

МЕТОД КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ

У статті описується метод кількісної оцінки стійкості системи зберігання даних на підставі аналізу чотирьох показників, які характеризують працездатність системи зберігання даних (СЗД). Функціональні можливості сучасних систем збереження даних орієнтовані на виробничі та фінансові потреби замовника. В даний час компанії, що працюють в різних сферах діяльності, зацікавлені в ефективному отриманні, зберіганні та управлінні інформаційними базами даних. У зв'язку з цим, особливе місце приділяється надійній, безперебійній і стійкій роботі системи зберігання даних. Найважливішим питанням у цьому сенсі є кількісна оцінка надійної роботи системи зберігання даних і прогнозування можливого часу виходу з ладу з тим щоб вчасно вжити заходів для усунення причин, які викликають загрозу пошкодження або знищення бази даних. Кількісна оцінка якісних характеристик об'єктів будь-якої природи відноситься до області наукової дисципліни – кваліметрії. Тому завдання кількісної оцінки якісної характеристики системи зберігання даних вирішувалася на базі методології та підходах, напрацьованих в рамках кваліметрії. Для вирішення поставленого завдання було проведено аналіз параметрів, які забезпечують стійку роботу системи збереження даних і значення яких можна виміряти, вирішена задача нормування відібраних параметрів і запропонований комплексний показник стійкості, якій має кількісне вираження. Аналіз отриманих значень комплексного показника стійкості роботи системи зберігання даних дозволить своєчасно виявляти і попереджати можливі дефекти в роботі, а також оцінювати поточний стан і своєчасно планувати роботи по оновленню ресурсів системи для забезпечення збереження баз даних.

Ключові слова: система зберігання даних, кваліметрія, вектор характеристик, репрезентативність, кількісна оцінка якості, методи нормування, методи згортки, комплексний показник якості, задачі багатокритеріального вибору.

Грінков В.А. Метод количественной оценки стойкости системы хранения данных. В статье описывается метод количественной оценки системы хранения данных на основании анализа четырех параметров, характеризующих работоспособность системы хранения данных. Функциональные возможности современных систем хранения данных ориентированы на производственные и финансовые нужды заказчика. В настоящее время компании, работающие в различных сферах деятельности, заинтересованы в эффективном получении, хранении и управлении информационными базами данных. В связи с этим, особое место уделяется надежной, бесперебойной и устойчивой работе системы хранения данных. Важнейшим вопросом в этом смысле является количественная оценка надежной работы системы хранения данных и прогнозирование возможного времени выхода из строя с тем, чтобы вовремя принять меры для устранения причин, вызывающих угрозу повреждения или уничтожения базы данных. Количественная оценка качественных характеристик объектов любой природы относится к области научной дисциплины – кваліметрії. Поэтому задача количественной оценки качественной характеристики системы хранения данных решалась на базе методологии и подходах, выработанных в рамках кваліметрії. Для решения поставленной задачи был проведен анализ параметров, которые обеспечивают устойчивую работу системы хранения данных и значения которых можно измерить, решена задача нормирования отобранных параметров и предложен комплексный показатель устойчивости, который имеет количественное выражение. Анализ полученных значений комплексного показателя устойчивости работы системы хранения данных позволит своевременно выявлять и предупреждать возможные дефекты в работе, а также оценивать текущее состояние и своевременно планировать работы по обновлению ресурсов системы для обеспечения сохранности баз данных.

Ключевые слова: система хранения данных, кваліметрія, вектор характеристик, репрезентативность, количественная оценка качества, методы нормирования, методы свертки, комплексный показатель качества, задачи многокритериального выбора.

