

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій
Кафедра системного аналізу та обчислювальної математики

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

на тему Системний аналіз і моделювання бізнес-процесів роботи call-центру
компанії

Виконав: студент 6 курсу, групи КНТз-812м

Спеціальності 124 – Системний аналіз
Освітня програма (спеціалізація)

«Інтелектуальні технології та прийняття
рішень в складних системах»

АЛЕКСЄЄВ О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник: БАКУРОВА А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: МОРОЗ Б.І.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра системного аналізу та обчислювальної математики

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 124 – Системний аналіз

Освітня програма (спеціалізація) «Інтелектуальні технології та прийняття рішень в складних системах»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. Завідувача кафедри системного аналізу та обчислювальної математики

к. фіз.-мат. наук, _____

доц. Терещенко Еліна Валентинівна

«_____» _____ 20____ року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Алексєєва Олексія Михайловича

1. Тема проекту (роботи) Системний аналіз і моделювання бізнес-процесів роботи call-центру компанії
керівник проекту (роботи) Бакурова Анна Володимирівна, д-р екон. наук, проф., затверджені наказом закладу освіти від «06» грудня 2023 року № 492
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 22 грудня 2023
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Процеси, які відбуваються в колл-центрі та ключові показники ефективності його роботи. Модель аналізу роботи колл-центру - система масового обслуговування. Системи масового обслуговування, як СМО з відмовами, з очікуванням та змішані моделі
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Потрібно створити модель, що організує роботу колл-центру. Провести оптимізацію даної імітаційної моделі за допомогою регулювання кількості операторів, які обслуговують дзвінки клієнтів. Спроектувати модель та провести над нею експерименти які будуть сприяти оптимізації роботи та підвищенню ефективності колл-центру. Результат який очікується в тому, що даний алгоритм повинен скоротити час обробки дзвінків клієнтів, в ході якого обробляється максимальна кількість дзвінків, що надходять, з найоптимальнішою кількістю операторів, що допоможе значно скоротити витрати.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових

креслень) Презентація роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 Огляд роботи колл центру основні процеси роботи. Аналіз моделі роботи колл центру - система масового обслуговування	БАКУРОВА Анна Володимирівна, д-р екон. наук, проф.		
2 Побудова і оптимізація імітаційної моделі роботи колл центру	БАКУРОВА Анна Володимирівна, д-р екон. наук, проф.		
Нормоконтроль	ШИРОКОРАД Д. В.. доц.		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд роботи колл центру основні процеси роботи.		
2	Аналіз моделі роботи колл центру - система масового обслуговування		
3	Побудова і оптимізація імітаційної моделі роботи колл центру		

Студент(ка)

_____ Олексій АЛЕКСЄЄВ
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ Анна БАКУРОВА
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 18 рис., 5 табл., 3 додатки, 22 джерела.

Ефективним методом спілкування компаній зі своїми клієнтами, особливо під час пандемії та злету онлайн продажів, є контактні центри. Рациональне використання людських ресурсів для забезпечення їх роботи є важливою проблемою для оптимізації витрат.

Об'єкт дослідження: процес обробки вхідних заявок контактного центру. Предмет дослідження: методи розрахунку необхідної кількості людських ресурсів для покриття заданого навантаження на контактний центр, а також, імітаційне моделювання процесу обробки звернень та оптимізація витрат часових та людських ресурсів.

Мета дослідження: розрахувати мінімальну необхідну кількість операторів у зміні так, щоб процент заявок клієнтів з часом очікування на лінії до 20 секунд був не менше 80%, а також, підібрати якісний інструмент для подальшого впровадження розрахунку у планування змін колл-центру компанії.

Методи дослідження та апаратура: аналіз процесу роботи контактного центру, збір даних, аналіз потоку звернень на властивості найпростішого потоку, застосування формул Ерланга для розрахунку необхідної кількості людського ресурсу погодинно, імітаційне моделювання процесу обробки звернень у колл-центрі, планування змін роботи операторів.

Економічна ефективність: очікується позитивною, завдяки впровадженню методів розрахунку необхідної кількості операторів у зміні і таким чином знизити витрати на персонал, а також скоротити час, необхідний для виконання операцій. Практична цінність роботи полягає у підборі інструменту планування людських ресурсів КЦ аналітичним способом та за допомогою середовища імітаційного моделювання для визначення необхідної кількості операторів для забезпечення заданого рівня обслуговування.

КОНТАКТНИЙ ЦЕНТР, АНАЛІЗ, НАЙПРОСТІШИЙ ПОТІК, БІЗНЕС ПРОЦЕСС, ERLANG C, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ANY LOGIC.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ВСТУП	6
1 ОГЛЯД РОБОТИ КОЛ ЦЕНТРУ ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ РОБОТИ. АНАЛІЗ МОДЕЛІ РОБОТИ КОЛ ЦЕНТРУ - СИСТЕМА МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	9
1.1. Поняття колл-центру.....	9
1.2. Основні показники ефективності	15
1.3. Математична модель аналізу роботи контактного центру	19
1.3.1. Система масового обслуговування із відмовами. Рівняння Ерланга.....	21
1.3.2. Система масового обслуговування з очікуванням. Рівняння Ерланга ..	24
1.3.3. Режим обслуговування, що встановився. Формули Ерланга	28
1.3.4. Властивості найпростішого потоку подій	31
1.4. AnyLogic як середовище імітаційного моделювання та його переваги ...	33
1.4.1. Приклад застосування імітаційного моделювання у AnyLogic	35
1.5. Висновки до розділу	37
2 ПОБУДОВА І ОПТИМІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ КОЛ ЦЕНТРУ	38
2.1. Опис об'єкта досліджень.....	38
2.2. Аналіз проблемних областей	42
2.3. Постановка задачі.....	44
2.4. Аналіз характеру потоку звернень	45
2.5. Розрахунок необхідної кількості операторів КЦ для СМО з очікуванням. Метод Ерланга	50
2.6. Імітаційне моделювання роботи колл-центру.....	55
2.7. Планування змін.....	62
2.8. Висновки до розділу	63
ВИСНОВКИ.....	65

ВСТУП

Контактні центри є ефективним способом спілкування компаній зі своїми клієнтами. Однак для оптимізації витрат важливо раціонально використовувати людські ресурси, необхідні для їх роботи.

В останні роки в умовах пандемії, а зараз в умовах повномасштабної війни більшість рітейл компаній вимушені переводити фокус продаж у онлайн простір. Ще під час пандемії локдауни, обмеження по кількості людей у приміщенні, маски та інші карантинні обмеження, та зараз під час війни блекаути та часті повітряні тривоги коли магазини раптово посеред робочого дня призупиняють роботу, спонукають споживачів усе частіше надавати перевагу онлайн-шопінгу. А значить, і отримувати дистанційні консультацій щодо свого замовлення. Саме тут на допомогу приходить контакт центр.

Такий різкий перехід з офлайн до онлайн спричинив шоківий рівень навантаження на контакт-центри країни. Та оскільки будь-який приріст запитів від клієнтів до бізнесу обіцяє приріст продажів. Компанії, що зацікавлені у швидкій адаптації та успішному функціонуванні навіть у період пандемії, мають швидко адаптуватися під нові «правила» ринку. А отже, оцінювати задоволеність клієнтів від комунікації з колл-центром, оцінювати швидкість та якість з'єднання, планувати необхідну кількість операторів для покриття нового, значно вищого, рівня навантаження.

З висвітлених вище проблем, можна зробити висновок, що однаково важливо і якість комунікації, і швидкість з'єднання з оператором. Саме для вирішення цих проблем далі у роботі буде проведений аналіз та моделювання роботи колл-центру компанії, з метою визначення необхідної кількості операторів у зміні для забезпечення бажаного рівня сервісу.

Об'єктом дослідження даної кваліфікаційної роботи є процес обробки вхідних заявок контактного центру.

Предмет дослідження: методи розрахунку необхідної кількості людських ресурсів для покриття заданого навантаження на контактний центр, а також, імітаційне моделювання процесу обробки звернень та оптимізація витрат часових та людських ресурсів.

Виходячи з обраних об'єкту та предмету дослідження метою роботи є – розрахувати мінімальну необхідну кількість операторів у зміні так, щоб:

- Процент відмови клієнту був мінімальним не перевищував 20%.
- Середній час очікування клієнта на лінії не перевищував 20 секунд.

А також, підібрати якісний інструмент для подальшого впровадження розрахунку у планування змін колл-центру компанії.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі вирішені наступні задачі:

- Зроблено аналіз потоку подій СМО.
- Розрахована необхідна кількість ресурсів за формулою Ерланга.
- Створено імітаційне моделювання обробки потоку звернень та мінімізована необхідна кількість людського ресурсу.
- Сплановано зміни роботи операторів КЦ.
- Сформовано інструмент для подальшого впровадження у процес планування ресурсів колл-центру.

У результаті застосування даного методу розрахунку кількості операторів колл-центру, очікується позитивна економічна ефективність, завдяки зниження витрат зарплатного фонду.

Для розв'язання поставлених у даній роботі задач були використані наступні *методи дослідження та апаратура*: аналіз процесу роботи контактного центру, збір даних, аналіз потоку звернень на властивості найпростішого потоку, застосування формул Ерланга для розрахунку необхідної кількості людського ресурсу погодинно, імітаційне моделювання процесу обробки звернень у кц, планування змін роботи операторів.

Практична цінність роботи полягає у підборі інструменту планування людських ресурсів КЦ аналітичним способом та за допомогою середовища

імітаційного моделювання для визначення необхідної кількості операторів для забезпечення заданого рівня обслуговування.

Економічний ефект очікується позитивним, завдяки впровадженню методів розрахунку необхідної кількості операторів у зміні і таким чином знизити витрати на персонал, а також скоротити час, необхідний для виконання операцій.

Апробація результатів роботи та публікації. Результати роботи апробовані та захищені на XVI Міжнародній науково-практичній конференції з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості з темою доповіді «Оптимізація необхідної кількості операторів колл-центру. Метод Ерланга».

Успіх роботи будь-якого контактного сервісу лежить на перетині трьох складових – якість комунікації, легка доступність (зниження проценту відмов) та мінімальна необхідна кількість співробітників, які можуть забезпечити попередні дві вимоги. У даній роботі фокус поставлено на пошук інструменту розрахунку необхідної мінімальної кількості людських ресурсів для покриття заданого рівня сервісу.

1 ОГЛЯД РОБОТИ КОЛ ЦЕНТРУ ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ РОБОТИ. АНАЛІЗ МОДЕЛІ РОБОТИ КОЛ ЦЕНТРУ - СИСТЕМА МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

1.1. Поняття колл-центру

Call-центр з англійської мови call-center перекладається, як «центр обробки дзвінків», являє собою спеціалізовану організацію, або якесь відокремлений підрозділ, який займається обробкою звернень, а також, інформуванням по голосовим каналах зв'язку організацій-замовників або головної організації, зацікавленої в цьому.

Колл-центри – це організації, які спеціалізуються на обробці дзвінків. Вони можуть бути створені компаніями як власні підрозділи, так і віддаватися на аутсорсинг.

Устройство колл-центров

Колл-центри зазвичай являють собою відкриті офісні простори, де працюють оператори. Робоче місце оператора включає в себе персональний комп'ютер, телефон і, можливо, додаткове обладнання, наприклад, гарнітуру або портативний пристрій для виходу в Інтернет.

Всі дзвінки в колл-центрах діляться на два типи:

Вхідні дзвінки – це дзвінки від клієнтів, які звертаються до компанії з питаннями або проблемами.

Вихідні дзвінки – це дзвінки, які здійснюють оператори колл-центру клієнтам для просування продуктів або послуг, проведення опитувань або вирішення проблем.

Оператори колл-центрів, як правило, організовані в багатоланкову систему для більш ефективної обробки дзвінків. На першому рівні оператори надають базову інформацію. Якщо клієнту потрібна додаткова інформація або допомога, його виклик направляється на оператора другого рівня, який має більш високу кваліфікацію або доступ до більшої кількості інформації.

Найскладніші питання можуть бути перенаправлені на оператора третього рівня або фахівця за межами колл-центру.

Крім операторів, в колл-центрах працюють також управлінці, технічний персонал і фахівці з навчання. Управлінці відповідають за загальне управління колл-центром, технічний персонал забезпечує роботу обладнання та програмного забезпечення, а фахівці з навчання проводять навчання операторів.

Призначення колл-центров

Колл-центри використовуються компаніями для різних цілей, зокрема: Зв'язок з клієнтами – колл-центри є одним з основних каналів зв'язку між компанією і її клієнтами. Вони використовуються для надання інформації, вирішення проблем, продажів і підтримки клієнтів.

Продажі – колл-центри можуть використовуватися для здійснення продажів продуктів або послуг компанії.

Сервісний обслуговування – колл-центри можуть використовуватися для надання сервісного обслуговування клієнтам, наприклад, для вирішення проблем з продуктами або послугами.

Технічна підтримка – колл-центри можуть використовуватися для надання технічної підтримки клієнтам, наприклад, для вирішення проблем з використанням продуктів або послуг. Крім того, колл-центри можуть використовуватися компаніями для взаємодії з підрядниками, постачальниками або іншими партнерами. Державні, політичні та громадські організації також використовують колл-центри для взаємодії з громадянами. Великі підприємства та організації можуть використовувати колл-центри для обслуговування деяких внутрішніх функцій, наприклад, для забезпечення першої лінії офісної та технічної підтримки співробітників.

Переваги використання колл-центров

Колл-центри пропонують ряд переваг для компаній, зокрема:

Ефективність – колл-центри можуть обробляти велику кількість дзвінків за короткий період часу. Це дозволяє компаніям надавати клієнтам якісне обслуговування без необхідності розширювати штат своїх співробітників.

Зручність – колл-центри забезпечують клієнтам зручність зв'язку з компанією в будь-який час і з будь-якого місця.

Контроль – колл-центри дозволяють компаніям контролювати якість обслуговування, яке вони надають клієнтам.

Недоліки використання колл-центров

Колл-центри також мають ряд недоліків, зокрема:

Вартість – створення або оренда колл-центру може бути дорогим.

Невідповідність потребам клієнтів – колл-центри не завжди можуть забезпечити належне обслуговування клієнтів, які мають особливі потреби.

Потеря особистого контакту – деякі клієнти віддають перевагу особистому контакту з представниками компанії, а не спілкуванню з операторами колл-центру.

Технології колл-центрів

Колл-центри використовують широкий спектр технологій для забезпечення ефективної та якісної роботи.

Телефонія

Основним засобом зв'язку в колл-центрах є телефонія. Для організації телефонних комунікацій можуть використовуватися як телефонні мережі загального користування, так і IP-телефонія.

