення втрат в масі та якості зерна при зберіганні, підвищення ефективності обробки зерна. Одним з напрямків досягнення поставленої мети є підвищення ефективності керування рівнем запасів. Для вирішення задачі керування створенням та витрачанням запасів зерна слід розробити модель динаміки рівню запасів. Саме цю задачу і вирішено в цій роботі.

Першим етапом створення моделі запасів зерна є створення концептуальної моделі, тобто моделі, що на структурному рівні відображає взаємозв'язок між параметрами стану об'єкту, потенційними керуючими діями та збуреннями. Другим етапом має стати отримання математичних моделей та ідентифікація їх параметрів. Для



підготовки математичних моделей до машинних експериментів слід реалізувати математичні моделі у вигляді імітаційної моделі та провести з цією моделлю серію експериментів для оцінки відповідності її наявним експериментальним даним.

### Концептуальна модель створення та витрачання запасів зерна

Для опису процесів динаміки запасів зерна зручно використовувати понятійний апарат теорії черг або теорії масового обслуговування [3]. У відповідності до цієї теорії (рис. 1) транспортні засоби, що поставляють зерно, будемо ототожнювати з поняттям «заявка». Основною характеристикою потоку заявок є його інтенсивність, тобто кількість заявок в одиницю часу. Цей параметр є випадковим. Після появи у системі кожна заявка розміщується в чергу. Надалі заявка надходить на обслуговування. На ХПП цей процес здійснює технологічна послідовність операцій: контроль якості – зважування – розвантаження – поточно-транспортна система елеватора, основною характеристикою якої є час обслуговування заявки. Цей параметр залежить не стільки від продуктивності ПТС та розміру заявки, що є величинами детермінованими, як від швидкості прийняття рішень обслуговуючим персоналом та практичних дій цього персоналу, конструктивних особливостей заявки. При цьому людський фактор є вирішальним у стохастичності часу обслуговування.



Рис. 1 – Концептуальна модель системи масового обслуговування

Вихідний вантажопіток зерна з зерносховища є, в принципі, детермінованим. Хоча у випадку за хлібоприймальним підприємством, лінійними елеваторами, перевантажувальними терміналами він може носити і випадковий характер. Інтенсивність вихідного вантажопотоку також в значній мірі залежить від ефективності прийняття управлінських рішень.

Слід зазначити, що в класичній теорії управління запасами поповнення запасів та їх витрачання може бути миттєвим. У випадку ж з запасами зерна це неможливо і обмежено продуктивністю ПТС.

При керуванні запасами ключовим параметром є рівень запасів [4], тому в якості ключового параметру для запасів зерна у зерносховищах приймемо рівень запасів ( $H$ ). Цей параметр визначається вхідними та вихідними вантажопотоками  $I$  та  $O$ .

Слід зазначити, що рівень запасів зерна у рамках підприємства не може бути перевищеним вище максимально допустимого значення або заниженим. Добиваються цього впливом на вхідні та вихідні вантажопотоки. Перевищення рівнем запасів максимально допустимого значення призводить до зупинки приймання зерна. Заниження рівню запасів зерна нижче гранично допустимого значення призведе до необхідності припинення відвантажування зерна. Все це може викликати накопичення черги транспортних засобів, штрафних санкцій із-за ненормативного простоювання транспорту, необхідності зупинки виробничих ліній та до недоотриманого прибутку підприємства.

Окрім рівню запасів важливими параметрами системи керування запасами зерна є довжина черги транспортних засобів  $L_q$ , кількість заявок, що надійшли,  $L$  та кількість обслужених заявок  $L_O$ . Окрім вхідного потоку  $I$  ці параметри також визначатимуться розміром заявки (її тонажем)  $W_3$  та часом обслуговування  $T_O$  однієї заявки.

Отже концептуальна модель рівню запасів зерна матиме вигляд, наведений на рис. 2.

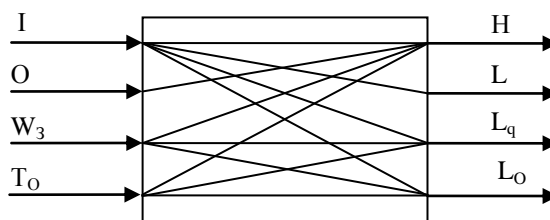


Рис. 2 – Концептуальна модель рівню запасів зерна

Слід відзначити, що вищеозначена концептуальна модель не є кінцевим варіантом, а лише етапом. Тому в майбутньому, при визначенні чергових важливих аспектів впливу на процеси, пов'язані з запасами зерна, концептуальна модель буде розвиватися та ускладнюватися.