V. Hrinkov A method for quantifying the durability of a storage system. The article describes a method for quantifying a data storage system based on an analysis of four parameters characterizing the operability of a data storage system. The functionality of the modern data storage systems is focused on the production and financial needs of the customer. Currently, companies operating in various fields of activity are interested in the efficient receipt, storage and management of information databases. In this regard, a special place is given to reliable, uninterrupted and stable operation of the data storage system. The most important issue is the quantitative assessment of the reliable operation of the data storage system and the prediction of the possible time of failure in order to take timely measures to eliminate the causes of the threat of damage or destruction of the database. Quantitative assessment of the qualitative characteristics of objects of any nature belongs to the field of scientific discipline - qualimetry. Therefore, the task of quantifying the qualitative characteristics of the data storage system was solved on the basis of the methodology and approaches developed within the framework of qualimetry. To solve this problem, an analysis was made of the parameters that ensure the stable operation of the data storage system and whose values can be measured, the task of normalizing the selected parameters is solved, and a comprehensive stability indicator is proposed, which has a

quantitative expression. An analysis of the obtained values of a comprehensive indicator of the data storage system stability will allow us to timely identify and prevent possible defects in the work, as well as evaluate the current state and plan system resources to ensure the safety of databases.

Key words: *data storage system, qualimetry, vector of characteristics, representativeness, quantitative assessment of quality, standardization methods, convolution methods, a comprehensive quality indicator, multi-criteria selection problems.*

Актуальність та постановка завдання в загальному вигляді. Обсяг електронної інформації, виробленої в усьому світі неухильно зростає. За оцінками компанії IDC, навіть глобальна економічна криза не позначилася на темпах цього зростання і в найближчі роки експерти прогнозують збільшення потреби в обсягах сховищ на рівні 50 % в рік і найближчим часом перевищить 85 ексабайт. При цьому реальний рівень використання наявних у компаній систем зберігання в середньому становить 25 – 35 % [1].

Система зберігання даних (СЗД) – це комплексне апаратно-програмне рішення з організації надійного зберігання інформаційних ресурсів та надання гарантованого доступу до них. Існують наступні види СЗД:

DAS (англ. Direct-Attached Storage) – прийнято розуміти безпосередньо підключені до обчислювальної системи диски. Зазвичай, як DAS кваліфікуються варіанти безпосереднього прямого підключення. Так, наприклад, підключення дисків системи зберігання даних по каналу FC (англ. Fibre Channel) в режимі „точка-точка” (тобто без «мережі зберігання», порт системи зберігання в порт сервера), незважаючи на те що формально є DAS, проте вважається приватним «виродженим» випадком SAN.

SAN (англ. Storage Area Network) – являє собою архітектурне рішення для підключення зовнішніх пристроїв зберігання даних, таких як дискові масиви, стрічкові бібліотеки, оптичні приводи до серверів таким чином, щоб операційна система розпізнавала підключені ресурси як локальні.

NAS (англ. Network Attached Storage) – мережева система зберігання даних, мережеве сховище. По суті, являє собою комп'ютер з деяким дисковим масивом, підключений до мережі (зазвичай локальної) і підтримуючої роботу за прийнятим протоколом. Часто диски в NAS об'єднані в RAID масив. Кілька таких комп'ютерів можуть бути об'єднані в одну систему. Функціональні можливості сучасних СЗД орієнтовані на виробничі та фінансові потреби замовника. В даний час компанії, що працюють в різних сферах діяльності, зацікавлені в ефективному отриманні, зберіганні та управлінні інформаційними базами даних [2]. У зв'язку з цим, особливе місце приділяється надійній, безперебійній і стійкій роботі системи зберігання даних. Найважливішим питанням у цьому сенсі є кількісна оцінка надійної роботи системи зберігання даних і прогнозування можливого часу виходу з ладу з тим щоб вчасно вжити заходів для усунення причин, які викликають загрозу пошкодження або знищення бази даних.

Отже розробка методу кількісної оцінки стійкості системи зберігання даних є своєчасною і актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх публікацій. Аналіз останніх публікацій показав, що питання аналізу відмовостійкості СЗД та збереженню даних приділяється пильна увага, оскільки втрата даних часто призводить до катастрофічних наслідків. Для забезпечення збереження інформації в разі збою СЗД [13, 14] існує єдиний спосіб – резервування. Однак сам факт збою є неприпустимим, так як в момент виходу з ладу одного з дисків вся система зберігання даних стає вразливою. Скільки часу система знаходиться в уразливому стані – залежить від часу відновлення. Цю залежність описує наступна формула:

$$MTDL \approx \frac{C}{T^2},$$

де *MTDL* (*the mean time to data los*) – середній час напрацювання до втрати даних, *C* – деякий коефіцієнт, *T* – час на відновлення системи.