Телефонні мережі загального користування (PSTN) – це традиційна технологія, яка використовує аналогові сигнали для передачі голосу. IP-телефонія – це цифрова технологія, яка використовує пакети даних для передачі голосу.

IP-телефонія має ряд переваг перед PSTN, зокрема:

Економічність. IP-телефонія дозволяє значно знизити витрати на зв'язок.

Ефективність. IP-телефонія дозволяє забезпечити більш високу якість звуку та зв'язку.

Гнучкість. IP-телефонія дозволяє інтегрувати колл-центр з іншими системами та програмами.

Інтерактивні голосові меню

Інтерактивні голосові меню (IVR) – це система, яка дозволяє клієнтам взаємодіяти з колл-центром за допомогою голосових команд. IVR можна використовувати для надання інформації, вирішення простих запитів або маршрутизації дзвінків на відповідного оператора.

IVR має ряд переваг, зокрема:

Автоматизація. IVR дозволяє автоматизувати певні завдання, що звільняє операторів для вирішення складніших запитів.

Економічність. IVR дозволяє значно знизити витрати на оплату праці операторів.

Ефективність. IVR дозволяє забезпечити більш швидке та якісне обслуговування клієнтів.

Програмне забезпечення колл-центрів

Програмне забезпечення колл-центрів (CCS) – це комплекс програм, який забезпечує функціональність колл-центру. CCS може включати в себе такі функції, як:

Реєстрація всіх вхідних і вихідних дзвінків

Зберігання інформації про клієнта з історії дзвінків з даного номера

Статична і інтелектуальна маршрутизація звернення

Візуалізація на робочій станції оператора інформації про дзвінок, і картці клієнта

Автоматизований набір номера

Відображення стану операторів

Розподіл дзвінків всередині групи по завантаженню операторів і по порядку

Формування звітів по виконаних і прийнятих дзвінках

Запис розмов

Контроль якості роботи операторів

Планування розкладу робочих змін операторів

CCS може бути встановленим на власному обладнанні компанії або надаватися як послуга від стороннього постачальника.

Технології віртуальних колл-центрів

Віртуальні колл-центри – це колл-центри, які не мають власного обладнання та персоналу. Вони використовують обладнання та персонал сторонніх постачальників, які надають послуги колл-центру як послугу.

Віртуальні колл-центри мають ряд переваг, зокрема:

Економічність. Віртуальні колл-центри дозволяють значно знизити витрати на створення та обслуговування колл-центру.

Гнучкість. Віртуальні колл-центри дозволяють легко масштабувати систему в залежності від потреби.

Ефективність. Віртуальні колл-центри використовують сучасні технології та методики, що дозволяє забезпечити високу якість обслуговування клієнтів.

«Хмарна» обробка даних для колл-центрів

«Хмарна» обробка даних для колл-центрів – це технологія, яка дозволяє розміщувати програмне забезпечення та дані колл-центру в хмарі.

«Хмарна» обробка даних для колл-центрів має ряд переваг, зокрема:

Економічність. «Хмарна» обробка даних дозволяє значно знизити витрати на створення та обслуговування колл-центру.

Гнучкість. «Хмарна» обробка даних дозволяє легко масштабувати систему в залежності від потреби.

Технології колл-центрів за типом розташування

Технологія віртуального колл-центру

Віртуальні колл-центри – це колл-центри, які не мають власного обладнання та персоналу. Вони використовують обладнання та персонал сторонніх постачальників, які надають послуги колл-центру як послугу.

Технологія віртуальних колл-центрів має ряд переваг, зокрема: Економічність. Віртуальні колл-центри дозволяють значно знизити витрати на створення та обслуговування колл-центру. Компанії не потрібно купувати та обслуговувати власне обладнання, а також наймати та навчати персонал.

Гнучкість. Віртуальні колл-центри дозволяють легко масштабувати систему в залежності від потреби. Компанія може швидко додати або видалити агентів у міру необхідності.

Доступність. Віртуальні колл-центри дозволяють агентам працювати з будь-якої точки світу, де є доступ до Інтернету. Це дає компаніям можливість наймати найкращих агентів, незалежно від їхнього місцезнаходження.

«Хмарна» обробка даних для колл-центрів. «Хмарна» обробка даних для колл-центрів – це технологія, яка дозволяє розміщувати програмне забезпечення та дані колл-центру в хмарі.

Хмарні колл-центри мають ряд переваг, зокрема: Економічність. Хмарні колл-центри дозволяють значно знизити витрати на створення та обслуговування колл-центру. Компанії не потрібно купувати та обслуговувати власне обладнання та програмне забезпечення.

Гнучкість. Хмарні колл-центри дозволяють легко масштабувати систему в залежності від потреби. Компанія може швидко додати або видалити ресурси в міру необхідності.

Доступність. Хмарні колл-центри дозволяють легко отримувати доступ до інформації та додатків з будь-якої точки світу. Це дає компаніям можливість оптимізувати роботу колл-центру та підвищити продуктивність агентів.

Спільні характеристики технологій віртуальних колл-центрів та «хмарних» колл-центрів

Обидві технології дозволяють компаніям отримувати переваги віртуалізації та хмарних обчислень. Вони дозволяють компаніям: Знизити витрати на створення та обслуговування колл-центру. Легко масштабувати систему в залежності від потреби.

Дозволити агентам працювати з будь-якої точки світу

Різниця між технологіями віртуальних колл-центрів та «хмарних» колл-центрів. Основна відмінність між цими двома технологіями полягає в тому, що віртуальні колл-центри, як правило, надаються сторонніми постачальниками, а хмарні колл-центри можуть бути створені та керовані самими компаніями.

Віртуальні колл-центри можуть бути більш вигідним варіантом для невеликих та середніх компаній, які не мають можливості або бажання створювати власний колл-центр. Хмарні колл-центри можуть бути більш вигідним варіантом для великих компаній, які мають високі вимоги до масштабованості та безпеки.

Вибір технології для колл-центру

При виборі технології для колл-центру компанія повинна враховувати такі фактори:

Розмір та масштаб бізнесу

Бюджет

Вимоги до масштабованості

Вимоги до безпеки

Контроль над системою

Якщо компанія не має можливості або бажання створювати власний колл-центр, то віртуальний колл-центр або хмарний колл-центр можуть бути хорошим варіантом.

1.2. Основні показники ефективності

Key Performance Indicators (KPI) є основними показниками роботи контактного центру [6]. Слід розуміти, що KPI повинні розглядатися тільки у взаємозв'язку один з одним – тільки тоді можна отримати повну та об'єктивну оцінку роботи контактного центру.

Характеристика добре працюючого КЦ – комплексне поняття. КРІ для КЦ можна розділити на 6 груп, які з усіх боків описують діяльність КЦ:

1. Група показників якості обробки контактів (це індикатори, які пов'язані з тим, наскільки результат кожного контакту задовольняє клієнтів, КЦ і Замовника) [6]:

- якість обробки виклику (CO – Contact Quality) – визначає рівень якості кожного контакту;
- індикатор результативних контактів (FCR – First Call Resolution):

$$FCR(\%) = SC/RC * 100 \%, \quad (1.1)$$

де SC – кількість дзвінків від клієнтів, мета яких була досягнута без необхідності додаткових контактів з компанією; RC – загальна кількість прийнятих дзвінків;

- помилки та виправлення. (ERR):

$$ERR(\%) = ERC/RC * 100 \%, \quad (1.2)$$

де ERC – кількість дзвінків, інформація про які невірно занесена в систему; RC – загальна кількість прийнятих дзвінків.

2. Група індикаторів рівня доступу (пропускної спроможності) (дані індикатори характеризують рівень сервісу КЦ при обслуговуванні контактів (можливість встановити контакт в принципі, швидкість відповіді на запити)) [6]:

- рівень сервісу (Service Level).
- Час відповіді (Response Time):

Рівень сервісу:

$$SL = X \% / Ysec, \text{ якщо } RCysec / TC * 100 \% = X \%, \quad (1.3)$$

де RC_{ysec} – кількість викликів, на яке було дано відповідь протягом Y секунд;

TC – загальна кількість дзвінків, що надійшли.

- Середня швидкість відповіді. (ASA):

$$ASAt = WTt / RCt, \quad (1.4)$$

де t – період часу, протягом якого проводиться вимірювання;

WT – загальний час очікування абонентів, виклики яких були прийняті;

RC – загальна кількість прийнятих викликів.

- Пропущені і блоковані виклики. (AC – Abandoned calls. BC – Blocked calls):

AC – виклики пропущені (абоненти не дочекалися відповіді і поклали трубку);

BC – виклики, у відповідь на які абонент отримав сигнал «зайнято».

Можливий також розрахунок частки пропущених викликів (AR – Abandonment Rate):

$$AR = ACt / RCt, \quad (1.5)$$

де t – час, за який проводиться вимірювання;

AC – пропущені за період t дзвінки;

RC – прийняті за період t дзвінки.

3. Група індикаторів продуктивності (дані індикатори показують наскільки ефективно з точки зору продуктивності і ККД організовані внутрішні процеси в КЦ) [6]:

- Відповідність між прогнозованим і реальним навантаженням – відсоток відмінності між прогнозованим і реальним завантаженням КЦ. Показує ККД роботи співробітників, що займаються прогнозуванням навантаження КЦ.

- Індикатор пунктуальності. (AS - Adherence Schedule).

- Середній час обробки виклику. (АНТ – Average Handling Time):

$$Ot = ANTt * RCt / Tsec * At, \quad (1.6)$$

де t – вимірюваний проміжок часу;

АНТ t – середній час обробки контакту за період T (у секундах); RCt – кількість прийнятих викликів за період T ; $Tsec$ – тривалість проміжку часу T у секундах; At – кількість операторів у зміні за період T .

- Індикатори, пов'язані з економічним ефектом КЦ [6]:
 - Собівартість дзвінка(контакту). (CPC – Cost per Call (contact)):

$$CPC = TCt / ACt, \quad (1.7)$$

де t – період часу, за який проводиться вимір; TC – витрати на контактний центр за час t ; AC – загальна кількість оброблених контактів за період t .

- Дохід контактного центру (R - Revenue) – дохід, безпосередньо пов'язаний з діяльністю КЦ
- Середній дохід від контакту. (ACV – Average Call Value):

$$ACVt = Rt / ACt, \quad (1.8)$$

де t – період часу вимірювання; R – виручка за період t .

- Показник виконання бюджету – показує різницю між плановим бюджетом і фактичними витратами.

5. Стратегічні індикатори (ці індикатори оцінюють стратегічний ефект діяльності КЦ) [6]:

- Індикатор настрою клієнтів. (CS – Customer satisfaction) – вимірює відсоток клієнтів у цілому

задоволених сервісом.

- Індикатор настрою співробітників. (PS – Personnel satisfaction) – вимірює, наскільки співробітники задоволені своєю роботою.
- Індекс ротації (T - Turnover).
- CallCenter ROI. (Rate of Investment) – комплексний індикатор, який оцінює вплив КЦ на діяльність компанії.

1.3. Математична модель аналізу роботи контактного центру

Так, теорія масового обслуговування використовується для ефективної організації колл-центру і прогнозування його завантаження. Математичні моделі дозволяють визначити оптимальну кількість телефонних агентів, необхідних для обслуговування клієнтів з рівнем обслуговування, певною організацією-замовником або керівництвом підприємства або організації.

Теорія масового обслуговування (теорія черг) — розділ математики, в якому розробляються моделі масового обслуговування. Колл-центр розглядається як мережа масового обслуговування. У колл-центрах можуть застосовуватися моделі для відповідей на масові питання. Найбільш розповсюдженою моделлю масового обслуговування є формула Ерланга.

Розглядаючи колл-центр як систему масового обслуговування можна приймати рішення про оптимальну структуру центру, наприклад, визначити умови, за яких ефект масштабу дозволить підвищити ефективність, за рахунок об'єднання декількох розподілених дрібних центрів в один великий центр, або для оцінки ефекту від перехресних продажів, або для знаходження оптимуму між якістю і ефективністю.

Математичні моделі використовуються також для маршрутизації дзвінків, при цьому правила маршрутизації залежать від типів клієнтів,

кваліфікації агентів. Крім теорії масового обслуговування для аналізу роботи колл-центру використовується апарат дослідження операцій, що дозволяє вирішити широке коло завдань щодо оптимізації. Наприклад, для прогнозування дзвінків, рівня завантаження, і навіть для аналізу ступеня незадоволеності клієнтів, що очікують обслуговування.

Ось деякі конкретні приклади того, як теорія масового обслуговування може бути використана для оптимізації роботи колл-центру:

Оптимізація кількості агентів. Теорія масового обслуговування може бути використана для визначення оптимальної кількості агентів, необхідних для обслуговування заданого потоку дзвінків. Це може допомогти компаніям уникнути перевантажень або недовантаження колл-центру, що може призвести до зниження якості обслуговування клієнтів.

Оптимізація маршрутизації дзвінків. Теорія масового обслуговування може бути використана для розробки алгоритмів маршрутизації дзвінків, які забезпечують оптимальне обслуговування клієнтів. Наприклад, алгоритми можуть бути розроблені для того, щоб направляти дзвінки клієнтам з найвищим пріоритетом на найближчих агентів, або для того, щоб направляти дзвінки клієнтам з певними запитами на агентів з відповідною кваліфікацією.

Оптимізація рівня обслуговування. Теорія масового обслуговування може бути використана для визначення оптимального рівня обслуговування клієнтів. Наприклад, компанія може використовувати теорію масового обслуговування для визначення того, скільки клієнтів повинні чекати не більше п'яти хвилин, щоб отримати відповідь на свій дзвінок.

Застосування теорії масового обслуговування може допомогти компаніям поліпшити ефективність роботи їх колл-центрів і забезпечити краще обслуговування клієнтів.

1.3.1. Система масового обслуговування із відмовами. Рівняння Ерланга

Формально під системою масового обслуговування (далі СМО) розуміють складну систему, що складається з одного або декількох джерел запитів (заявок, вимог) на виконання певних дій (обслуговування), декількох приладів обслуговування (ліній обслуговування, каналів обслуговування), що виконують ці дії відповідно до певних правил (дисципліни обслуговування) за запитами, що надійшли в систему (рис. 1.1) [10].

Системи масового обслуговування можна класифікувати на два основні типи: системи з відмовами та системи з очікуванням.

У системах з відмовами заявка, яка надходить в момент, коли всі канали обслуговування зайняті, отримує відмову і покидає систему.