### Математична модель запасів зерна

В процесі приймання зерна на підприємство одним з вимірюваних параметрів для кожної партії зерна є її маса. Також для кожної партії зерна контролюють ряд показників якості і зокрема натуру, або насипну густину зерна. Прийнятну партію зерна розміщують в ємності і саме за ступенем наповненості цих ємностей і судять про такий параметр, як рівень запасів. Отже рівень запасів зерна доцільно розглядати в розмірності  $[H] = \text{м}^3$ . Тобто, під рівнем запасів зерна будемо розуміти об'єм зерна, розміщеного у зерносховищах підприємства.



З точки зору динаміки об'єкт керування за таким параметром, як об'єм, властивості самовирівнювання не має, тому у найпростішому випадку його можна описати інтегральним рівнянням виду:

$$H(t) = \int (k_1 \cdot I(t) - k_2 \cdot O(t)) dt$$

Слід зазначити, що вхідний та вихідний вантажопоток тісно зав'язаний на розмір заявки. При цьому швидкість зміни рівню запасів буде залежати від продуктивності поточно-транспортних ліній подачі та відбору зерна. Як правило, розмір заявок на відвантаження зерна значно перевищує розмір заявок на поповнення запасів. Наприклад, розмір партії зерна на переробку складає 600 т, розмір заявки з відвантаження зерна на судно – 20...50 тис. т. Тому вихідний вантажопоток  $O(t)$  практично неперервним. Розмір заявок на поповнення запасів складає від 5...70 т (при поставках зерна автомобільним або залізничним транспортом). В моделі поповнення запасів зерна слід враховувати таке поняття, як час обслуговування заявки  $T_O$ , який завжди перевищує час розвантаження  $T_P$ . Слід враховувати що в час  $T_O - T_P$  поповнення запасів не відбувається. Фізично цей інтервал часу може бути досить значним і головним чином визначається людським фактором.

Розмір заявок (тонаж транспортних засобів) слід вважати величиною випадковою. Він може змінюватися в певному діапазоні дискретним чином. Наприклад, очікуваними є автомобілі з вантажопідйомністю 5, 15, 25, 30 та 35 т. Закон розподілення розміру заявок – рівномірний.

Вхідний вантажопоток  $I(t)$  спочатку є величиною постійною, що дорівнює продуктивності поточно-транспортної системи ГПТС (на час розвантаження  $T_P$ ), а потім має дорівнювати нулю (на час  $T_O - T_P$ ). Надалі здійснюється перехід до нової заявки. Математичну модель цього процесу можна сформулювати наступним чином:

$$I(t) = \begin{cases} G_{ПТС} \cdot t \leq T_P \\ 0, T_P < t \leq T_O \end{cases}$$

Час розвантаження транспортного засобу залежить від розміру заявки  $W_3$  та від продуктивності поточно-транспортної системи ГПТС і має визначитися наступним чином:

$$T_P = W_3 / G_{ПТС}$$

Важливими параметрами моделі є час обслуговування та інтервал між заявками, що визначає інтенсивність вхідного вантажопотоку. Ці параметри є величинами випадковими та визначаються нормальним законом розподілення.

Для підготовки математичних моделей до проведення машинних експериментів слід отримати математичні моделі подати в формі імітаційної моделі.

### Імітаційна модель створення та витрачання запасів зерна

Імітаційна модель включає модель черги заявок та модель динаміки рівню запасів зерна. Модель черги заявок включає модель надходження заявок  $zayavka$  з урахуванням моделі інтервалу між заявками, модель обслуговування заявок  $zayavka1$  з урахуванням моделі часу обслуговування та власне модель черги заявок  $line$ . Модель рівню запасів включає в себе модель поповнення запасів з урахуванням моделі тонуажу заявки, часу на розвантаження та часу обслуговування, а також модель витрачання запасів зерна. Структурна схема моделювання, що відповідає імітаційній моделі у середовищі імітаційного моделювання, наведена на рис. 3.