Чим швидше система відновить необхідну кількість копій даних, тим менше

ймовірність втратити дані. Але для початку процесу відновлення необхідно замінити диск, що вийшов з ладу на новий, а на це теж потрібен час, особливо якщо диск потрібно замовляти. Для розуміння процесів, що відбуваються в СЗД, та виявлення критичного часу можливого виходу з ладу диска системи пропонується постійно аналізувати три метрики [15]: час довільного доступу *Service Time*, *IO /s* – кількість операцій введення виведення за секунду, *MB/s* – кількість переданих мегабайт в секунду. Проте, в СЗД, які складаються з N дисків, питання постійного аналізу зазначених метрик стає дорогим і трудомістким.

У розглянутих роботах не було запропоновано рішень для автоматизації трудомісткого процесу моніторингу стану працездатності СЗД та розрахунку єдиного комплексного коефіцієнта за яким можна було б оцінити працездатність або стійкість системи зберігання даних.

Метою статті є розробка методу кількісної оцінки стійкості системи зберігання даних для побудови автоматизованої системи, яка сигналізує про стан робочих параметрів СЗД.

Виклад основного матеріалу. Під поняттям стійкості СЗД будемо розуміти здатність системи зберігати робочі параметри в деякому оптимальному діапазоні під впливом зовнішнього середовища. Рішення завдання оцінки якісної характеристики кількісними способами повною мірою можна віднести до вирішення завдань багатокритеріального вибору, тому що для кількісної оцінки стійкості СЗД розглядається деяка множина параметрів. У загальному вигляді завдання оцінки якості систем можна сформулювати наступним чином [3]:

- 1). Існує безліч систем $S = \{Q_i\}$, ($i = \overline{1, n}$), кожен елемент якої являє собою вектор відібраних характеристик $Q_i = (q_1, \dots, q_m)$, що описує відповідну систему;
- 2). Задано безліч можливих оцінок $K = \{k \mid k \in [0, 1]\}$;
- 3). Існує деяке відображення $f: S \rightarrow K$, що задає оцінки системам. Відображення f належить множині F всіх допустимих відображень S на K .

Тоді очевидно, що в загальному випадку зазначена задача зводиться до пошуку відображення множини всіх врахованих характеристик системи $\{Q_i\}$ на відрізок числової осі $[0, 1] \subset R$ виду

$$\{Q_i\}_{i \in n} \xrightarrow{f} K_i \in [0, 1] \subset R, \quad (1)$$

де f – шукане відображення, причому $f: Q_i \rightarrow K_i$;

K_i – значення комплексного показника рівня якості i -ої системи, число (точка) на відрізку $[0, 1]$;

R – числова вісь.

Для вирішення завдання визначення значення комплексного показника оцінки стійкості СЗД необхідно виконати кілька етапів:

сформулювати множину параметрів (характеристик), які дозволять оцінити працездатність обраної системи;

провести нормування відібраних характеристик з метою приведення до однієї розмірності;

на підставі вибраних нормованих параметрів сформулювати комплексний показник кількісної оцінки стійкості СЗД.

Перед визначенням множини параметрів, що характеризують працездатність СЗД, необхідно, щоб вони відповідали таким основним вимогам:

Повнота. В сукупності, обрані показники повинні охоплювати і відображати всі істотні властивості досліджуваної системи.

Репрезентативність. Число характеристик має бути достатнім для відображення всіх основних властивостей системи.

Визначеність. При виборі номенклатури і оцінки значень одиничних показників, повинні бути відомі умови, при яких отримані їх чисельна оцінка з урахуванням ступеня достовірності.

Однозначність. Повинна бути забезпечена однозначна відповідність між величиною показника і вектором властивостей системи, тобто збільшення / зменшення значення показника повинно відповідати поліпшенню / погіршенню якості системи і навпаки.