У системах з очікуванням заявка, яка надходить в момент, коли всі канали обслуговування зайняті, стає в чергу і чекає, поки не звільниться якийсь канал.

У даній роботі ми розглянемо систему з відмовами як найпростішу.

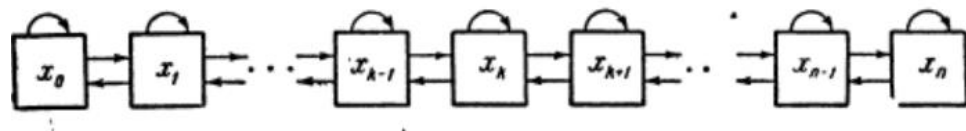


Рисунок 1.2. – Схема можливих переходів для СМО з відмовами

Нехай є n -канальна система масового обслуговування з відмовами. Розглянемо її як фізичну систему X з кінцевою множиною станів (рис.1.2):

x_0 — вільні всі канали,

x_1 — зайнятий рівно один канал,

x_k — зайнятий рівно k каналів,

x_n – зайняті всі n каналів.

Поставимо задачу: визначити ймовірність станів системи $p_k(t)$ ($k = 0, 1, \dots, n$) для будь-якого моменту часу t . Задачу вирішуватимемо при наступних припущеннях:

потік заявок - найпростіший, із щільністю λ ;

час обслуговування $T_{об}$ – показовий, з параметром $\mu = \frac{1}{m_{t_{об}}}$

$$g(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (t > 0) \quad (1.9)$$

Зауважимо, що параметр μ у формулі (1.9) повністю аналогічний параметру λ показового закону розподілу проміжку T між сусідніми подіями найпростішого потоку:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (t > 0) \quad (1.10)$$

Параметр λ має сенс "щільності потоку заявок". Аналогічно, величину μ можна тлумачити як "щільність потоку звільнень" зайнятого каналу. Дійсно, уявімо канал, безперервно зайнятий (безперебійно забезпечується заявками); тоді, очевидно, у цьому каналі йтиме найпростіший потік звільнень із щільністю μ .

Оскільки обидва потоки – заявок та звільнень – найпростіші, процес, що протікає в системі, буде марковським [7].

Розглянемо можливі стани системи та їх ймовірності

$$p_0(t), p_1(t), \dots, p_n(t) \quad (1.11)$$

Очевидно, для будь-якого моменту часу

$$\sum_{k=0}^n p_k(t) = 1 \quad (1.12)$$

Складемо диференціальні рівняння всім ймовірностей (1.11), починаючи з $p_0(t)$. Зафіксуємо момент часу t і знайдемо ймовірність $p_0(t + \Delta t)$ того, що в момент $t + \Delta t$ система перебуватиме в стані x_0 (всі канали вільні).

Таким чином, отримана система диференціальних рівнянь для ймовірностей $p_0(t), p_1(t), \dots, p_n(t)$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d p_0(t)}{dt} &= -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t) \\ &\dots \\ \frac{d p_k(t)}{dt} &= \lambda p_{k-1}(t) + (\lambda + k\mu)p_k(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t), \quad (0 < k < n) \\ &\dots \\ \frac{d p_n(t)}{dt} &= \lambda p_{n-1}(t) - n \mu p_n(t) \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

Рівняння (1.13) називаються рівняннями Ерланга. Інтегрування системи рівнянь (1.13) за початкових умов

$$p_0(0) = 1; \quad p_1(0) = \dots = p_n(0) = 0$$

(у початковий момент всі канали вільні) дає залежність $p_k(t)$ для будь-якого k . Імовірності $p_k(t)$ характеризують середнє завантаження системи та її зміна з часом. Зокрема, $p_n(t)$ є ймовірність того, що заявка, яка прийшла в момент t , застане всі канали зайнятими (отримає відмову):

$$P_{\text{відм}} = p_n(t)$$

Величина $q(t) = 1 - p_n(t)$ називається відносною пропускною здатністю системи. Для моменту t це відношення середньої кількості обслужених за одиницю часу заявок до середньої кількості поданих[7].

Система лінійних диференціальних рівнянь (1.13) порівняно легко може бути проінтегрована за будь-якої конкретної кількості каналів n .

Зауважимо, що під час виведення рівнянь (1.13), ми ніде не користувалися припущенням у тому, що величини λ і μ (щільності потоку заявок і «потоку звільнень») постійні. Тому рівняння (1.13) залишаються справедливими і залежних від часу $\lambda(t)$ і $\mu(t)$, аби потоки подій, що переводять систему зі стану в стан, залишалися пуассонівськими (без цього процес не буде Марковським) [10].

1.3.2. Система масового обслуговування з очікуванням. Рівняння Ерланга

Система масового обслуговування називається системою з очікуванням, якщо заявка, що застала всі канали зайнятими, стає в черзі і чекає, поки не звільниться якийсь канал.

Розглянемо змішану систему масового обслуговування X з n каналами за наступних умов. На вхід системи надходить найпростіший потік заявок із щільністю λ . Час обслуговування однієї заявки $T_{об}$ – показове, з параметром $\mu = \frac{1}{m_{t_{об}}}$. Заявка, побачивши всі канали зайнятими, стає в чергу і чекає обслуговування; час очікування обмежений деяким часом T_0 ; якщо до закінчення цього терміну заявка не буде прийнята до обслуговування, вона залишає чергу і залишається необслуженою. Термін очікування $T_{оч}$ будемо вважати випадковим і розподіленим за показовим законом

$$h(t) = \nu e^{-\nu t} \quad (t > 0),$$

де параметр ν - величина, зворотна середньому терміну очікування:

$$\nu = \frac{1}{m_{t_{\text{оч}}}}; m_{t_{\text{оч}}} = M[T_{\text{оч}}]$$

Параметр ν повністю аналогічний параметрам λ та μ потоку заявок та «потоку звільнень». Його можна інтерпретувати, як щільність «потоку відмов» заявки, що стоїть у черзі. Дійсно, уявимо собі заявку, яка тільки й робить, що стає в чергу і чекає в ній, поки не скінчиться термін очікування $T_{\text{оч}}$, після чого йде і відразу знову стає в чергу. Тоді «потік відмов» такої заявки з черги матиме щільність ν .

Вочевидь, при $\nu \rightarrow \infty$ система змішаного типу перетворюється на чисту систему з відмовами; при $\nu \rightarrow 0$ вона перетворюється на чисту систему з очікуванням [7].

Зазначимо, що при показовому законі розподілу терміну очікування пропускна спроможність системи не залежить від того, чи обслуговуються заявки в порядку черги або у випадковому порядку: для кожної заявки закон розподілу часу очікування, що залишився, не залежить від того, скільки часу заявка вже стояла в черзі.

Завдяки припущенню про пуассонівський характер всіх потоків подій, що призводять до змін станів системи, процес, що протікає в ній, буде марковським. Напишемо рівняння для ймовірностей станів системи.

Для цього передусім перерахуємо ці стани. Будемо їх нумерувати не за кількістю зайнятих каналів, а за кількістю пов'язаних із системою заявок. Заявку називатимемо «пов'язаною із системою», якщо вона або перебуває у стані обслуговування, або чекає черги. Можливі стани системи будуть:

- x_0 - жоден канал не зайнятий (черги немає),
- x_1 - зайнятий рівно один канал (черги немає),
- ...
- x_k - зайнято рівно k каналів (черги немає),
- ...
- x_n — зайняті всі n каналів (черги немає),

x_{n+1} - зайняті всі n каналів, одна заявка стоїть у черзі,

...

x_{n+s} — зайняті всі n каналів, s заявок стоять у черзі,

...

Число заявок s , що стоять у черзі, в наших умовах може бути як завгодно великим. Таким чином, система X має нескінченну (хоча й лічильну) безліч станів. Відповідно, число диференціальних рівнянь, що описують її, теж буде нескінченним. Очевидно, перші n диференціальних рівнянь нічим не відрізнятимуться від відповідних рівнянь Ерланга:

$$\begin{aligned} \frac{d p_0(t)}{dt} &= -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t) \\ &\dots \\ \frac{d p_k(t)}{dt} &= \lambda p_{k-1}(t) + (\lambda + k\mu)p_k(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t), \quad (1.14) \\ &\dots \\ \frac{d p_{n-1}(t)}{dt} &= \lambda p_{n-2}(t) - [\lambda + (n-1)\mu]p_{n-1}(t) + n\mu p_n(t) \end{aligned}$$

Відмінність нових рівнянь від рівнянь Ерланга почнеться при $k = n$. Справді, у стан x_n система з відмовами може перейти лише зі стану x_{n-1} ; що стосується системи з очікуванням, то вона може перейти в стан x_n не тільки з x_{n-1} , але і з x_{n+1} (всі канали зайняті, одна заявка стоїть у черзі).

Знаючи ймовірності всіх станів системи, можна легко визначити інші цікаві для нас характеристики, зокрема, ймовірність P_n того, що заявка залишить систему необслуженою. Визначимо її з наступних міркувань: при встановленому режимі ймовірність P_n того, що заявка залишить систему необслуженою, є не що інше, як відношення середньої кількості заявок, покидаючих чергу в одиницю часу, до середнього числа заявок, що знаходяться в одиницю часу. Знайдемо середню кількість заявок, що йдуть із черги в одиницю часу. Отримаємо:

$$P_H = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}} \quad (1.15)$$

Відносна пропускна здатність системи характеризується ймовірністю того, що заявка, що потрапила у систему, буде обслужена:

$$q = 1 - P_H.$$

Очевидно, що пропускна спроможність системи з очікуванням, при тих самих λ і μ , буде завжди вищою, ніж пропускна спроможність системи з відмовами: у разі наявності очікування необслуженими йдуть не всі заявки, що побачили n каналів зайнятими, а лише деякі. Пропускна спроможність збільшується при збільшенні середнього часу очікування $m_{t_{ож}} = \frac{1}{v}$.

Звідси, користуючись формулами вище, знайдемо

$$p_k = \frac{\frac{\alpha^k}{k!}}{\sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-a)}} \quad (0 \leq k \leq n) \quad (1.16)$$

та аналогічно для $k = n + s$ ($s \geq 0$)

$$p_{n+s} = \frac{\frac{\alpha^{n+s}}{n!n^s}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-a)}} \quad (1.17)$$

Середня кількість заявок, що у черзі, визначається з формули (1.15) при $\beta \rightarrow 0$:

$$m_s = \frac{\frac{\alpha^{n+1}}{n \cdot n! (1 - \frac{a}{n})^2}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-a)}}. \quad (1.18)$$

1.3.3. Режим обслуговування, що встановився. Формули Ерланга

Розглянемо n -канальну систему масового обслуговування, на вхід якої надходить найпростіший потік заявок із щільністю λ ; час обслуговування — показовий, з параметром μ . Виникає питання: чи буде стаціонарним випадковий процес, що протікає у системі? Очевидно, що на початку, відразу після включення системи в роботу, процес, що протікає в ній, ще не буде стаціонарним: у системі масового обслуговування (як і в будь-якій динамічній системі) виникне так званий «перехідний», нестаціонарний процес. Однак, через деякий час, цей перехідний процес загасне, і система перейде на стаціонарний, так званий «установлений» режим, імовірнісні характеристики якого вже не залежатимуть від часу.

У багатьох завданнях практики нас цікавлять саме характеристики граничного встановленого режиму обслуговування.

Можна довести, що для будь-якої системи з відмовами такий граничний режим існує, тобто. що при $t \rightarrow \infty$ всі ймовірності $p_0(t), p_1(t), \dots, p_n(t)$ прагнуть до постійних меж $p_0, p_1, \dots, p_n$, а всі їх похідні - до нуля.

Щоб знайти граничні ймовірності $p_0, p_1, \dots, p_n$ (імовірності станів системи у встановленому режимі), замінимо в рівняннях (19.8.8) всі ймовірності $p_k(t)$ ($0 \leq k \leq n$) їх межами p_k , а усі похідні покладемо рівними нулю. Отримаємо систему вже не диференціальних, а алгебраїчних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} -\lambda p_0 + \mu p_1 &= 0 \\ \dots \\ \lambda p_0 - (\lambda + \mu)p_1 + 2\mu p_2 &= 0 \\ \dots \\ -\lambda p_{k-1} - (\lambda + k\mu)p_k + (k+1)\mu p_{k+1} &= 0 \quad (0 < k < n) \\ \dots \\ \lambda p_{n-2} - (\lambda + (n-1)\mu)p_{n-1} + n\mu p_n &= 0 \\ \lambda p_{n-1} - n\mu p_n &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.19)$$

До цих рівнянь необхідно додати умову

$$\sum_{k=0}^n p_k(t) = 1 \quad (1.20)$$

Розв'яжемо систему (1.19) щодо невідомих $p_0, p_1, \dots, p_n$. З першого рівняння маємо

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0 \quad (1.21)$$

Із другого, з урахуванням (1.21),

$$p_2 = \frac{1}{2\mu} [-\lambda p_0 + (\lambda + \mu)p_1] = \frac{1}{2\mu} \left[-\lambda p_0 + \frac{\lambda^2}{\mu} p_0 + \lambda p_0 \right] = \frac{\lambda^2}{2\mu^2} p_0 \quad (1.22)$$

аналогічно з третього, з урахуванням (1.21) н (1.22),

$$p_3 = \frac{1}{3\mu} \left[-\frac{\lambda^2}{\mu} p_0 + \frac{\lambda^3}{2\mu^2} p_0 + \frac{\lambda^2}{2\mu^2} 2\mu p_0 \right] = \frac{\lambda^3}{3!\mu^3} p_0$$

і взагалі, для будь-якого $k \leq n$

$$p_k = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} p_0 \quad (1.23)$$

Введемо позначення

$$\frac{\lambda}{\mu} = \alpha \quad (1.24)$$

і назвемо величину α - зведеною щільністю потоку заявок. Це не що інше, як середня кількість заявок, що припадає на середній час обслуговування однієї заявки. Дійсно,

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda m_{t_{об}}$$

де $m_{t_{об}} = M[T_{об}]$ – середній час обслуговування однієї заявки. У нових позначеннях формула (1.23) набуде вигляду

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} p_0 \quad (1.25)$$

Формула (1.25) виражає всі ймовірності p_k через p_0 . Щоб висловити їх безпосередньо через α та n , скористаємося умовою (19.9.2). Підставивши до неї (1.25), отримаємо

$$\sum_{k=0}^n p_k = p_0 \sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} = 1$$

Звідки

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}} \quad (1.26)$$

Підставляючи (1.25) у (1.26), отримаємо остаточно

$$p_0 = \frac{\frac{\alpha^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}} \quad (0 \leq k \leq n) \quad (1.27)$$

Формули (1.27) називають формулами Ерланга. Вони дають граничний закон розподілу кількості зайнятих каналів залежно від показників потоку заявок та продуктивності системи обслуговування. Вважаючи у формулі (1.27) $k = n$, отримаємо ймовірність відмови (ймовірність того, що заявка, що надійшла, знайде всі канали зайнятими):

$$P_{\text{отк}} = p_n = \frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}} \quad (1.28)$$

Зокрема для одно канальної системи ($n = 1$)

$$P_{\text{отк}} = p_1 = \frac{\alpha}{1+\alpha} \quad (1.29)$$

а відносна пропускна здатність

$$q = 1 - P_{\text{отк}} = \frac{1}{1+\alpha} \quad (1.30)$$

Формули Ерланга (1.27) та їх наслідки (1.28)—(1.30) виведені нами для випадку показового розподілу часу обслуговування. Проте дослідження останніх років показали, що ці формули залишаються справедливими і за будь-якого закону розподілу часу обслуговування, аби вхідний потік був найпростішим [10].