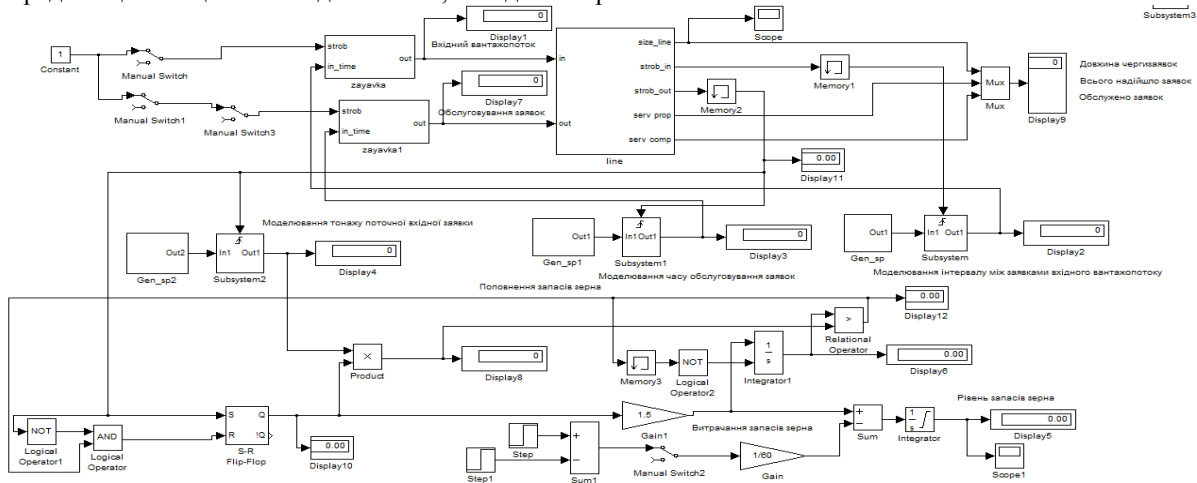


Рис. 3 – Структурна схема моделювання динаміки запасів зерна

### Машинні експерименти з моделлю динаміки запасів зерна

Машинні експерименти з отриманою моделлю проводилися з метою оцінки відповідності моделі фізичним процесам, що відбуваються при створенні та витрачанні запасів зерна. На рис. 4 наведено результати моделювання зміни рівню запасів зерна при їх поповненні на протязі 2500 хв роботи системи, а на рис. 5 – за час обслуговування трьох заявок.

Машинні експерименти з одночасного поповнення та витрачання запасів зерна наведено на рис. 6.



Як видно з результатів моделювання, модель у достатній мірі відображає суть досліджуваних процесів.

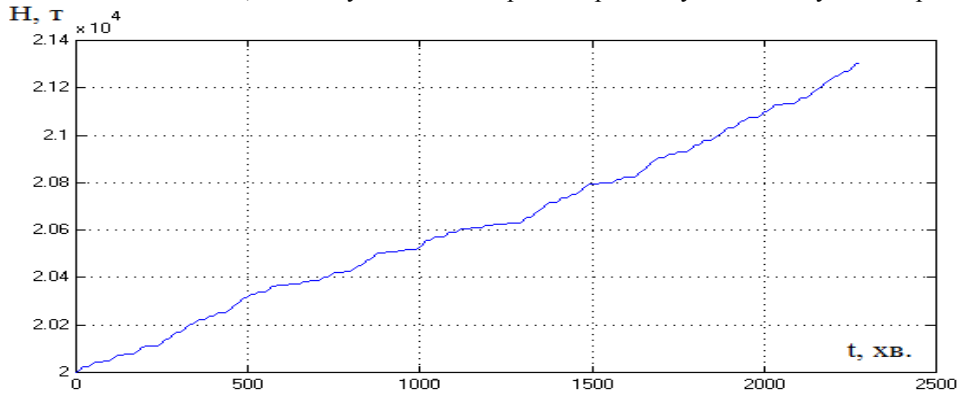


Рис. 4 – Машинні експерименти з поповнення запасів зерна та тривалому інтервалі часу

