

Тема 16 Надійність функціонування транспортних систем

План теми

1. Показники технологічної надійності транспортних систем.	1
2. Моделювання відмов у системах масового обслуговування	7
3. Моделювання ризиків дискретно-подієвим (Discrete-event) методом	10
4. Дослідження відмов (відмовостійкості) та ризиків функціонування систем масового обслуговування.	13

1. Показники технологічної надійності транспортних систем.

Показники технологічної ефективності. Критеріями ефективності організації транспортних процесів та систем як правило виступають якісні показники. Наприклад: простої вагонів на станціях, оборот вантажних вагонів, маршрутний (дільничний) оборот локомотивів. Важливим є «розкладення» зазначених показників на складові:

- «продуктивний» та «непродуктивний» простій. Наприклад загальний час обороту вагонів складається із 82 – 90 % простоїв, та 10 - 18 % руху. З 82 – 90 % простоїв приблизно 60 – 70% «непродуктивний» простій в очікуванні технологічних операцій через зайнятість елементів та пристроїв обслуговування (колій, локомотивів та ін.)

- на інфраструктурну та «неінфраструктурну» складові. Наприклад оборот вантажного вагону складається із часу знаходження на під'їзних коліях (приватна територія, відповідальність власника колій, вагонів) і коліях загального користування (відповідальність залізниці).

2

Елементи рішення – параметри, сукупність яких утворює рішення: числа, вектори, функції, фізичні ознаки і т. д. Якщо елементами рішення можна розпоряджатися в певних межах, то задані умови / обмеження фіксовані відразу і не можуть бути порушені. До таких умов відносяться наявні засоби або ресурси – матеріальні, технічні, людські – які є в наявності або інші обмеження, що накладаються на рішення. Їх сукупність формує безліч можливих рішень.

Ризик менеджмент (risk management), управління ризиками – процес прийняття та виконання управлінських рішень, спрямованих на зниження ймовірності виникнення несприятливого результату і мінімізацію можливих втрат події, викликаних її реалізацією.

Ризик – середні, кількісні (в натуральному вимірі) втрати на одну подію. Тобто середня (можлива) втрата *взагалі для кожної події*:

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} Z_{pi}}{n}, \quad (1)$$

$\sum_{i=1}^{n_p} Z_{pi}$ - розмір втрати, в натуральному вираженні, і-го події, що призвів до втрати;

n_p - кількість подій, які призвели до втрат;

n - кількість всіх подій.

До основних нормативів системи забезпечення надійності в Україні належать:

1. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
2. ДСТУ 2740-94 Надійність техніки. Системи технологій. Терміни та визначення.

Відповідно до даних норм роз'яснюються основні терміни та розуміння надійності технічних засобів. Враховуючи особливості та специфіку експлуатації залізничних транспортних систем (далі ЗТС), доцільним є

3

зробити уточнення (із наведенням прикладів) щодо застосування положень зазначеного ДСТУ до залізничного транспорту:

1) об'єкт (item): система (розвинений залізничний вузол, залізнична станція, напрямок, дільниця, поїзд, система організації вагонопотоків, графік руху поїздів, технологічний процес роботи станції та ін.), споруда (залізнична колія, шляхопровід, насип, сортувальна гірка та ін.), машина (локомотив, перевантажувальний пристрій та ін.), підсистема (парк станції, верхня будова колії, транзитна технологічна лінія технічної станції, вокзал та ін.), апаратура (пульт-табло чергового по станції, вагонні ваги, дросель трансформатор та ін.), функціональна одиниця (залізнична станція, бригада технічного огляду, локомотивна бригада та ін.), пристрій (світлофор, вагоно-уповільнювач та ін.), елемент чи будь-яка їхня частина (вагон, колісна пара та ін.), що розглядаються з погляду надійності як самостійна одиниця. В загальному розумінні, для залізничного транспорту, під об'єктом можна розуміти залізничну систему;

2) функція об'єкта (function): передбачена функція виконання ЗТС у процесі експлуатації відповідно до нормативної та / або проектної документації. Наприклад:

а) об'єкт – сортувальна станція, функція – масове розформування та формування поїздів відповідно до діючого плану формування поїздів,

б) об'єкт – транзитна технологічна лінія технічної станції, функція – переробка транзитного поїздопотoku,

с) об'єкт – локомотивне депо, функція – екіпірування, технічне обслуговування та деповський ремонт локомотивів;

3) надійність (dependability): властивість ЗТС зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах застосування. Зазначене положення визначає загальну ідею прикладного застосування теорії

4

надійності до ЗТС, оскільки є безрозмірною категорією і передбачає використання конкретних показників, наприклад, безвідмовність та відмови;

4) безвідмовність (reliability (performance)): властивість ЗТС виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку. Для практичного застосування більше значення має імовірність безвідмовної роботи (reliability function; survival function), що для технологічного процесу ЗТС буде мати інше значення, ніж передбачено в відповідному ДСТУ 2860-94: імовірність того, що протягом певного проміжку часу відмова ЗТС не виникне;

5) відмова (failure): подія, яка полягає у втраті ЗТС здатності виконувати потрібну функцію. Зазначений термін утворює множину різновидів відмов, серед яких суттєве значення для залізничних транспортних систем мають:

a) часткова відмова (partial failure): відмова, що призводить до стану ЗТС, в якому неможливе виконання частки функцій – вихід з ладу однієї з колій приймально-відправного парку;

b) повна відмова (complete failure): відмова, при якій ЗТС не здатна виконувати жодної з функцій – зайнятість всіх колій парку приймання при надходженні поїздів на станцію в переробку;

c) конструкційна відмова (design failure): відмова, що виникла з причини недосконалості ЗТС або проектних помилок – кількість колій в парку приймання не відповідає потужності вхідного поїздопотокую;

d) виробнича відмова (systematic failure; reproducible failure): відмова, що виникла внаслідок невідповідності фактичних параметрів функціонування ЗТС нормативним (проектним) параметрам – кількість каналів обслуговування (колій) в приймально-відправному парку не відповідає нормативам з середньої тривалості часу зайнятості цих каналів;

e) систематична відмова (systematic failure; reproducible failure): відмова ЗТС, яка може бути усунена тільки після комплексної модифікації проекту, правил експлуатації, технічних норм та ін. – вдосконалення методики

5

розрахунку часових нормативів зайняття колій приймально-відправних парків,

f) врахована відмова (relevant failure): відмова, що є прогнозованою та використовується як параметр нормативного функціонування ЗТС – відмова в прийманні поїзда на станцію через зайнятість всіх колій приймально-відправних парків при різкому збільшенні обсягів добового надходження поїздів в переробку. Імовірність різкого збільшення – рідкий випадок, що виходить за межі довірчого інтервалу надійності залізничних транспортних систем.

Технологічна надійність транспортних систем: властивість технологічних процесів ТС різного рівня забезпечувати вчасне (або із запізненням на час, не більше встановленого) приймання, відправлення, пропуск транспортних засобів та їх обробку.

Технологічна відмова залізничної транспортної системи: подія, яка полягає у втраті ЗТС здатності вчасно (або із запізненням на час, не більше встановленого) приймати, відправляти, пропускати поїзди та переробляти вагонопотоки. Практичною реалізацією даної категорії буде показник **імовірність технологічної відмови:**

$$\xi = p(t_{вi} \geq t_{нi}); \quad (2)$$

де $t_{вi}$ - затримка поїзда по прибуттю чи відправленню або тривалість i - ї операції обробки вагону;

$t_{нi}$ - нормативне значення величини $t_{вi}$.