Точність. Дисперсія чисельного значення характеристики повинна відповідати поставленим цілям і характеру досліджень з оцінки якості даної системи.

В результаті проведеного аналізу параметрів, що характеризують стійкість роботи СЗД, розглядаються наступні характеристики СЗД, які задовольняють перерахованим вище вимогам.

Час довільного доступу T_{st} , мс (Service Time, часто іменований latency або response time,) вимірюється в мілісекундах і позначає:

при читанні: час з моменту отримання СЗД завдання на читання блоку інформації до відправки запитаної інформації;

при записі: час з моменту отримання записуваного блоку інформації до підтвердження про його успішного запису. В сучасних дисках цей показник становить від 2 до 16 мс.

Кількість транзакцій за секунду I_{ops} , з (IOPS англ. Input / output operations per second) – кількість операцій введення – виведення, виконуються СЗД за одну секунду. Кількісна величина, яка визначає швидкість взаємодії системи, або окремого додатка з дисковим масивом. У сучасних дисків цей показник становить > 50 оп/с при довільному і послідовному доступі.

Швидкість передачі даних Q_{db} , МВ/с, які СЗД може забезпечити при читанні – запису дисків, визначає пропускну здатність СЗД > 50 Мб/с

Обсяг вільного простору СЗД, V_{fs} , %.

В даний час відомо і може бути використано на практиці безліч функцій нормування (приведення до однієї розмірності) одиничних показників систем. Зазвичай, в дослідженнях за комплексними кількісними показниками якості систем рекомендується [4, 5] використовувати найбільш підходящу з усією можливою сукупністю функцію нормування, так як від функції нормування одиничних показників якості систем може залежати результат оцінки комплексного критерію. Вибрані для дослідження характеристики СЗД можна розділити на два класи. Перший – характеристики, значення яких необхідно максимізувати для поліпшення якості СЗД, другий – показники, значення яких для цієї ж мети необхідно мінімізувати. До показників першого класу можна віднести наступні обрані характеристики якості СЗД: кількість транзакцій за секунду I_{ops} , швидкість передачі даних Q_{db} , обсяг вільного простору СЗД. До показників другого класу, відповідно, відноситься час довільного доступу T_{st} . Показники першого класу, зазвичай, називають показниками з позитивним градієнтом, другого – показниками з негативним градієнтом [6]. Далі для одиничних показників якості введемо деяку змінну IP – індекс переваги і будемо вважати $IP = 1$, якщо показник належить до першого класу, $IP = 0$, якщо до другого.

У разі $IP = 1$, нормованими показники якості вважаються тоді, коли для будь-якого з них справедливі відносини:

$$\begin{aligned}
 0 \leq \bar{K}_i \leq 1, \text{ причому } \forall_i, i=1, \dots, n \\
 \bar{K}_i(t_j) = 1 \text{ для } K_i(t_j) \geq K_{i\max}, \\
 \bar{K}_i(t_j) = 0 \text{ для } K_i(t_j) \leq K_{i\min}, \\
 \bar{K}_i(t_j) = \bar{K}_i(t_l) \text{ для } K_i(t_j) = K_i(t_l), \\
 \bar{K}_i(t_j) > \bar{K}_i(t_l) \text{ для } K_i(t_j) > K_i(t_l), \\
 \bar{K}_i(t_j) < \bar{K}_i(t_l) \text{ для } K_i(t_j) < K_i(t_l).
 \end{aligned} \tag{2}$$

У разі $IP = 0$, нормованими показники якості вважаються тоді, коли для будь-якого з них справедливі співвідношення:

$$0 \leq \bar{K}_i \leq 1, \text{ причому } \forall_i, i=1, \dots, n$$

$$\begin{aligned}
\bar{K}_i(t_j) &= 1 \quad \text{для} \quad K_i(t_j) \leq K_{i\min}, \\
\bar{K}_i(t_j) &= 0 \quad \text{для} \quad K_i(t_j) \geq K_{i\max}, \\
\bar{K}_i(t_j) &= \bar{K}_i(t_l) \quad \text{для} \quad K_i(t_j) = K_i(t_l), \\
\bar{K}_i(t_j) &> \bar{K}_i(t_l) \quad \text{для} \quad K_i(t_j) < K_i(t_l), \\
\bar{K}_i(t_j) &< \bar{K}_i(t_l) \quad \text{для} \quad K_i(t_j) > K_i(t_l).
\end{aligned} \tag{3}$$