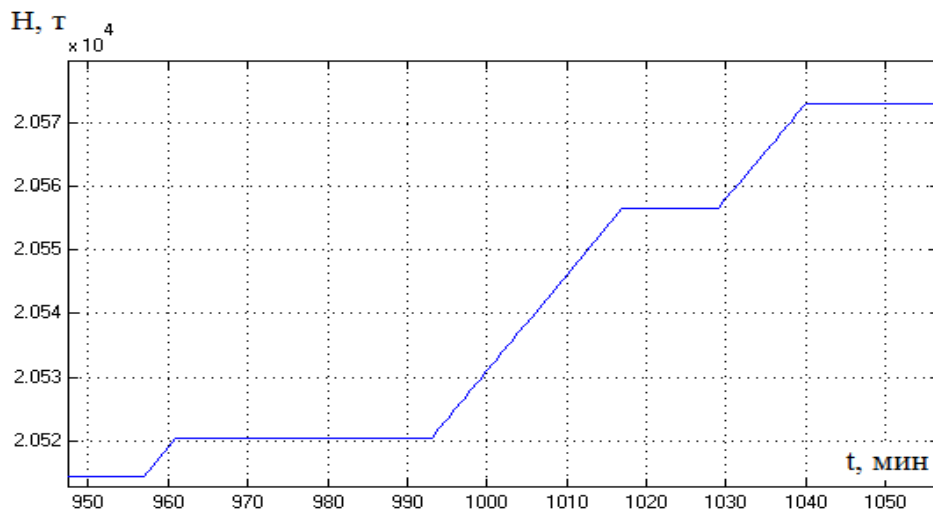


Рис. 5 – Машинні експерименти з поповнення запасів зерна та короткому інтервалі часу

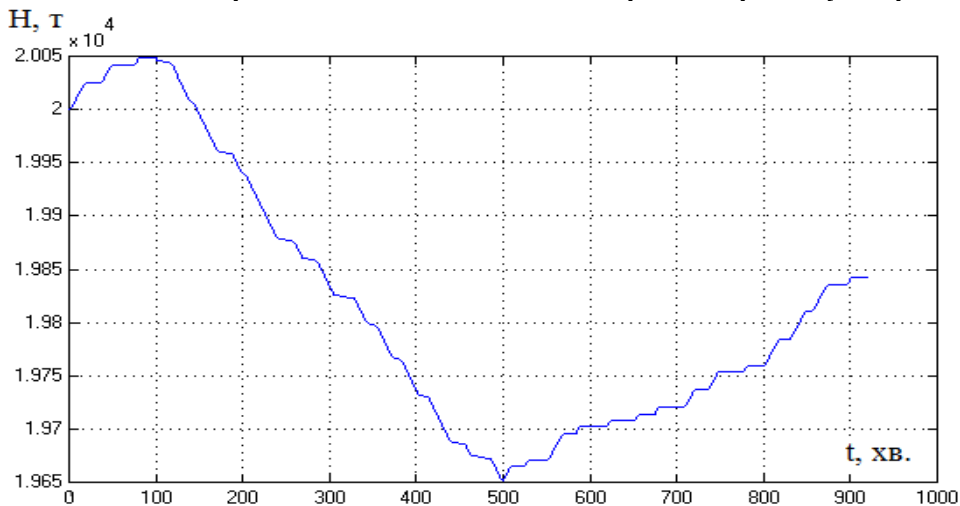


Рис. 6 – Машинні експерименти з поповнення та витрачання запасів зерна та тривалому інтервалі часу

### Перспективи використання моделей

Отримані моделі в подальшому можуть використовуватися для задач прогнозування рівню запасів зерна та розміру черги заявок при роботі системи керування. Також моделі можуть використовуватися для дослідження варіантів систем керування і зокрема систем підтримки прийняття рішень як на тривалих, так і на коротких інтервалах часу. Прикладом такого використання може слугувати схема, наведена на рис. 7. Елемент Subsystem4 є керуючим елементом, який дає команду на запуск поточно-транспортної системи при досягненні числом заявок 5 і вимкнення системи при повному вичерпанні заявок з черги.

Слід зазначити, що в імітаційній моделі ПТС елеватора була розглянута, як багатофазна одноканальна система масового обслуговування. Тому напрямком розвитку моделі слід відзначити розвиток у сторону багатоканальності.