1.3.4. Властивості найпростішого потоку подій

Під потоком подій в теорії ймовірностей розуміється послідовність подій, що відбуваються одна за одною в якісь моменти часу. Прикладами можуть бути: потік викликів на телефонній станції; потік включень приладів у побутовій електромережі; потік замовних листів, що надходять до поштового відділення; потік збоїв (несправностей) електронної обчислювальної машини; потік пострілів, спрямованих до цілі під час обстрілу, і т. п. Події, що утворюють потік, у загальному випадку можуть бути різними, але будемо

розглядати лише потік однорідних подій, що розрізняються лише моментами появи. Такий потік можна зобразити як послідовність точок $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots$ на числовій осі (рис. 1.3), що відповідають моментам появи подій[7].



Рисунок 1.3 – Числова вісь потоку подій

Потік подій називається регулярним, якщо події слідує одна за іншим через певні проміжки часу. Такий потік порівняно рідко зустрічається в реальних системах, але цікавий як граничний випадок. Типовим для системи масового обслуговування випадковий потік заявок.

Розглянемо потоки події, які мають деякі особливо прості властивості. Для цього введемо низку визначень.

1. Потік подій називається стаціонарним, якщо ймовірність попадання того чи іншого числа подій на ділянку часу довжиною T (рис. 1.3) залежить тільки від довжини ділянки і не залежить від того, де саме на осі Ot розташована ця ділянка.

2. Потік подій називається потоком без післядії, якщо для будь-яких ділянок часу, що не перекриваються, кількість подій, що попадають на одну з них, не залежить від кількості подій, що потрапляють на інші.

3. Потік подій називається ординарним, якщо ймовірність попадання на елементарну ділянку Δt двох або більше подій досить мала в порівнянні з ймовірністю попадання однієї події.

Якщо потік подій має всі три властивості (тобто стаціонарний, ординарний і не має післядії), то він називається найпростішим (або стаціонарним пуассонівським) потоком.

Назва «пуассонівський» пов'язана з тим, що при дотриманні умов 1-3 число подій, що потрапляють на будь-який фіксований інтервал часу, буде розподілено за законом Пуассона.

1.4. AnyLogic як середовище імітаційного моделювання та його переваги

Існують різні методи для розрахунку параметрів систем розподілу викликів. В роботі проведено розрахунок рівня обслуговування звернень, що надходять до КЦ, за допомогою імітаційного моделювання на базі програмного забезпечення AnyLogic.

Сутність імітаційного моделювання у тому, що з досліджуваної системи створюється досить точна модель, щодо експериментів з різними варіантами функціонування даної системи та подальшим їх аналізом. Імітаційні моделі дозволяють враховувати фактори, що ускладнюють вивчення предметної області при використанні аналітичного методу дослідження та проводити повторні експерименти з оновленими даними, що призводить до економії не лише часу, а й фінансових засобів власника системи. У роботі розглядається оптимізація роботи колл центру за рахунок оптимізації кількості операторів, які приймають та обробляють дзвінки різної тематики.

Імітаційне моделювання вирішує проблеми реального світу безпечно та розумно. Це зручний інструмент для аналізу: він наочний, простий для розуміння та перевірки. У різних галузях бізнесу та науки імітаційне моделювання допомагає знайти оптимальні рішення та дає чітке уявлення про складні системи.

Біти замість атомів: імітаційне моделювання – експеримент над достовірним цифровим уявленням будь-якої системи. На відміну від фізичного моделювання, такого як створення макета будівлі, імітаційне моделювання ґрунтується на комп'ютерних технологіях, що використовують алгоритми та рівняння. Імітаційну модель можна аналізувати у динаміці, а також переглядати анімацію у 2D або 3D [12].

Комп'ютерне моделювання використовується в бізнесі, коли проведення експериментів на реальній системі неможливе або непрактичне, найчастіше через їхню вартість або тривалість.

Можливість аналізувати модель діє відрізняє імітаційне моделювання від інших методів, наприклад, від використання Excel або лінійного програмування. Користувач вивчає процеси та вносить зміни до імітаційної моделі під час роботи, що дозволяє краще проаналізувати роботу системи та швидко вирішити поставлене завдання.

Застосування імітаційного моделювання для вивчення та оптимізації деякого процесу має великий перелік переваг:

1. Безризикове середовище.

Моделювання дозволяє безпечно застосувати та проаналізувати можливі сценарії «що якщо». Наприклад, побачити ефект від зміни кількості працівників на заводі, не наражаючи на ризик виробництва. Ухвалюйте правильні рішення, перш ніж вносити реальні зміни в систему!

2. Заощадження часу та грошей.

Віртуальні експерименти з імітаційними моделями обійдуться набагато дешевше та займуть менше часу, ніж експерименти з реальними системами. Наприклад, ви зможете тестувати ефективність маркетингових кампаній, не привертаючи уваги конкурентів та уникаючи зайвих витрат.

3. Візуалізація.

Можливість представлення імітаційних моделей у 2D та 3D зробить будь-які ідеї та концепції наочнішими, їх простіше перевіряти та обговорювати з колегами. Аналітики та інженери, подивившись модель у дії, зможуть зробити правильні висновки самі та чітко донести їх до керівництва.

4. Розуміння динаміки.

На відміну від аналітики на основі таблиць чи методом лінійної оптимізації, моделювання дає можливість спостерігати поведінку реальної системи у часі з необхідним рівнем детальності. Наприклад, можна перевірити рівень завантаження складського приміщення на дату.

5. Підвищена точність.

Імітаційна модель відображає набагато більше деталей, ніж аналітична. Це робить імітаційну модель точнішою, а прогнози на її основі більш

визначеними. Наприклад, гірничодобувні компанії можуть значно скоротити витрати, якщо оптимізують використання ресурсів і зроблять прогноз потреби в обладнанні.

6. Управління в умовах невизначеності.

Невизначеність у часі та результатах операцій легко відображається за допомогою імітаційної моделі, що дозволяє оцінити рівень ризику та знайти найбільш надійні рішення. Наприклад, можна отримати реалістичну картину роботи логістичної мережі, якщо включити до моделі випадкові величини, такі як терміни доставки [12].

1.4.1. Приклад застосування імітаційного моделювання у AnyLogic

Наведений нижче приклад може знайти застосування під час вирішення великого класу завдань. Наприклад, проблеми управління людськими та технічними ресурсами. Моделювання допоможе будь-якій комерційній компанії знизити витрати на матеріали, кадри та обладнання.

У першому етапі встановлюється основний критерій рівня обслуговування у банку – середній обсяг черги. Далі вибираються відповідні параметри системи для задання параметрів моделі: кількість клієнтів, інтенсивність їх прибуття, час на прийом одного клієнта та природні відхилення від середніх величин, що періодично виникають, наприклад, години пік та складні запити клієнтів.

Потім створюється блок-схема, що відповідає структурі відділення банку та його бізнес-процесам (рис. 1.4). Модель враховує лише фактори, що впливають на аналізовану проблему. Наприклад, наявність відділення обслуговування юридичних чи кредитного відділу не впливає на обслуговування фізичних осіб, оскільки ці відділи фізично і функціонально відділені.

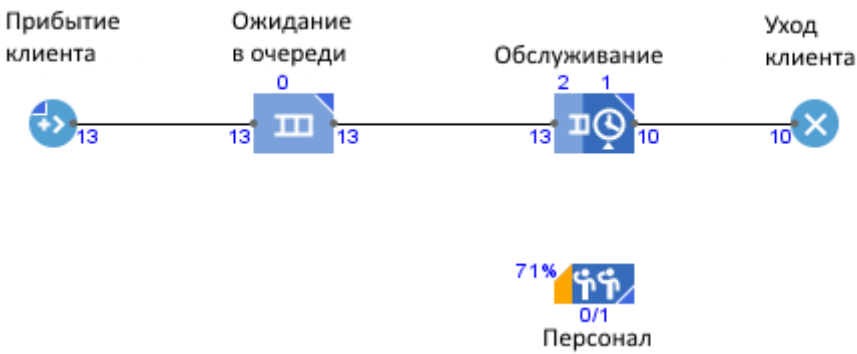


Рисунок 1.4 – Модель відділення банку

Нарешті, після завантаження в модель вхідних даних, імітація запускається, і з'являється можливість переглянути роботу відділення банку в динаміці (рис. 1.5), що дозволяє обробити та проаналізувати результати. Якщо середній розмір черги клієнтів (рис. 1.6) перевищив встановлену межу, кількість доступних співробітників збільшують, і експеримент виконується заново. Цей процес може автоматично виконуватись, доки не буде знайдено оптимальне рішення.

Время	Событие
19:54	клиент № 167 пришел и встал в очередь
19:56	клиент № 168 пришел и встал в очередь
19:57	клиент № 164 закончил обслуживаться и ушел
19:57	клиент № 167 начал обслуживаться

Рисунок 1.5 – Хронологія роботи моделі відділення банку



Рисунок 1.6 – Графік розподілу довжини черги

Змінюючи вхідні дані моделі, можна швидко досліджувати безліч сценаріїв. Їх можна протестувати, досліджувати в динаміці та зіставити один з

одним. Завдяки цим результатам, аналітики, інженери та менеджери можуть робити висновки та приймати рішення з упевненістю[12].

1.5. Висновки до розділу

У даному розділі випускної кваліфікаційної роботи було проведено огляд поняття контактний центр, основні процеси, які в ньому відбуваються та ключові показники ефективності його роботи. Також, була розглянута основна модель аналізу роботи контактного центру - система масового обслуговування. Вивчені такі види системи масового обслуговування, як СМО з відмовами, з очікуванням та змішані моделі.

Також, вивчений один з основних методів розрахунку СМО за формулою Erlang C. Вивчено необхідні умови застосування формул Ерланга для розрахунку кількості ресурсів – властивості найпростішого потоку.

Вивчено можливості середовища імітаційного моделювання Any Logic для подальшого створення процесу обробки звернень до КЦ.

2 ПОБУДОВА І ОПТИМІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ КОЛ ЦЕНТРУ

2.1. Опис об'єкта досліджень

Контактний центр (КЦ) – це скоординована система людей, процесів, технологій та стратегій, яка ефективно об'єднує в одне ціле ресурси компанії і численні канали комунікації для того, щоб забезпечити таку взаємодію з клієнтами, яке буде приносити користь як клієнтам, так і компанії.

У даній роботі розглядається процес роботи контактного центру компанії побутової техніки COMFY. Цей контактний центр щоденно обробляє 1500 - 2000 запитів клієнтів на гарячу лінію, 600-800 запитів клієнтів через чати, 2500 інтернет-замовлень, при цьому налічує 170 працівників, з яких:

- 42 оператори гарячої лінії;
- 50 спеціалістів з обробки інтернет-замовлень;
- 13 спеціалістів з питань доставки;
- 15 спеціалістів з питань обробки скарг клієнтів;
- 17 спеціалісти служби підтримки продажів, які вирішують різноманітні проблеми продавців мережі офлайн магазинів.

У даній дослідницькій роботі ми більш детально розглянемо логіку підрозділу обробки вхідних дзвінків, а саме, модель роботи КЦ, як систему масового обслуговування з очікуванням.

Опис процесу прийняття та обробки вхідних дзвінків. Основна мета відділу обробки вхідних дзвінків – забезпечити якісну та своєчасну допомогу клієнтам, які до нього звертаються.

Структурно КЦ складається з декількох розділів, які взаємодіють із клієнтом з різних питань. При цьому, вхідною точкою при комунікації клієнта з КЦ через гарячу лінію - залишається оператор гарячої лінії. Під час спілкування з клієнтом, він або вирішує питання самостійно, або переводить запит клієнта на відповідний підрозділ.

Далі розглянемо детально процес прийняття та обробки вхідного дзвінка клієнта контактним центром:

1. Клієнт здійснює дзвінок на гарячу лінію контактного центру
2. IVR пропонує клієнту обрати клієнту один з напрямків, який відповідає його запиту
3. Клієнт робить свій вибір (якщо ні – потрапляє на звичайного оператора)
4. Система розраховує орієнтовний час очікування до з'єднання з оператором, виходячи з навантаження на контактний центр, розмір поточної черги, середню довжину розмови за останній час.
5. Система порівнює розраховане значення із заданим значення критичного (з точки зору керівництва контактного центру) часу очікування при з'єднання з оператором.
 - 5.1. Якщо це значення не перевищують критичне – система оголошує час очікування та ставить клієнта останнім у чергу. Працює принцип FIFO (first in first out).
 - 5.2. Інакше – клієнту повідомляється орієнтовний час очікування та пропонується створити заявку на передзвін. Це означає, що клієнту не потрібно буде чекати, а КЦ сам передзвонить клієнту, як тільки напруга на КЦ зменшиться.
 - 5.2.1. Якщо клієнт погоджується, Система програє аудіо-ролик, що заявка на передзвін зареєстрована. Ставить Клієнта у чергу на передзвін, та завершує телефонний зв'язок.
 - 5.2.2. Інакше – Система ставить клієнта останнім у чергу. Аналогічно п. 5.1.
6. Якщо Клієнт очікує на лінії з'єднання з Оператором, до тих пір, поки не з'явиться вільний Оператор і при цьому Клієнт буде першим у черзі – Система з'єднує Клієнта та Оператора. Перехід до п.8
7. Інакше, коли клієнт не дочекався з'єднання, Система розраховує фактичний час очікування як час завершення зв'язку - час постановки у чергу.

7.1. Якщо цей період менше 20 секунд, процес обробки завершується

7.2. Інакше, Система відправляє клієнту повідомлення з пропозицією продовжити спілкування в чаті.