6

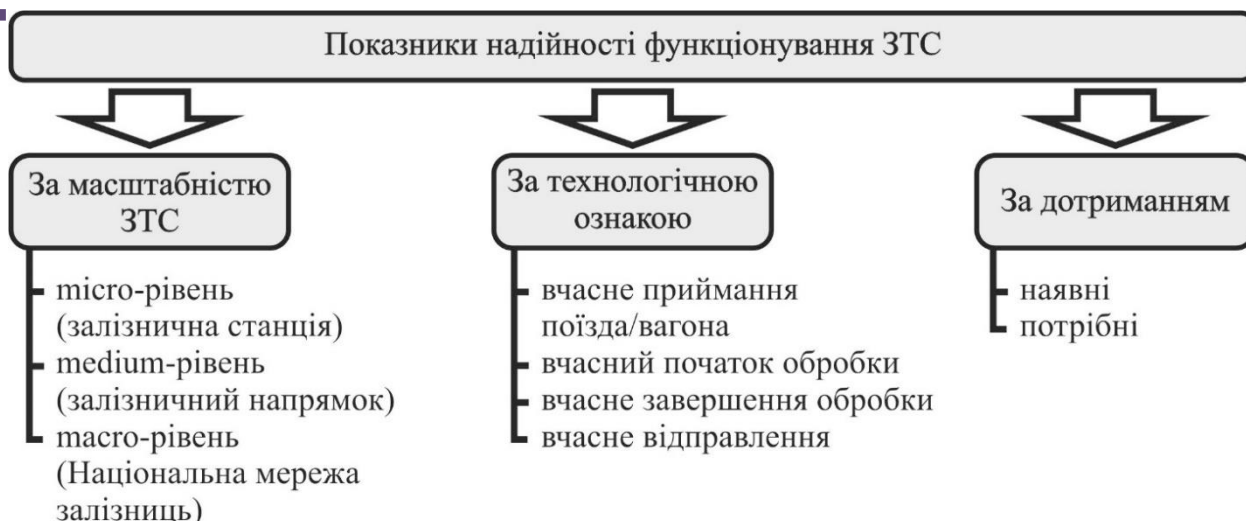


Рисунок 1 Значення показника ефективності капіталовкладень у спорудження залізничної транспортної системи залежно від розрахункового парку поїзних локомотивів

Час безвідмовного функціонування залізничної транспортної системи: середній час функціонування ЗТС, протягом якого відсутні відповідні технологічні відмови.

Зазначені множини показників також слід розглядати в двох аспектах:

1) максимально граничний рівень надійності, що може бути забезпечений відповідними технічними параметрами, місцевими умовами та способом організації транспортного виробництва – **наявна технологічна надійність**. Дану категорію можна розуміти як конструктивну, або проектну надійність і вона визначається індивідуально для кожної ЗТС;

2) граничний рівень надійності, який потрібно (планується) забезпечити відповідно до обсягів запланованої роботи, її характеру – **потрібна (планова) технологічна надійність** – це певний норматив, встановлена (призначена) межа. Відповідно до ДСТУ «Надійність техніки», пункту 7.4 такою межею рекомендується прийняти значення з ряду «довірчої вірогідності» {0,90; 0,95; 0,98; 0,99}, тобто потрібна гранична відмова становитиме відповідно 0,10; 0,05; 0,02; 0,01..

2. Моделювання відмов у системах масового обслуговування

Будь-яку послідовність операцій можна представити як дискретно-подієвий процес. Кожна заявка, що обслуговується у системі дискретно, перебуває на обслуговуванні у тому чи іншому технологічному елементі. Перехід через етапи обробки являє собою умовну межу, і не має власної тривалості. Імітація, відповідно до технологічного процесу обробки заявок, буде відображувати поступовий перехід заявки через програмні блоки одного з вільних каналів.