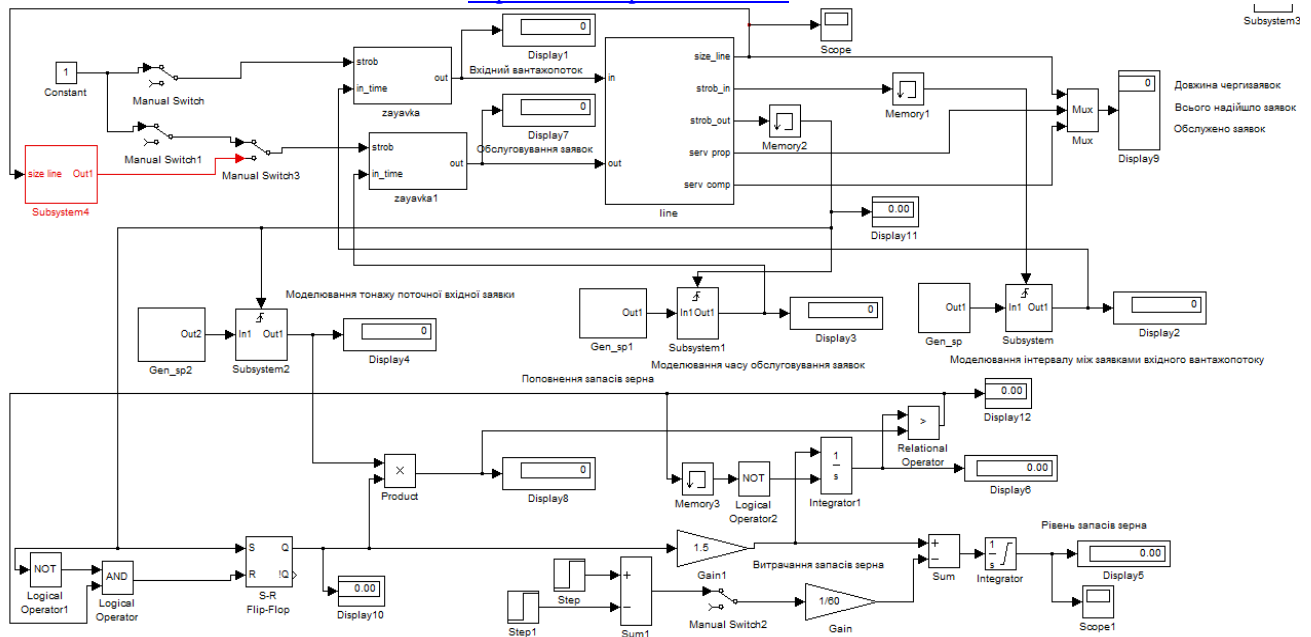


Рис. 7 – Структурна схема моделювання системи керування створення запасів зерна

### Висновки

Отримані та реалізовані моделі створення та витрачання запасів зерна є напрацюванням, що у майбутньому складе основу блоку прогнозування рівню запасів зерна та розміру черги заявок у системі підтримки прийняття рішень персоналу елеватора зернового, зернопереробного, харчового або хімічного підприємства, робота якого пов'язана зі створенням запасів зерна та насіння олійних культур.

Отримана модель також дозволить оцінити ефективність традиційних та удосконалених алгоритмів керування запасами зерна, зменшити імовірність помилки при розробці системи.

Головною метою, яку буде досягнуто з використанням вищезначених моделей буде підвищення ефективності рішень, які має приймати персонал зерносховища зі створення та витрачання запасів зерна. Головним чинником підвищення ефективності рішень буде можливість збільшення коефіцієнту використання ємностей та поточно-транспортної системи зерносховища у часі без загрози ненормативного простоювання зовнішнього транспорту, пов'язаного з недосконалістю системи керування запасами зерна. А це, в свою чергу, дозволить збільшити оборотність зерносховища та зменшити імовірність штрафних санкцій із-за простоювання та неефективного використання зовнішнього транспорту.

### Література

- [1] <http://www.ukrstat.gov.ua/> - офіційний сайт Державної служби статистики України.
- [2] Платонов П.Н., Пунков В.Б., Фасман В.Б. Элеваторы и склады. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 319с.
- [3] Исследовательские операции. В 2-х т. Т. 1: Методологические основы и математические методы / Пер. с англ.; Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 712с.
- [4] Дж. Букан, Э. Кенигсберг. Научное управление запасами. Пер. с англ. Коваленко Е.Г., под ред. Гнеденко Б.В. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1967. – 423 с.

### References

- [1] "ofitsiyniy sayt Derzhavnoyi sluzhbi statistiki Ukrayini." [Online]. Available: <http://www.ukrstat.gov.ua>
- [2] P.N. Platonov, V.B. Punkov and V.B. Fasman, "Elevatory i sklady," 3-e izd., pererab. i dop, M.: Agropromizdat, 319 s., 1987
- [3] "Issledovatel'skie operatsii", V 2-h t. T. 1: Metodologicheskie osnovy i matematicheskie metody / Per. s angl.; Pod red. Dzh. Moudera, S. Elmagrabi, – M.: Mir, 712s., 1981
- [4] Dzh. Bukan and E. Kenigsberg, "Nauchnoe upravlenie zapasami", Per. s angl. Kovalenko E.G., pod red. Gnedenko B.V. – M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 423 s., 1967.