8. Оператор спілкується з клієнтом для вирішення його питання. Це може бути здійснено в одну комунікацію, або, якщо питання складне. Оператор може взяти час на обробку проблеми, щоб вирішити її самостійно або за допомогою інших підрозділів, а потім – передзвонити клієнту у визначений час, щоб повідомити про результати розв’язку його запиту. Далі більш детально розглянемо процес пост обробки звернень клієнтів. У будь-якому випадку – при вирішенні питання, або визначенні часу повторного контакту, оператор завершує комунікацію з клієнтом, завершуючи телефонний зв'язок.

На схемі нижче (рис. 2.1 та рис.2.2) продемонстрований такий процес прийому та обробки вхідних звернень клієнтів до контактного центру.

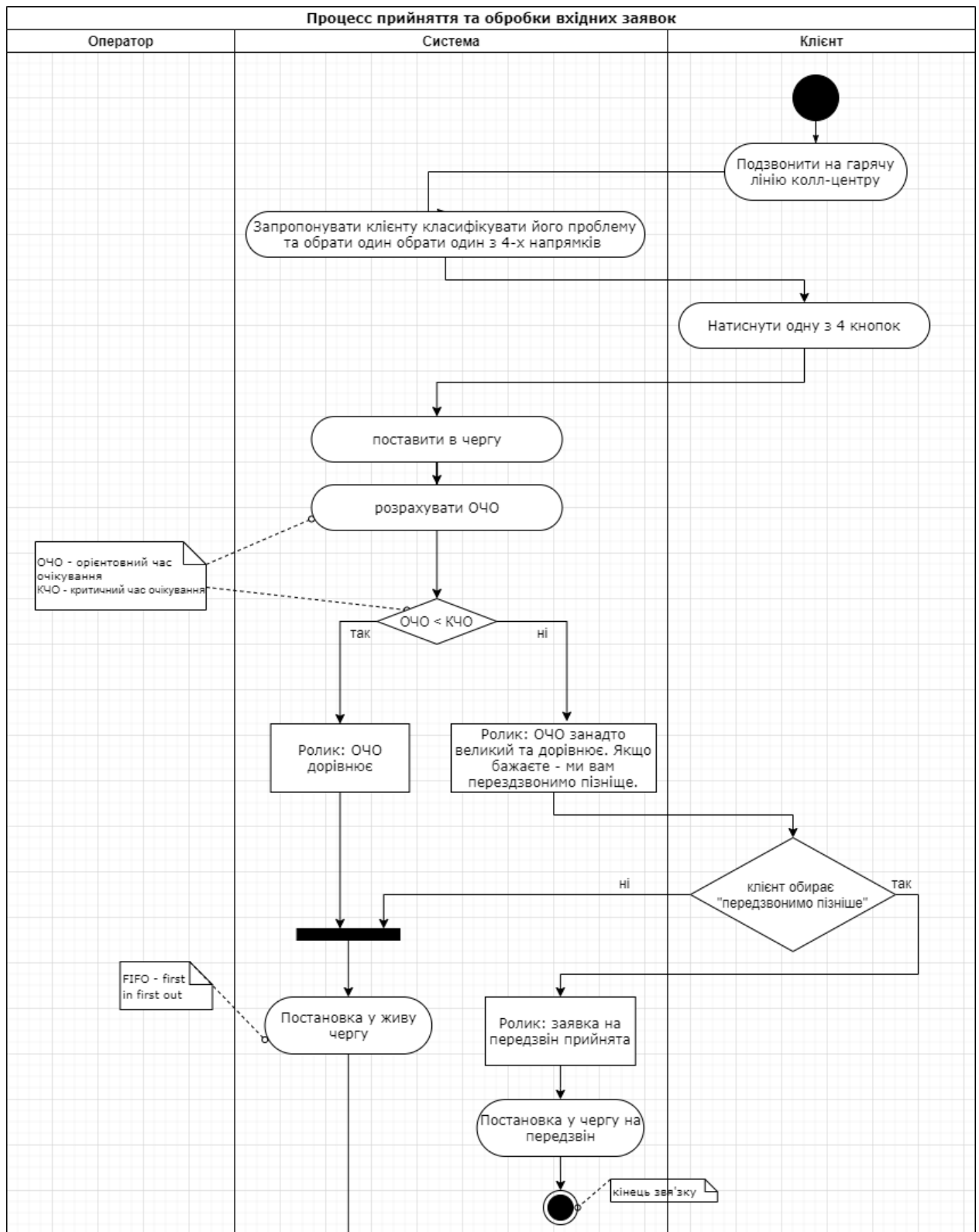


Рисунок 2.1 – Схема процесу прийняття вхідних заявок, частина 1

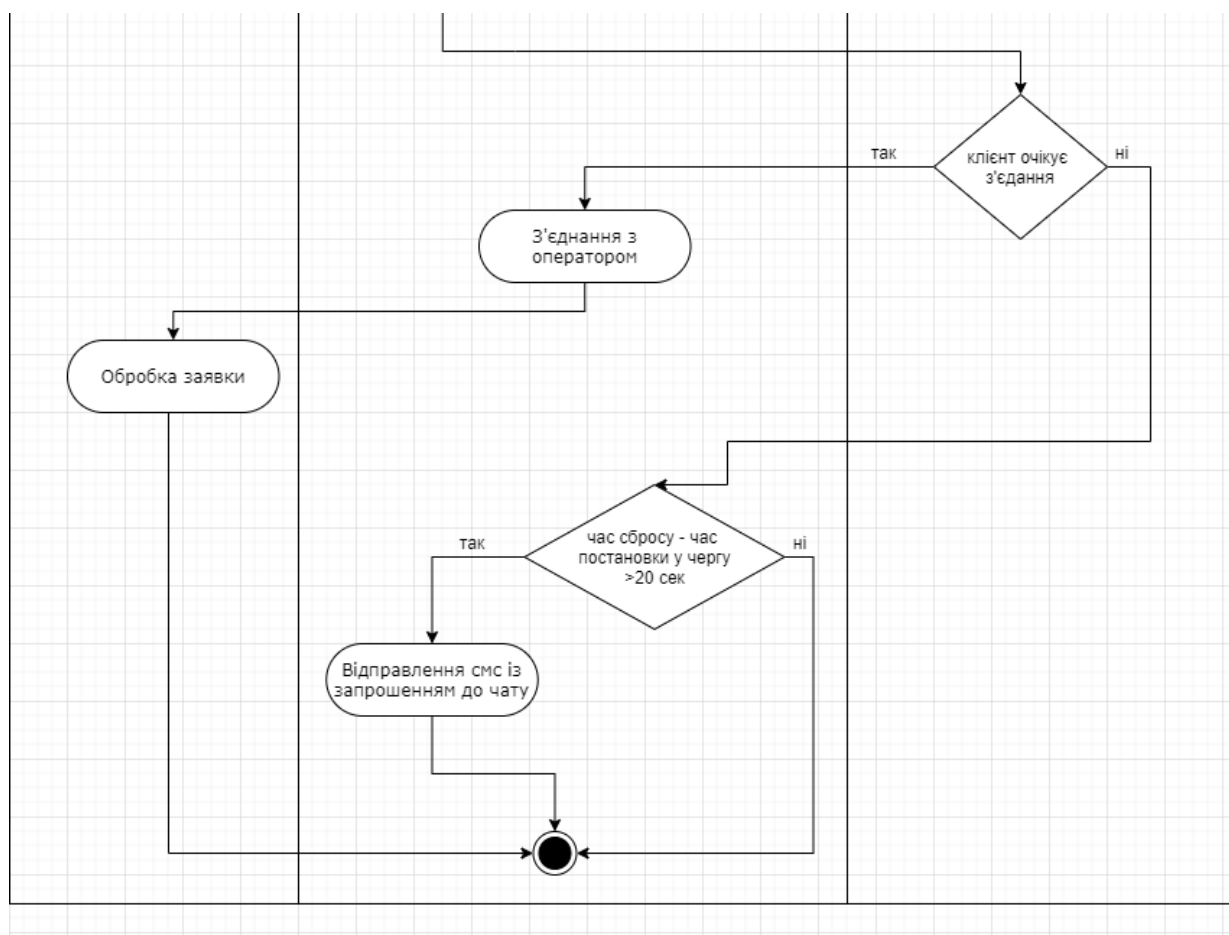


Рисунок 2.2 – Схема процесу прийняття вхідних заявок, частина 2

2.2. Аналіз проблемних областей

В умовах пандемії більшість ритейл компаній вимушені переводити фокус продаж у онлайн простір. Часті локдауни, обмеження по кількості людей у приміщенні, маски та інші карантинні обмеження спонукають споживачів усе частіше надавати перевагу онлайн-шоппінгу. А значить, і отримувати дистанційні консультації щодо свого замовлення. Саме тут на допомогу приходить контакт центр.

Такий різкий перехід з офлайн до онлайн спричинив шоковий рівень навантаження на контакт-центри країни. Та оскільки будь-який приріст запитів від клієнтів до бізнесу обіцяє приріст продажів. Компанії, що

зацікавлені у швидкій адаптації та успішному функціонуванні навіть у період пандемії, мають швидко адаптуватися під нові «правила» ринку. А отже, оцінювати задоволеність клієнтів від комунікації з колл-центром, оцінювати швидкість та якість з'єднання, планувати необхідну кількість операторів для покриття нового, значно вищого, рівня навантаження.

Друга проблема, яку хотілося б зазначити, це комунікація зі штучним інтелектом при телефонуванні до кц. Безумовно, даний інструмент дуже зручний при відповіді на масові однотипні запитання клієнтів, значно заощаджує людський ресурс. Але чи так само він ефективний коли контактний центр – це засіб підвищення рівня продажів? На жаль, вже проведено багато дослідів, які свідчать, що клієнт не відчуває емоційного задоволення від комунікації з ботом, часто нервує, і вже точно не зреагує на пропозицію бота додати аксесуар до кошику при купівлі основного товару. Тому потреба задіяння у колл-центрі професійних та компетентних операторів, які консультують по замовленню, рекомендують супутні товари, або альтернативу при відсутності бажаного товару у наявності, вирішують запити «складних» клієнтів – просто необхідна.

А значить, і проблема планування ресурсів контактного центру так само актуальна. З висвітлених вище проблем, можна зробити висновок, що однаково важливо і якість комунікації, і швидкість з'єднання з оператором. Саме для вирішення цих проблем далі у роботі буде проведений аналіз та моделювання роботи колл-центру компанії, з метою визначення необхідної кількості операторів у зміні для забезпечення бажаного рівня сервісу.

2.3. Постановка задачі

Ефективним методом спілкування компаній зі своїми клієнтами є контактні центри. Рациональне використання людських ресурсів для забезпечення їх роботи є також важливою проблемою для оптимізації затрат.

Якщо точно спрогнозувати навантаження на КЦ у майбутні періоди, то витрати на його підтримку можна значно зменшити за рахунок раціонального використання робочого часу операторів компанії.

Успіх роботи будь-якого контактного сервісу лежить на перетині трьох складових – якість комунікації, легка доступність (зниження проценту відмов) та мінімальна необхідна кількість співробітників, які можуть забезпечити попередні дві вимоги.

У даній роботі фокус поставлено на пошук інструменту розрахунку необхідної мінімальної кількості людських ресурсів для покриття заданого рівня сервісу.

Існує контактний центр з власною CRM системою, відділами обробки вхідних дзвінків, доставки, скарг та іншими, власною базою даних, можливістю розраховувати показники ефективності роботи, можливістю розробки нових модулів та функції для полегшення роботи операторів, а значить, прискорення процесу обробки запитів клієнтів. Поточну ситуацію у контактному центрі можна описати таким набором параметрів:

- Кількість операторів 30-40 чоловік в залежності від зміни;
- Середня кількість дзвінків в тиждень 12500 одиниць;
- Поточний час Очікування на лінії до з'єднання – 70 секунд
- Поточний процент відмови (коли клієнт не дочекався з'єднання) не перевищує 25%;

Мета роботи – мінімізувати кількість операторів у зміні так, щоб:

- Процент відмови клієнту був мінімальним не перевищував 20%
- Середній час очікування клієнта на лінії не перевищував 20 секунд.

А також, підібрати якісний інструмент для подальшого впровадження розрахунку у планування змін колл-центру компанії.

Реалізувати поставлену задачу за допомогою таких етапів:

- Аналіз потоку подій СМО;
- Розрахунок необхідної кількості ресурсів за формулою Ерланга;
- Імітаційне моделювання обробки потоку звернень;
- Планування змін;
- Формування інструменту/інструкції для подальшого

впровадження у процес планування ресурсів колл-центру.

У результаті застосування даного методу розрахунку кількості операторів колл-центру, очікується позитивна економічна ефективність, завдяки зниженню витрат зарплатного фонду.

2.4. Аналіз характеру потоку звернень

Проаналізуємо характер потоку звернень до контактного центру на протязі півріччя з липня по грудень, тобто навантаження повинно бути приблизно рівне, з різким підвищенням у період новорічних свят. Та виведемо криву середніх значень навантаження на КЦ.

Для початку порівняємо числа місяця. Тобто нанесемо на графік кількість звернень по місяцям в один и той самий день місяця.

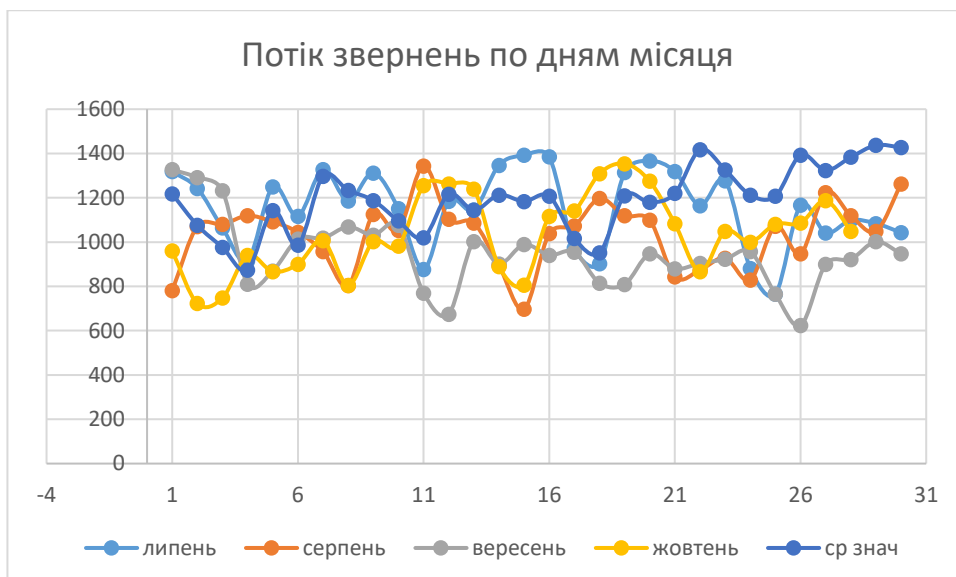


Рисунок 2.3 – Середня кількість звернень по дням місяця липень – жовтень 2023р

Як бачимо, середня кількість звернень помісячно приблизно рівна з деякими незначними коливаннями, але поведінка доволі хаотична (рис. 2.3). Спробуємо спів ставити однакові дня тижня у місяцях та дослідити поведінку графіка (рис. 2.4).