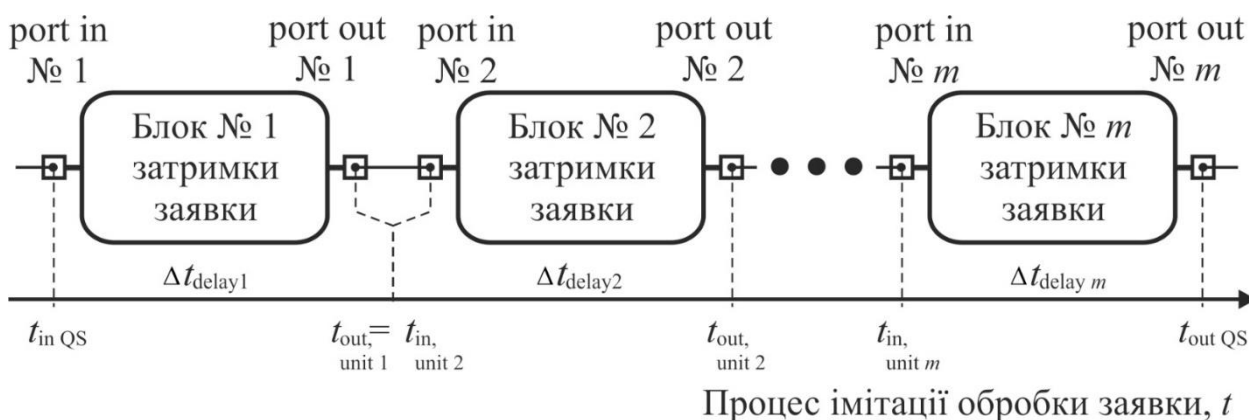


Рисунок 2 – Схема дискретного переходу заявок у процесі симуляції

Кожний з блоків програмно здійснює затримку заявки на час, що відповідає встановленому або розрахованому часу тривалості відповідної технологічної операції. Умовна межа переходу між технологічними операціями відповідатиме моменту переходу заявки із одного блока в інший.

Такий принцип дозволяє програмно фіксувати момент входу заявки у блок програми, що відповідатиме початку відповідної технологічної операції, і момент виходу заявки з блока, що відповідатиме завершенню технологічної операції. По суті збір результатів і полягає у фіксуванні моментів переходу

Основи теорії систем і управління

8

заявок між певними блоками (між фазами обробки складів поїздів), що у подальшому дозволить обробити дані, визначити імовірність відмови та безвідмовність функціонування ЗТС. Тривалість знаходження заявки у певному блоці визначається як різниця моментів входження у наступний блок та моменту входження заявки у розрахунковий блок:

$$\Delta t_{\text{delay } z} = t_{\text{in,unit } z+1} - t_{\text{in,unit } z}, \quad (3)$$

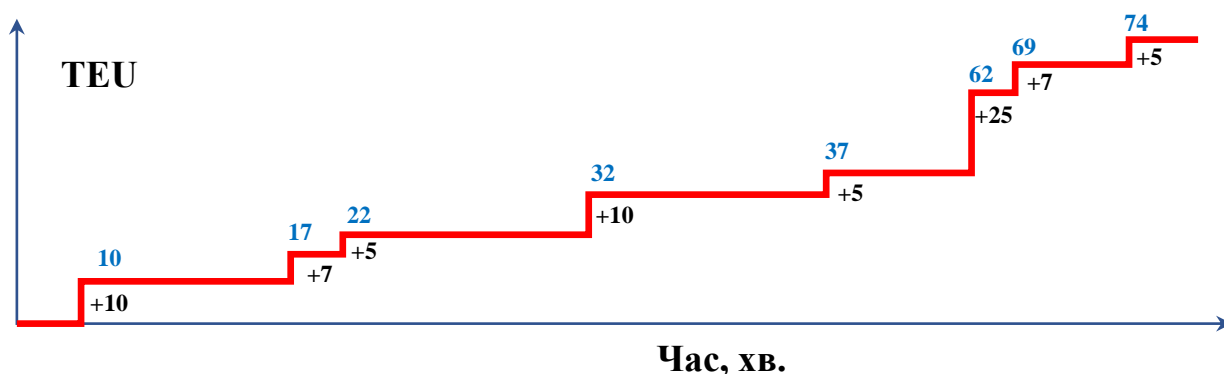


Рисунок 3 Дискретний процес накопичення контейнерів на вантажному терміналі

Дискретно-подієвий принцип дозволяє успішно моделювати різні за своєю природою системи масового обслуговування, оскільки дає можливість розкласти на елементи процес будь-якої складності. Особливо зручно моделювати транспортні, логістичні, виробничі та інші процеси, де момент завершення кожної операції є моментом початку наступної операції (рисунок 4).