де $\bar{K}_i(t_j)$ – нормоване значення i -го параметра в j момент часу, $K_{j\min}$, $K_{j\max}$ – відповідно мінімальне і максимальне значення i -го параметра, $K_i(t_j)$ – математичне очікування i -го параметра за j -й момент часу.

З аналізу (2), (3) видно, що кращій якості системи відповідає більше значення нормованого показника. Основні функції нормування характеристик систем, стосовно питань кваліметрії, розглянуті в [7, 8, 9]. В [3] наводиться детальний аналіз нормуючих функцій та надано рекомендації щодо практичного застосування їх для задач оцінювання характеристик систем. В якості нормуючої функції, стосовно оцінювання стійкості СЗД, пропонується

пропорційна нормуюча функція, що має вигляд для $IP = 1$ $\bar{K}_i(t_j) = \frac{K_i(t_j) - K_{i\min}}{\Delta K_i}$, для $IP = 0$

$$\bar{K}_i(t_j) = \frac{K_{i\max} - K_i(t_j)}{\Delta K_i}, \quad \text{де} \quad \Delta K_i = K_{i\max} - K_{i\min}.$$

Наступний етап вирішення поставленого завдання – на підставі декількох нормованих параметрів характеристик СЗД отримати один комплексний показник.

В даний час є найбільш поширеними різні формули агрегування (згортання) показників – методи згортки. У цьому випадку загальна формула для визначення комплексного критерію матиме вигляд:

$$K_i(t_j) = F(W_i^* \bar{K}_i(t_j)), \tag{4}$$

де F – деяка функція згортки;

«*» – знак згортки;

W_i – ваговий коефіцієнт i -го параметра.

Аналіз літератури [10, 11, 12] дозволив виділити сукупність формул виду (4), які найбільш часто використовуються в практичних розрахунках (табл. 1).

Очевидно, що при допущеннях, коли $K_j = 0$, комплексні показники не можна розрахувати. Таким чином, для розрахунку комплексного показника якості, доцільно використовувати згортку, яка розраховується як середньозважена арифметична. Значення W_i визначається за формулою $W_i = 1/n$. У тому випадку коли нормоване значення будь-якого параметра дорівнює 0, ваговий коефіцієнт цього параметра подвоюється, а вагові коефіцієнти інших параметрів розраховуються за формулою $W_i = \frac{1 - 2W_i}{n - 1}$.

Такі зміни вагових коефіцієнтів необхідно для того, щоб високі значення нормованих параметрів, які знаходяться в робочому стані, не "витягали" комплексний показник до нормального значення при наявності параметра, який знаходиться за межами робочого стану.

Розглянемо приклад оцінки комплексного показника стійкості СЗД на аналізі обраних параметрів для досліджуваної СЗД, які отримані у вигляді математичного очікування розглянутих параметрів за одиницю часу. Час довільного доступу: $T_{st\max} = 16$ мс, $T_{st\min} = 2$ мс, математичне очікування за одиницю часу $T_{st} = 3,5$ мс, тоді нормоване значення

$$T_{st} = \frac{T_{st\max} - T_{st}}{\Delta x} = \frac{16 - 3,5}{14};$$

Кількість транзакцій в секунду: $I_{ops\max} = 200$ оп/с, $I_{ops\min} = 50$ оп/с, математичне очікування за одиницю часу $I_{ops} = 175$ оп / с;

Найбільш поширені види згорток для розрахунку комплексного критерію якості.