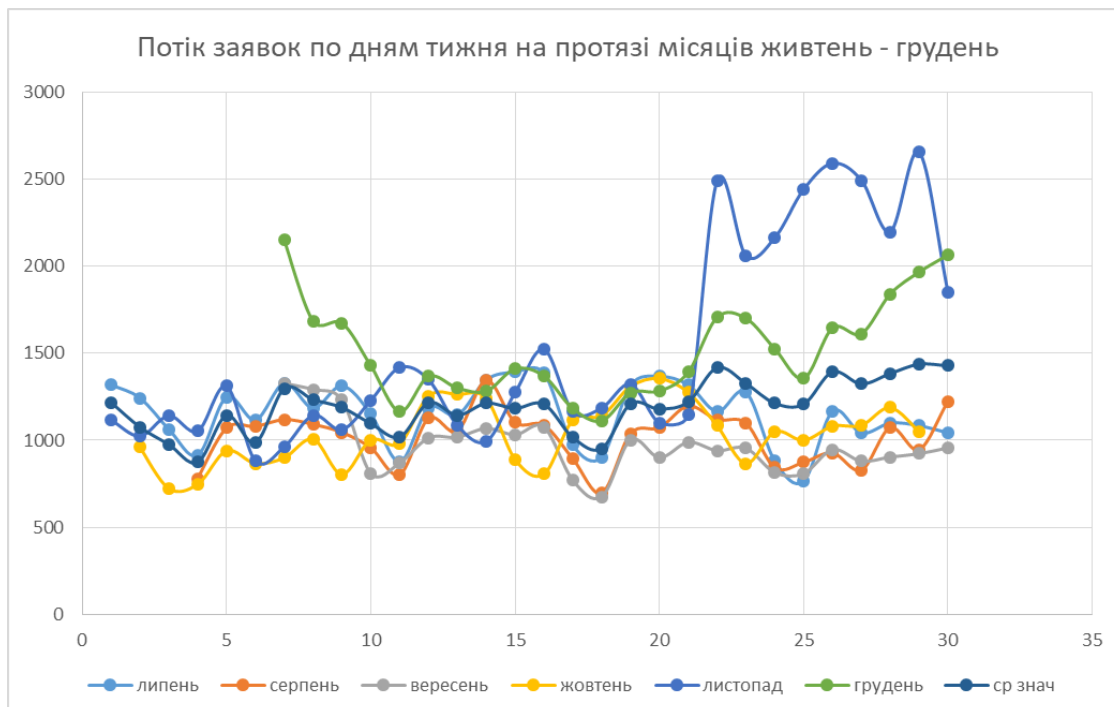


Рисунок 2.4 – Середня кількість звернень, співставлення по дням тижня, липень – жовтень 2023р

При такому співставленні значень навантаження на колл центр, поведінка зросту та спаду навантаження збігається.

З чого можемо зробити висновок, що доцільно досліджувати ряд навантаження у розрізі однакових днів тижня, а не однакових чисел місяця.

Далі дослідимо погодинно потік звернень у п'ятниці жовтня, так як на графіку півріччя (табл. 2.1), жовтень має найбільший розкид пікових значень, при цьому без наявності святкових днів, як у грудні та листопаді.

Зробимо запит на бази даних контактного центру за кожне число, яке нас цікавить:

```
SELECT count(*), EXTRACT(HOUR FROM start_at) as HR
FROM crm.calls
where start_at between '2023-10-08 00:48:55.372997+02' and '2023-10-08
23:48:55.372997+02'
and type = 'INCOMING'
and contact_centers_id='COMFY'
and answer_at is not null
group by HR
order by HR
```

Таблиця 2.1 — Кількість звернень по годинам у п'ятниці жовтня 2023 року

Години	01.10.22	08.10.22	15.10.22	22.10.22	29.10.22	Сер. знач.
8	30	28	27	33	22	28
9	63	77	79	99	68	77
10	102	110	130	109	100	110
11	90	118	144	128	110	118
12	104	110	114	116	104	110
13	87	105	127	108	99	105
14	83	114	132	122	117	114
15	95	112	110	128	113	112
16	84	108	120	121	108	108
17	77	95	98	103	102	95
18	66	73	76	59	90	73
19	45	57	41	68	73	57
20	22	37	19	54	54	37
21	12	23	23	27	28	23

Побудуємо графік на основі отриманих даних (рис. 2.5).

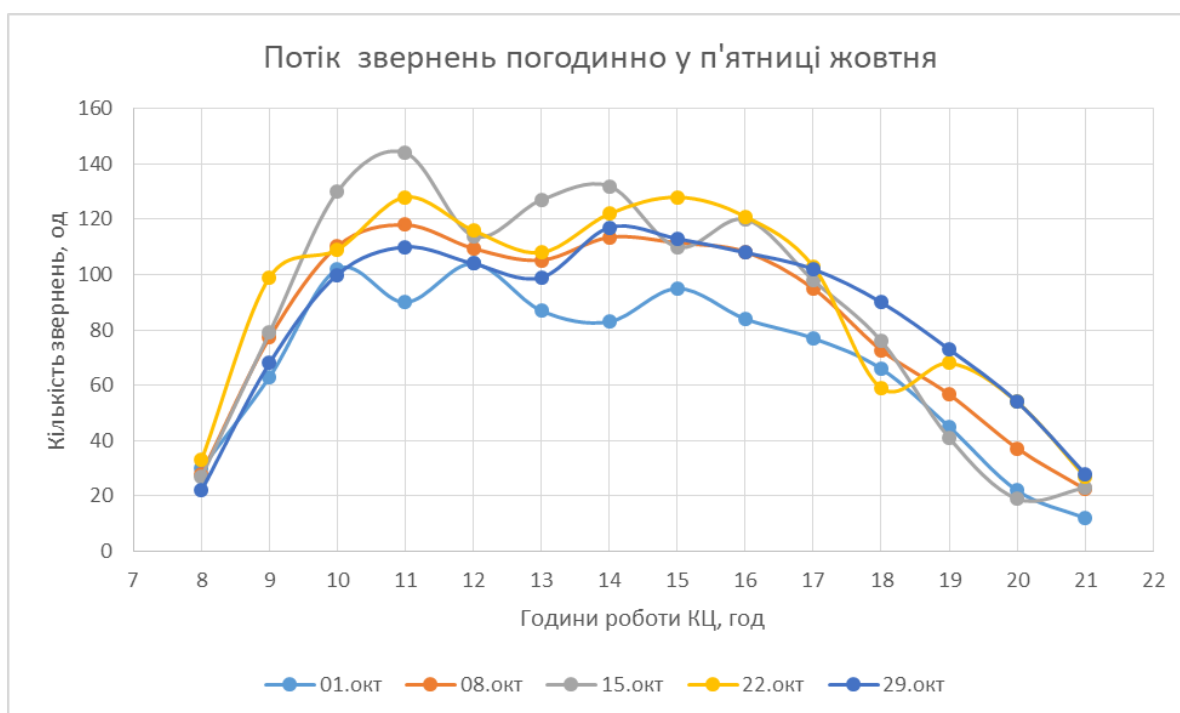


Рисунок 2.5 – Потік звернень по годинам у п'ятниці жовтня 2023 року

Як бачимо, поведінка піків та спадів графіку у розрізі годин дня по п'ятницям грудня співпадає. Найбільше навантаження припадає на 11ту та 14-15ту годину доби (рис. 2.5).

Якщо усереднити погодинне навантаження на кц по всім п'ятницям жовтня, отримаємо наступний графік (рис. 2.6).

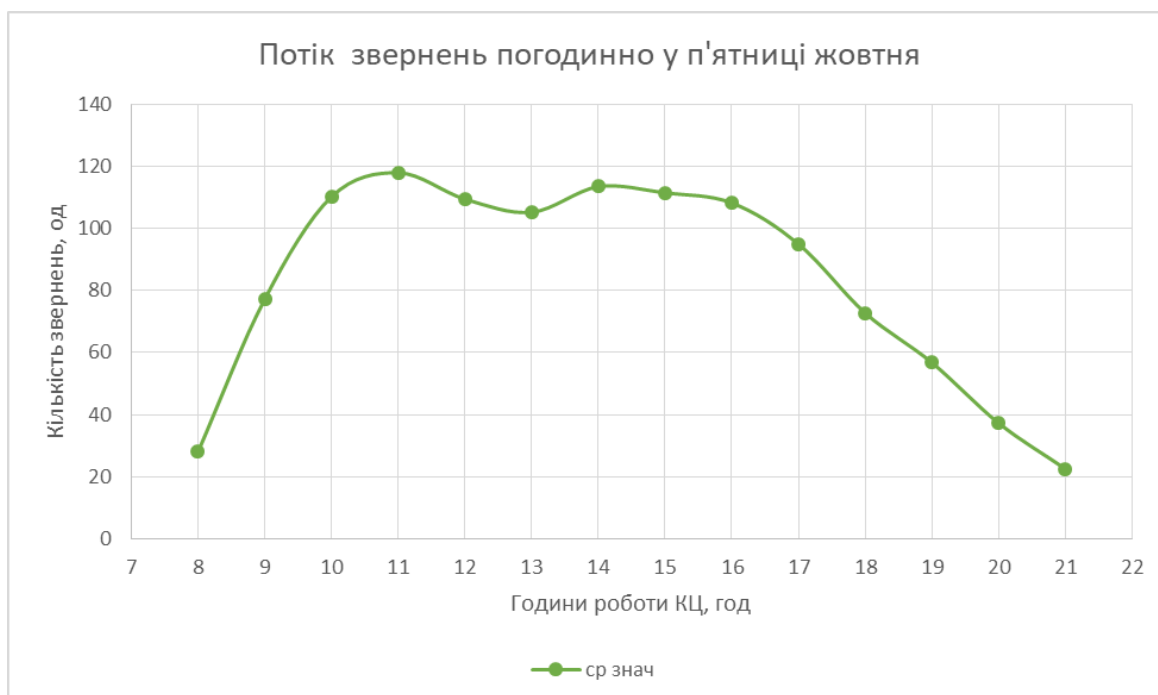


Рисунок 2.6 – Усереднений потік звернень по годинам по п'ятницям жовтня 2023 року

Для використання формул Ерланга, необхідно, щоб потоки заявок мали найпростіший розподіл - залишалися пуассонівськими, без цього процес не буде Марковським.

Потік однорідних подій називається найпростішим, якщо він має наступні три властивості:

- Стаціонарність
- Відсутність післядії
- Ординарність

Перевіримо ряд часу обслуговування звернень на протязі робочої зміни на за цими трьома показниками.

Стаціонарний часовий ряд. Спостереження у стаціонарному часовому ряду не залежать від часу. Умовою стаціонарності задовольняє потік заявок, ймовірні характеристики якого не залежать від часу. Зокрема, для стаціонарного потоку характерна постійна платність (середнє число заявок в одиницю часу). Насправді часто зустрічаються потоки заявок, які (принаймні, на обмеженому відрізку часу) можуть розглядатися як стаціонарні. Наприклад, потік викликів на міській телефонній станції на ділянці часу від 14 до 15 години може вважатися стаціонарним. Той же потік протягом цілої доби вже не може вважатися стаціонарним (вночі щільність викликів значно менше, ніж вдень). Зауважимо, що так і з усіма фізичними процесами, які ми називаємо «стаціонарними: насправді всі вони стаціонарні лише на обмеженій ділянці часу, а поширення цієї ділянки до нескінченності - лише зручний прийом, застосовуваний з метою спрощення аналізу. У багатьох завданнях теорії масового обслуговування цікавить проаналізувати роботу системи за постійних умов; тоді завдання вирішується для стаціонарного потоку заявок.

Як видно на погодинному графіку (рис. 2.6) потоків заявок у п'ятниці жовтня –потік заявок не буде стаціонарним на протязі усього робочого дня. Але ми можемо виділити такі проміжку часу, де потік можна назвати

стаціонарним. Та розрахувати необхідну кількість операторів на кожному з цих проміжків.

Потік подій називається потоком без післядії, якщо для будь-яких ділянок часу, що не перекриваються, кількість подій, що попадають на одну з них, не залежить від кількості подій, що потрапляють на інші.

Оскільки вхідний потік заявок СМО не залежить від кількості подій на попередньому проміжку часу на впливає на кількість звернень у майбутньому, то даний часовий ряд не має післядії.

Властивість ординарності означає, що заявки приходять поодиноці, а не парами, трійками і т. д. Іншими словами, ймовірність появи більше однієї події на малій ділянці часу зневажливо мала порівняно з ймовірністю появи лише однієї події. Дана властивість так само виконується, оскільки інтервал прийому заявок можна поділити на такі малі відрізки, щоб у одиницю часу була отримана лише одна заявка.

Як було зазначено раніше, умова ординарності та відсутності післядій виконується на всьому проміжку часу, а умова стаціонарності може виконуватися лише на фіксованих інтервалах часу у декілька годин, де рівень навантаження на кц можна вважати стаціонарним.

2.5. Розрахунок необхідної кількості операторів КЦ для СМО з очікуванням. Метод Ерланга

Ефективність роботи контакт-центру визначається за допомогою такого показника, як рівень сервісу. Рівень сервісу визначається як відсоток викликів, оброблених протягом деякого допустимого часу очікування. Таким чином, той факт, що виклик клієнта буде оброблений протягом допустимого часу очікування залежить:

- від обсягу викликів, оброблюваних контакт-центром;

- часу, що витрачається оператором на обробку кожного виклику.

Розглянемо схему обробки виклику у описаному контакт-центрі. Етапи проходження виклику в організації з контакт-центром:

- i. Клієнт піднімає трубку і набирає номер телефону організації.
- ii. Виклик надходить оператору. Оператор обробляє виклик самостійно або переводить виклик клієнта на конкретного фахівця, заводить картку звернення клієнта.
- iii. У складному випадку дзвінок буде поставлено на фахівця.