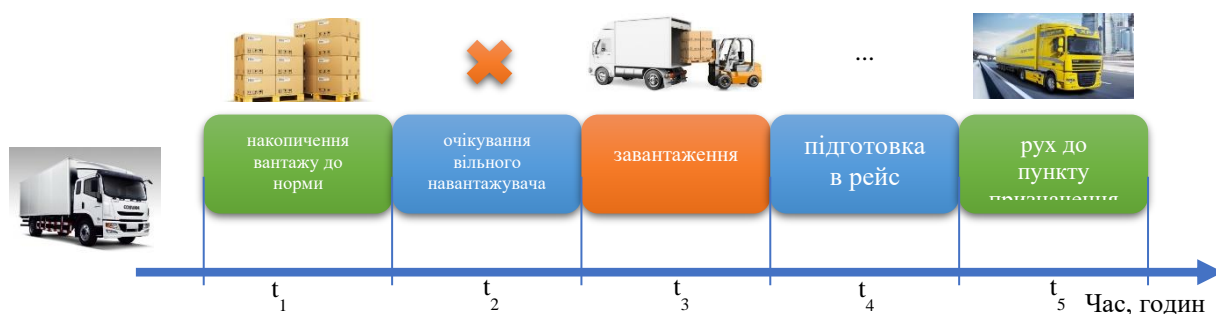


Рисунок 4. Приклади транспортних процесів для імітації Discrete-event simulation

Типова імітаційна модель одноканальної системи масового обслуговування у середовищі AnyLogic виглядатиме як послідовність чотирьох агрегатів бібліотеки моделювання процесів (рис. 5).

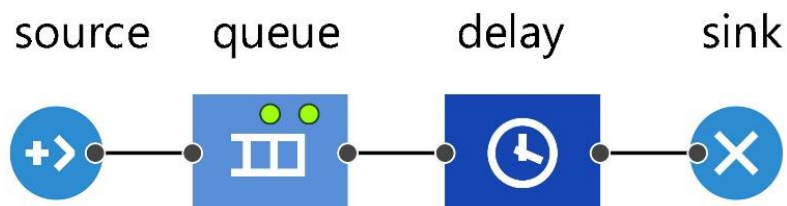


Рисунок 5 – Дискретно-подієва модель СМО в середовищі AnyLogic

Перший агрегат *source* є генератором заявок (агентів), що поступають до СМО.

Другий агрегат *queue* – черга, моделює формування черги з агентів, які надходять до СМО в обробку. Даний процес може характеризуватись декількома параметрами, основні з яких:

- кількість місць у черзі;
- порядок формування черги:
 - a) FIFO (first in – first out) – першою в черзі стоїть та заявка, яка знаходиться в черзі найдовше. Даний принцип самий природний та зрозумілий.

б) LIFO (англ. Last In, First Out) – першою в черзі стоїть та заявка, яка знаходиться в черзі найменше.

Третій агрегат *delay* – затримка, моделює процес обслуговування заявки. Даний процес також може характеризуватись декількома параметрами, основні з яких:

- час (імовірнісний розподіл часу) затримки;
- кількість каналів обслуговування – кількість заявок, які можуть одночасно обслуговуватись у СМО.

Четвертий агрегат *sink* – виход, моделює процес завершення дискретної імітації.

План теми

3. Моделювання ризиків дискретно-подієвим (Discrete-event) методом

Дискретно-подієве моделювання (англ. Discrete-event simulation, DES) – це вид імітаційного моделювання. У дискретно-подієвому моделюванні функціонування системи представляється як хронологічна послідовність подій. Подія відбувається в певний момент часу і знаменує собою зміну стану системи.