Така організація контакт-центру дозволяє обробляти максимальну кількість викликів розвантаживши при цьому кваліфікованих фахівців переклавши обов'язки по спілкуванню з клієнтами на співробітників контакт-центру.

Припустимо, що в систему, що складається з m ліній, надходить найпростіший потік викликів, при цьому кожен прийнятий виклик обслуговується з інтенсивністю μ .

Будемо вважати наш контакт-центр системою масового обслуговування з очікуванням.

При надходженні наступного виклику можливі дві ситуації:

- якщо є хоча б одна вільна лінія, то виклик обробляється цієї лінією;
- якщо вільних ліній немає, то виклик встає в чергу з якої його обробляє перша звільнилася лінія.

Довжина черги є випадковою і не обмеженої по довжині. Будемо рахувати, що втрат в системі немає (покупець не кладе слухавку), виклик чекає обслуговування себе в черзі.

Розглянемо багатолінійну систему масового обслуговування з очікуванням.

Стану системи будуть двох видів:

- черзі немає, $0 < k < m$;
- чергу є $k > m$.

Друга формула Ерланга (Ерланг С) для граничних ймовірностей матиме вигляд [1].

Важливо знати, що рівень обслуговування змінюється дуже помітно, якщо змінюється кількість операторів: брак одного оператора може знизити рівень обслуговування в середньому на 20 %. Водночас один додатковий оператор може справити суттєвий позитивний вплив на показники.

Оскільки умова застосування методу Ерланга виконується тільки на фіксованих інтервалах часового ряду, розрахуємо необхідну кількість операторів за методом Ерланга по годинно, а далі приймемо рішення, скільки операторів оптимально брати у зміну для покриття заданого рівня навантаження.

Розрахунок необхідної кількості одночасно працюючих операторів в залежності від навантаження можна здійснити за формулою Erlang C .

$$E_c(m, A) = \frac{A^m / m!}{\frac{A^m}{m!} + (1 - \frac{A}{m}) \sum_{k=0}^{m-1} A^k / k!} \quad (2.1)$$

де m – кількість операторів; A – навантаження на контактний центр в Ерлангах.

У нашому випадку навантаження обчислюється за формулою

$$A = T_s \lambda ,$$

де T_s – середній час обробки дзвінка; λ – число дзвінків в одиницю часу (як правило, 15, 30 або 60 хвилин, а середній час обробки дзвінка має бути в тих же одиницях). Також часто навантаження ділять на коефіцієнт корисної дії оператора (від 70 до 90 відсотків, порахований статистично, або прийнятий за основу), аби отримати реалістичніші результати.

$$T_s = 3 \text{ мин } 30 \text{ сек} = 3,5 \frac{\text{хв}}{60} = 0,06 \text{ год}$$

$$\lambda = 100 \text{ дз/год}$$

$$A = 0,9 * 0,06 * 100 = 5,4$$

Розрахунковий рівень сервісу (ймовірність відповіді на дзвінок протягом заданого часу) обчислюється за формулою:

$$SL = 1 - E_c(m, A) e^{-(m-u)} \frac{t}{T_s} \quad (2.2)$$

де t – межа рівня сервісу.

$$SL = 1 - E_c(m, A) e^{-(m-u)} \frac{t}{T_s} = 1 - \frac{\frac{A^m}{m!}}{\frac{A^m}{m!} + \left(1 - \frac{A}{m}\right) \sum_{k=0}^{m-1} \frac{A^k}{k!}} * e^{-(m-u)} \frac{t}{T_s}$$

$$T_s = 0,06 \text{ год}$$

$$A = 0,9 * 0,06 * 100(m) = 5,4$$

Для проведення розрахунків за формулою Erlang C необхідно врахувати такі складові параметри обробки викликів:

- час однієї розмови;
- час, необхідний оператору на обробку виклику після його завершення.
- кількість викликів на годину;
- час затримки при відповіді на кожен виклик (час очікування в черзі).
- передбачуваний рівень обслуговування.

Задавши параметри, отримаємо залежність ймовірності з'єднання виклику з оператором контактного центру (без очікування в черзі) від кількості операторів (табл. 2.2). Для розрахунку кількості операторів можна скористаємося готовими інструментами, наприклад, Erlang calculator.

Таблиця 2.2 — Результати розрахунку необхідної кількості операторів погодинно при SL=80%, 20сек

Години	Кількість операторів, од
8	4
9	8
10	10
11	11
12	10
13	10
14	10
15	10
16	10
17	9
18	7
19	6
20	4
21	3

Побудуємо графік на основі отриманих значень (рисунок 2.7).

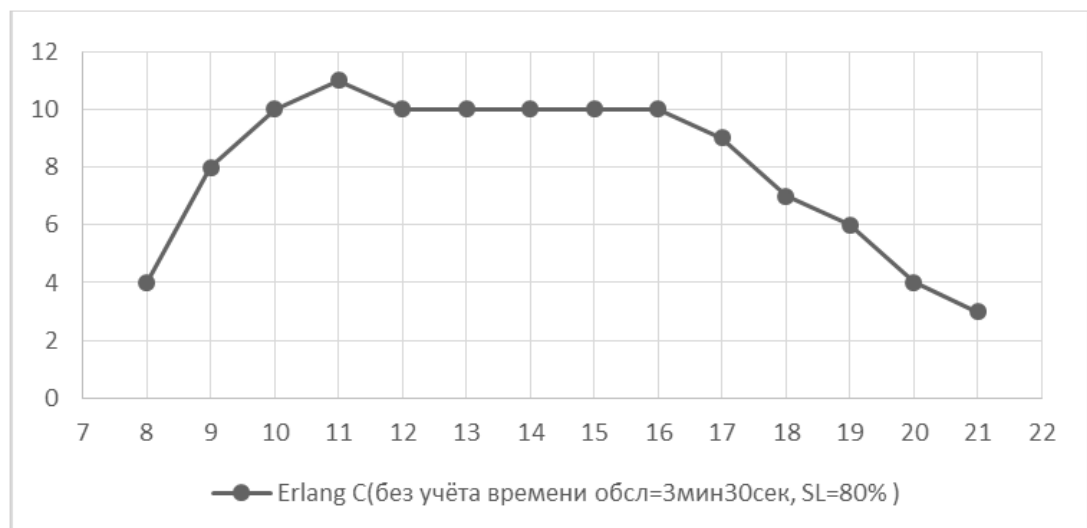


Рисунок 2.7 – Усереднений потік звернень по годинам по п'ятницям жовтня 2023 року

Головне завдання при будівництві контакт-центру - розрахунок кількості операторських місць і кількості з'єднувальних ліній. Існує кілька способів розрахунку, однак рекомендується користуватися формулою Ерланга, при якій основним буде кількість операторів, що буде визначати кількість портів.

Оскільки умова застосування формул Ерланга виконується тільки на фіксованих інтервалах часового ряду, було розраховано необхідну кількість операторів за формулою Ерланга погодинно (рис. 2.7).

У наступних розділах сформуємо можливу комбінацію змін та кількості операторів у кожній зміні для оптимального покриття навантаження на кц, а також, перевіримо справедливість розрахунків за формулою Ерланга за допомогою імітаційного моделювання.

2.6. Імітаційне моделювання роботи колл-центру

Метою цієї роботи є моделювання роботи контактного центру підтримки клієнтів, а також, створення моделі, за допомогою якої можна з'ясувати оптимальну кількість необхідних операторів, задіяних для обслуговування дзвінків клієнтів.

Створення моделі і процес моделювання відбувається у середовищі моделювання AnyLogic.

Сутність імітаційного моделювання полягає в тому, що для системи, що вивчається, створюється досить точна модель для проведення експериментів з різними варіантами функціонування даної системи та подальшим їх аналізом.

Імітаційні моделі дозволяють враховувати фактори, що ускладнюють вивчення предметної області при використанні аналітичного методу дослідження та проводити повторні експерименти з оновленими даними, що призводить до економії не тільки часу, а й фінансових коштів власника системи.

У розділі розглядається оптимізація роботи колл-центру за рахунок оптимізації кількості операторів, які приймають та обробляють дзвінки. Для цієї мети використовується система імітаційного моделювання AnyLogic, яка

надає можливість створити імітаційний експеримент, і навіть експеримент для оптимізації систем.

Моделювання та оптимізація.

Ця модель була розроблена у середовищі імітаційного моделювання AnyLogic 8.7, є потужним інструментом і дозволяє моделювати складні та високоорганізовані системи, і навіть здійснювати оптимізацію цих систем. AnyLogic дозволяє створювати графічно взаємопов'язані блоки, які можуть працювати з різними параметрами. За необхідності можливе використання бібліотек, що розширюють можливості моделювання, а також розширення базового класу транзактів Agent, написаного однією з найпопулярніших мов програмування - Java.

Опис принципу роботи центру підтримки клієнтів.

Вхідний дзвінок, що надходить, в центр підтримки клієнтів надходить в систему з інтенсивністю, що дорівнює середній погодинній інтенсивності вх дзвінків по п'ятницям жовтня, яка варується від 28 до 114 дзвінків на годину. Та надходить до блоку обслуговування, де кількість операторів погодинно дорівнює розрахованій необхідній кількості операторів за Ерлангом, яка варується від 4 до 10 одночасно працюючих операторів. Якщо є хоча б один вільний оператор, до нього надходить вхідний дзвінок, інакше – стає в чергу і очікує першого звільненого оператора. Час обробки розподілений як triangular(2.8, 3.5, 5.3) хвилин.

Вхідні параметри цієї моделі були сформовані на основі фактичних усереднених значень навантаження на колл-центр у жовтні 2023 року. А розмір ресурсу був взятий із розрахунку необхідної кількості операторів за формулою Ерланга. Перевіримо точність розрахунків за методом Ерланга за допомогою імітаційного моделювання.

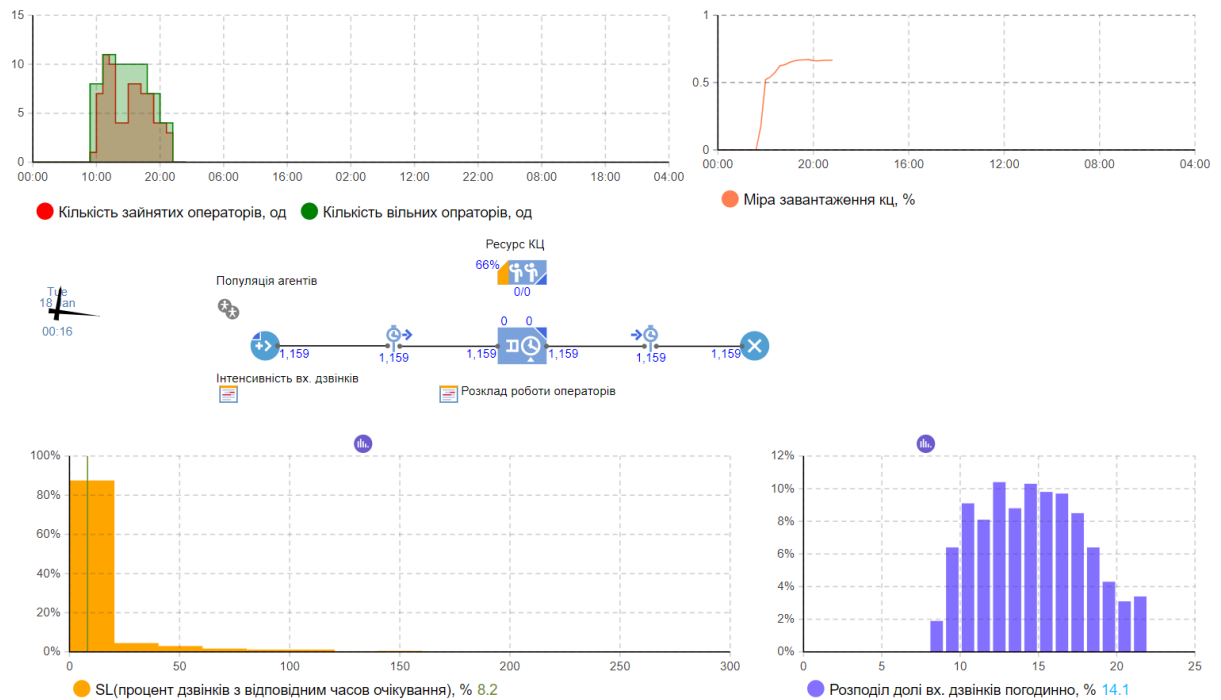


Рисунок 2.8 – Результат імітаційного моделювання, експеримент 1

Запустивши імітаційне моделювання з такими параметрами бачимо, що рівень сервісу, дійсно, відповідає вимогам - не менш ніж 80% викликів отримують відповідь оператора у перші 20 секунд (рис.2.8). Таким чином можна стверджувати, що застосування формули Ерланга має доволі точні результати. Та підходить для розрахунку необхідної кількості ресурсів КЦ.

Проте, стає навантаження на операторів КЦ тримається на рівні 67%, що є помірним рівнем завантаження ресурсу, и можна спробувати зменшити кількість операторів, піднявши таким чином їх завантаження.

Змоделюємо на перевіримо, чи збережеться бажаний рівень сервісу у такому випадку, якщо задати значення ресурсів, які дорівнюють 7/9 від початкового значення (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Результат імітаційного моделювання, експеримент 2

Як бачимо, значно впав рівень сервісу, який становить 50%.

Проведемо третій дослід, оберемо кількість ресурсів, як усереднене між значеннями того ж параметру для першого та другого експерименту (рис.2.10).



Рисунок 2.10 – Результат імітаційного моделювання, експеримент 3

Як бачимо, рівень сервісу зріс до 75 відсотків, але наша мета 80. Крім того, судячи з графіку розподілу долей вхідних звернень погодинно, робимо висновок, що найбільше навантаження припадає на години з 12 до 18:00.

Тоді підберемо такі значення ресурсу, коли для годин з низьким навантаженням, величина ресурсу залишиться незмінною, а для інтервалу робочого часу з підвищеним навантаженням – підвищимо кількість ресурсу на одиницю по кожній годині.