Засновником дискретно-подієвого моделювання є інженер компанії IBM Джеффри Гордон, якій у 1961 році представив програму GPSS. GPSS вважається першою реалізацією методу моделювання на основі дискретних подій.

Дискретно-подієве моделювання представляється у вигляді процесу, тобто послідовності операцій, що виконуються з агентами. Архітектури моделей розроблюються відповідно до «фізичного» процесу обробки агентів.

Основними фізичними ознаками процесу є модельний час та просторові бінарні координати.

Модель задається графічно у вигляді діаграми процесу, блоки якої відповідають за окремі процеси або операції (рис. 6). Як правило, діаграма процесу починається з блоку «Source», що є генератором нових агентів. Цей блок передає агентів в наступні блоки діаграми, за порядком реального процесу.



Рисунок 6 Дискретно-подієва імітаційна модель у середовищі AnyLogic

Дискретно-подієвий процес базується на наступних принципах:

1. Перехід через етапи обробки являє собою умовну межу, і не має власної тривалості.
2. Умовна межа переходу між технологічними операціями відповідатиме моменту переходу заявки із одного блока в інший.


Зазначені принципи і визначають головну перевагу і популярність серед дослідників: можливість програмно фіксувати момент входу заявки у блок програми, що відповідатиме початку відповідної технологічної операції, і

момент виходу заявки з блока, що відповідатиме завершенню технологічної операції.

На сьогодні існує велика кількість програмних комплексів та середовищ розробки імітаційних моделей, що підтримують розробку комп'ютерних симуляцій за дискретно-подієвим принципом. Одним з найбільш типових та доступних є програмний комплекс AnyLogic, в якому дискретно-подієвий принцип представлений наступними агрегатами (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні агрегати бібліотеки *Process Modeling Library* середовища розробки AnyLogic 8.5, що використовуються при моделюванні

№ п.п	Вигляд агрегату у середовищі розробки	Функція та умови використання
1.		блок типу <i>Source</i> – генератор заявок. Генерує вхідний потік заявок за встановленими параметрами
2.		блок типу <i>Queue</i> – черга. Імітує очікування заявок у черзі. Заявки зорганізуються за принципом <i>FIFO</i> (first in – first out) – обслуговується у першу чергу та заявка, яка знаходиться у черзі найдовше
3.		блок типу <i>Delay</i> – блок затримки. Імітує затримку часу при виконанні операцій та обробці заявок
4.		блок типу <i>Service</i> – блок обслуговування. Імітує обслуговування заявки із застосуванням (захватом та використанням) певного ресурсу
5.		блок типу <i>ResourcePool</i> – ресурс. Імітує обсяг певного ресурсу, що використовується при імітуванні обслуговування заявки блоком <i>Service</i> .

6.		блок типу <i>Sink</i> . Імітує закінчення процесу
7.		блоки типу <i>restrictedAreaStart</i> та <i>restrictedAreaEnd</i> . Зазначенні елементи обмежують одночасне находження агентів відповідно до встановленої кількості
8.		елемент типу <i>Parameter</i> . Застосовується для задавання вихідних даних
9.		елемент типу <i>Variable</i> . Застосовується при задаванні логіки процесів, зборі результатів моделювання
10.		елемент типу <i>Histogram Data</i> . Застосовується для збору та обробці статистичних даних у вигляді інтервального ряду розподілу

План теми

4. Дослідження відмов (відмовостійкості) та ризиків функціонування систем масового обслуговування.

Ймовірністю відмови роботи СМО буде відношення кількості заявок, які під час моделювання чекали в черзі (або їх час простою в черзі перевищував встановлений) до загальної кількості заявок, що надійшли до СМО:

$$\xi_{\text{відм}} = \frac{\sum N_{\text{відм}}}{\sum N}, \quad (3)$$

де $\sum N_{\text{відм}}$ – кількість заявок, які під час моделювання чекали в черзі, або їх час простою в черзі перевищував встановлений;

$\sum N$ - загальна кількість заявок, що надійшли до СМО.