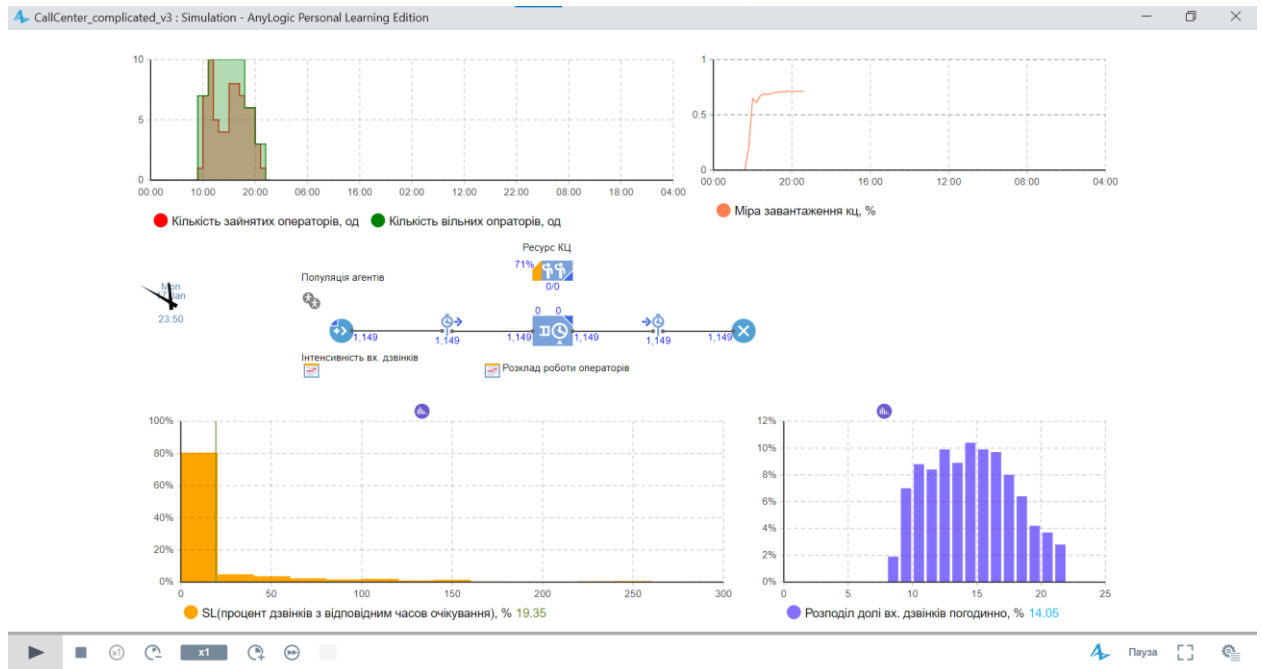


Рисунок 2.11 — Результат імітаційного моделювання, експеримент 4

Четвертий експеримент з імітації обслуговування заявок контакт центром привів нас до успіху – необхідний рівень сервісу досягнутий, рівень завантаження кц підвищено, до 71%, шляхом зменшення необхідної кількості працівників на день на одну особу (рис. 2.11). Результати досліджень приведені у таблиці нижче.

Таблиця 2.3 — Результати імітаційного моделювання

Години	Кільк. дз./год	Експеримент1	Експеримент2	Експеримент3	Експеримент4
8	28	4	3	3	3
9	77	8	6	7	7
10	110	10	8	9	9
11	118	11	9	10	10
12	110	10	8	9	10
13	105	10	8	9	10
14	114	10	8	9	10
15	112	10	8	9	10
16	108	10	8	9	10
17	95	9	7	8	8
18	73	7	5	6	6
19	57	6	5	5	5
20	37	4	3	3	3
21	23	3	2	3	3
SL, %		85	50	75	80
Завантаження ресурсу, %		66	82	75	71,4

Також, цікаво звернути увагу на два графіки, які допомагали у прийнятті рішення, щодо корегування налаштувань елементів імітаційної моделі.

До моделювання було додано графік співвідношення кількості зайнятих та доступних операторів (рис. 2.12).

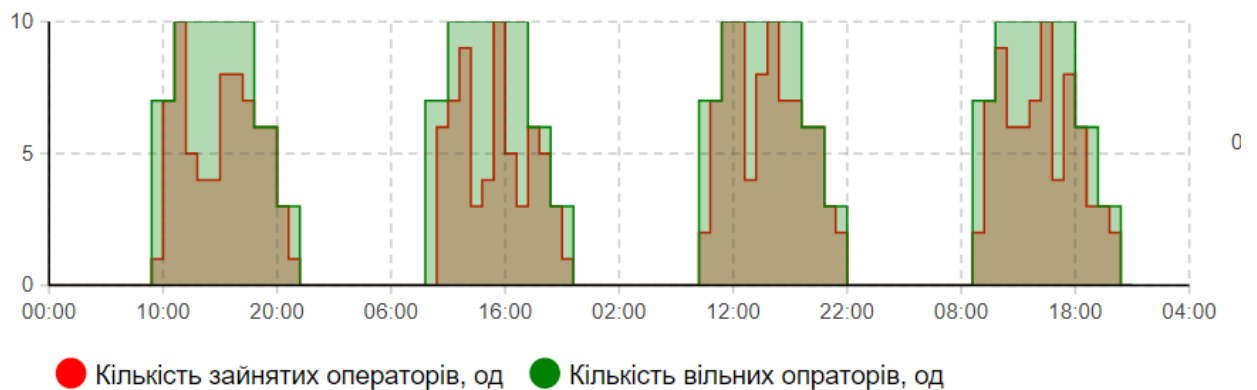


Рисунок 2.12 – Графік співвідношення кількості зайнятих та доступних операторів

Цей графік був корисний для відслідковування, чи не має надто зайвих ресурсів, коли на кожній годині робочого часу завжди є вільні оператори

Крім цього, основний графік, згідно постановки задачі диплому, це рівень сервісу.



Рисунок 2.13 – Графік рівня сервісу

За цільове значення було взято 80% викликів з часом очікування не більше 20 секунд. Тобто при моделюванні, коли перший стовпчик (доля відповідей з часом очікування 0-20 сек), падав нижче межі у 80 відсотків (рис. 2.13), це було сигналом, що ресурси розподілено не вірно та необхідні коригування моделі.

Висновки.

У процесі виконання роботи було створено модель, яка організує роботу контактного центру компанії. Було проведено оптимізацію даної імітаційної моделі за допомогою регулювання кількості операторів, що обслуговують дзвінки клієнтів. Четвертий експеримент з імітації обслуговування заявок контакт центром привів нас до успіху – необхідний рівень сервісу досягнутий, рівень завантаження кц підвищено, до 71%, шляхом зменшення необхідної кількості працівників на день на одну особу. Результати оптимізації моделі продемонстровані у таблиці.

Якщо порівнювати аналітичний спосіб розрахунку необхідної кількості ресурсів для СМО, та імітаційне моделювання, можемо зробити висновок, що хоча аналітичний розв’язок дає однозначний розв’язок для конкретної задачі, імітаційне моделювання, дає можливість розв’язати образу клас задач, да

дослідити його за різних вхідних параметрів, не витрачаючи при цьому кошти для проведення реальних експериментів.

Спроектowana модель та проведені над нею експерименти виявили рішення, яке сприяє оптимізації роботи та підвищення ефективності центру підтримки.

2.7. Планування змін

Якщо поділити 12-годинний час роботи колл-центру на зміни, побачимо, що зручніше буду розподілити зміни роботи операторів на 4 на 8 годинні, з перервою на обід при 8годинній зміні.

Отже, для покриття встановленого навантаження на колл-центр необхідно виконати такий графік змін (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Графік змін операторів колл-центру

Кількість операторів	Початок	Кінець	Перерва
3	8:00	17:00	12:00 – 13:00
3	9:00	18:00	13:00 – 14:00
1	12:00	21:00	16:00 – 17:00
1	13:00	22:00	17:00 – 18:00
1	10:00	19:00	14:00 – 15:00
1	11:00	20:00	15:00 – 16:00
1	12:00	21:00	16:00 – 17:00
1	8:00	12:00	-
1	9:00	13:00	-
1	10:00	14:00	-
1	17:00	21:00	-
2	18:00	22:00	-

При такому розподілі операторів кц на зміни виконується такі умови – в одиницю часу на лінії необхідна або більше операторів, кількість операторів мінімально можлива, довжина робочої зміни 4 або 8 годин.

2.8. Висновки до розділу

У даному розділі випускної кваліфікаційної роботи було виконано аналіз проблемних областей об'єкту досліджень. На основі цього зроблено постановку задачі по оптимізації процесу обробки звернень до контактного центру. Створено модель, що організує роботу центру підтримки клієнтів мобільного оператора. Була проведена оптимізація даної імітаційної моделі за допомогою регулювання кількості операторів, які обслуговують дзвінки клієнтів. Також у розділі спроектовано модель та проведені над нею експерименти які виявили рішення, що сприяють оптимізації роботи та підвищенню ефективності центру підтримки. Даний алгоритм скорочує час обробки дзвінків клієнтів, в ході якого обробляється максимальна кількість дзвінків, що надходять, з найоптимальнішою кількістю операторів, що значно допомагає скоротити витрати.

Якщо порівнювати аналітичний спосіб розрахунку необхідної кількості ресурсів для СМО, та імітаційне моделювання, можемо зробити висновок, що хоча аналітичний розв'язок дає однозначний розв'язок для конкретної задачі, імітаційне моделювання, дає можливість розв'язати образу клас задач, да дослідити його за різних вхідних параметрів, не витрачаючи при цьому кошти для проведення реальних експериментів.

Спроектowana модель та проведені над нею експерименти виявили рішення, яке сприяє оптимізації роботи та підвищення ефективності центру підтримки.

Важливо знати, що рівень обслуговування змінюється дуже помітно, якщо змінюється кількість операторів: брак одного оператора може знизити рівень обслуговування в середньому на 20 %. Водночас один додатковий оператор може оказати суттєвий позитивний вплив на показники.

Також, у результаті дослідження сплановано розклад змін роботи операторів колл-центру, відповідно до розрахованої необхідної кількості операторів для покриття заданого рівня навантаження.

ВИСНОВКИ

Ефективним методом спілкування компаній зі своїми клієнтами, особливо під час пандемії та злету онлайн продажів, є контактні центри. Рациональне використання людських ресурсів для забезпечення їх роботи є важливою проблемою для оптимізації витрат.

Як було зазначено у підсумках бакалаврської роботи, магістерська робота присвячена саме пошуку оптимальної кількості людських ресурсів для покриття заданого навантаження для створенню імітаційного моделювання.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі вирішені наступні задачі:

- Зроблено аналіз потоку подій СМО;
- Розрахована необхідна кількість ресурсів за формулою Ерланга;
- Створено імітаційне моделювання обробки потоку звернень та мінімізована необхідна кількість людського ресурсу;
- Сплановано зміни роботи операторів КЦ;
- Сформовано інструмент для подальшого впровадження у процес планування ресурсів колл-центру.

У результаті застосування даного методу розрахунку кількості операторів колл-центру, очікується позитивна економічна ефективність, завдяки зниження витрат зарплатного фонду.

Було виконано аналіз проблемних областей об'єкту досліджень. На основі цього зроблено постановку задачі по оптимізації процесу обробки звернень до контактного центру.

Розраховано необхідну кількість операторів у зміні на основі прогнозованого рівня навантаження та заданого рівня якості обслуговування. Варто зауважити, чим більше операторів буде на лінії, тим менше час очікування відповіді. Зменшення кількості операторів веде до збільшення часу очікування і того, що частина абонентів не стане чекати.

Створено модель, що організує роботу центру підтримки клієнтів мобільного оператора. Була проведена оптимізація даної імітаційної моделі за допомогою регулювання кількості операторів, які обслуговують дзвінки клієнтів.

Дане дослідження буде корисним для керівників колл-центрів будь-якої величини для більш точного планування необхідних ресурсів. А у колл-центру, на базі якого проводилося дослідження, прийнято рішення про імплементацію даного методу розрахунку кількості операторів при плануванні ресурсів.

Перелік посилань

1. Панченко, І.В. Альтернатива до формули Erlang C / І. В. Панченко // Корпоративні системи. – Київ: КомІздат. – 2003. – № 2. – С. 57–59.
2. **Панченко, І.В.** Моделювання системи масового обслуговування з однією чергою очікування / І.В. Панченко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Шевченківська весна. Сучасний стан науки, досягнення, проблеми та перспективи розвитку". – Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2003. – С. 37–40.
3. **Панченко, І.В.** Моделювання процесу масового обслуговування із застосуванням обчислювальної техніки / І.В. Панченко // Матеріали Міжнародної конференції: Моделювання динамічних систем та дослідження стійкості, 2003. – С. 411.
4. **Панченко, І.В.** Комп'ютерне моделювання задачі масового обслуговування / І.В. Панченко // Матеріали Міжнародної конференції: Інформаційні дослідження, додатки та навчання. – Варна: ФОІ-КОМЕРС, 2003. – С. 55–61.
5. Панченко, І.В. Оптимізація роботи Call-центра за допомогою автоматизованої комп'ютерної системи Scheduling ISS v.1 / І.В. Панченко, Т.В. Панченко // Тези міжнародної конференції "Теоретичні та прикладні аспекти розробки програмних систем". – 2004. – С. 272–274.
6. Апекс Берг Контакт-Центр Консалтинг: Моделирование работы контактного центра. – 2008. – 83 с.
7. Вентцель, О.С. Теорія ймовірностей. Елементи теорії масового обслуговування / О.С. Вентцель. – М: Вищ. шк., 2006. – № 10. – С. 530–560.
8. Гусева, Е.Н. Автоматизация бизнес-процессов call-центра / Е.Н. Гусева, Д.И. Саперов. – СПб, 2011. – 6 с.
9. Литвинов, А. Л. Теорія систем масового обслуговування: навч. посібник / А. Л. Литвинов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.

10. Теорія систем масового обслуговування: навч. посібник / А. Л. Литвинов, 2018. – 141 с
11. Erlang calculator. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.math.vu.nl/~koole/ccmath/ErlangC/index.php>
12. Лінійний множинний регресійний аналіз [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ekonometrika.ho.ua/4.htm>.
13. Сайт про фінанси і інвестиції «Мінфін» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/stock/ux>.
14. Запорожець М.Ю. Біржові індекси як індикатор стану економіки в Україні [Електронний ресурс] / М.Ю. Запорожець. — Режим доступу: [https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/evzdia_2016_5\(2\)__18.pdf](https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/evzdia_2016_5(2)__18.pdf).
15. Сайт Національного банку України [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://old.bank.gov.ua>.
16. Мостіпака О.В. Сучасні тенденції розвитку національної економіки України [Електронний ресурс] / О.В. Мостіпака. — Режим доступу: [https://ird.gov.ua/sep/sep20186\(134\)/sep20186\(134\)_035_MostipakaO.pdf](https://ird.gov.ua/sep/sep20186(134)/sep20186(134)_035_MostipakaO.pdf).
17. Сайт програми «Лідерство в економічному врядуванні» 2014-2017» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://lev.org.ua/abca.html>.
18. Сайт Всесвітнього банку [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://data.worldbank.org>.