Для оцінки ризиків, що настають у разі непередбачуваних подій, крім ймовірності необхідний середній розмір втрат, що виникають через настання таких подій. Тобто можлива втрата від настання події визначатиметься як:

$$E_{\text{втр}} = \xi_{\text{відм}} \cdot \overline{E_{\text{втр}}}, \quad (4)$$

де $\overline{E_{\text{втр}}}$ – середній розмір втрат (у натуральних показниках, наприклад грошових одиницях), що виникають у наслідок настання непередбачуваних подій.

Приклад.

Для СМО 1/М/М оцінити можливі ризики затримки заявок при обслуговуванні при наступних вихідних умовах:

1. Інтенсивність надходження заявок: 1 за добу.
2. Інтенсивність обробки заявок: 1 за добу.
3. Кількість каналів обслуговування: 1.
4. Інтенсивність надходження та обробки заявок підпорядкований експонентному розподілу.
5. Кількість місць в черзі: максимально-можлива.
6. Затримкою вважається ситуація знаходження заявки в черзі більше: 1 доби.
7. Витрати, що виникають через затримку, становлять: 500 грн.

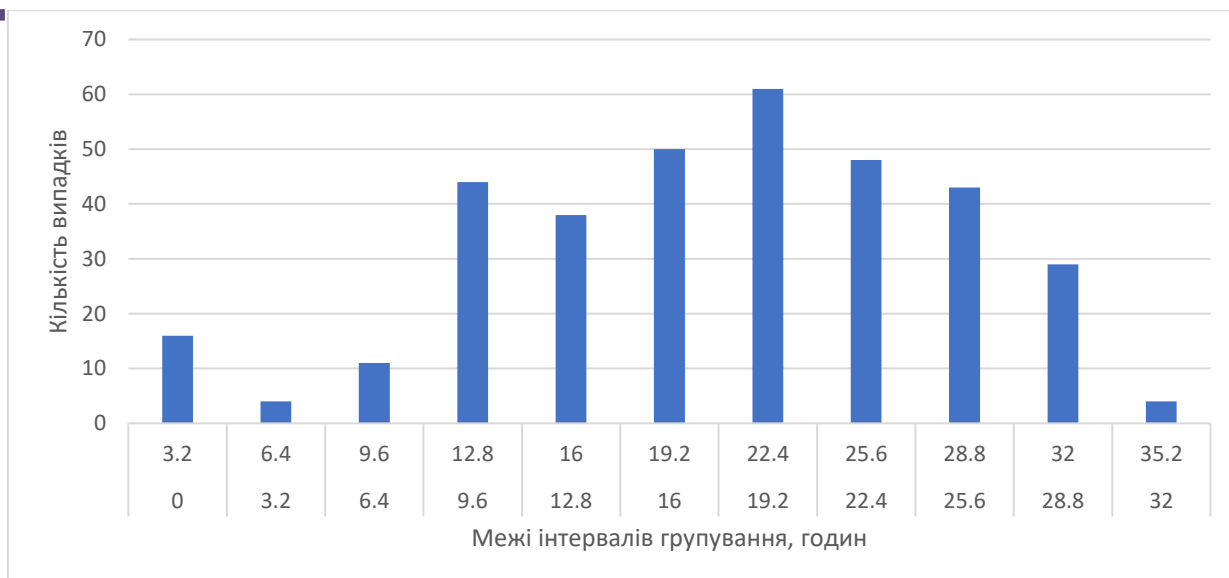


Рисунок 7 – Розподіл часу очікування заявок в черзі

В результаті моделювання встановлено що за рік:

- кількість заявок, які під час моделювання чекали в черзі більше 24 годин (однієї доби): $\sum N_{\text{відм}} = 99$;

- загальна кількість заявок, що надійшла до СМО: $\sum N = 365$.

Тоді можливі втрати через ризик настання затримок становитимуть:

- всього за рік: $99 \cdot 500 = 49500$ грн.;

- в середньому на одну подію:

$$\frac{49500}{365} = 135 \text{ грн.}$$