Найменування	Вид розрахункової формули	Примітки
Середньозважена арифметична	$\sum_{i=1}^n W_i \times \bar{K}_i,$	$\bar{K}_i = [0, 1],$ $\sum_{i=1}^n W_i = 1$
Середньозважена геометрична	$\prod_{i=1}^n (\bar{K}_i)^{W_i},$	Вважається, що $\forall_i \bar{K}_i \neq 0$
Середньозважена гармонійна	$\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{W_i}{\bar{K}_i}},$	Вважається, що $\forall_i \bar{K}_i \neq 0$
Середньозважена квадратична	$\sum_{i=1}^n W_i \times \bar{K}_i^2,$	Вважається, що $\forall_i \bar{K}_i \neq 0$
Бікритеріальна аддитивна	$\sum_{i=1}^l W_i \times \bar{K}_i + \sum_{j=l+1}^n W_j \times \bar{K}_j^2,$	$l < n, \forall_i \bar{K}_i \neq 0$ $\sum_{i=1}^l W_i + \sum_{j=l+1}^n W_j = 1$
Бікритеріальна мультиплікативна	$\prod_{i=1}^l W_i \times \bar{K}_i + \sum_{j=l+1}^n W_j \times \bar{K}_j^2,$	$l < n,$ $\forall_i \bar{K}_i \neq 0$

Швидкість передачі даних: $Q_{bdmax} = 230$ Мб / с, $Q_{bdmin} = 50$ Мб/с, математичне очікування за одиницю часу $Q_{bd} = 213$ Мб/с, тоді; $\bar{Q}_{bd} = \frac{Q_{bd} - Q_{bdmin}}{\Delta Q_{bd}} = \frac{213 - 50}{180} = 0,91;$

Обсяг вільного простору СЗД: $V_{fsmax} = 100$ %, $V_{fsmin} = 15$ %, $V_{fsфакт} = 73\%$, тоді

$$\bar{V}_{fs} = \frac{V_{fsфакт} - V_{fsmin}}{\Delta V_{fs}} = \frac{73 - 15}{85} = 0,68.$$

За формулою середньозваженого арифметичного, комплексний показник стійкості СЗД дорівнює:

$$K_{СЗД} = 0,25(0,89 + 0,83 + 0,91 + 0,68) = 0,83.$$

Для оцінки стійкості СЗД необхідно встановити градації стійкості. Прийемо наступні допущення:

значення комплексного показника $K_{СЗД} > 0,75$ говорить про знаходження значень параметрів в оптимальному стані і визначає високу стійкість СЗД:

значення комплексного показника в діапазоні $0,6 < K_{СЗД} < 0,75$ свідчить про нормальний стан робочих параметрів СЗД:

при значенні комплексного показника $0,45 < K_{СЗД} < 0,6$ можливо говорити про задовільний стан робочих параметрів системи, але в той же час необхідно протестувати СЗД для отримання більш повної інформації про стан робочих параметрів СЗД:

якщо значення комплексного показника стійкості СЗД менше 0,45 необхідно вживати заходів для усунення аварійного стану робочих параметрів системи зберігання даних.

Висновки. У статті описаний метод кількісної оцінки стійкості системи зберігання даних на підставі аналізу чотирьох показників, які характеризують працездатність системи

зберігання даних. В даний час компанії, що працюють в різних сферах діяльності, зацікавлені в ефективному отриманні, зберіганні та управлінні інформаційними базами даних.

У зв'язку з цим, особливе місце має бути приділено надійній, безперебійній і стійкій роботі системи зберігання даних. Найважливішим питанням у цьому сенсі є кількісна оцінка надійної роботи системи зберігання даних і прогнозування можливого часу виходу з ладу з тим щоб вчасно вжити заходів для усунення причин, які викликають загрозу пошкодження або знищення бази даних.

Для вирішення поставленого завдання було проведено:

аналіз параметрів, які забезпечують стійку роботу системи збереження даних і значення яких можна виміряти;

вирішена задача нормування відібраних параметрів;

запропонований комплексний показник стійкості, якій має кількісне вираження.

Аналіз отриманих значень комплексного показника стійкості роботи системи зберігання даних дозволить своєчасно виявляти і попереджати можливі дефекти в роботі, а також оцінювати поточний стан і своєчасно планувати роботи по оновленню ресурсів системи для забезпечення збереження баз даних.

Напрямки подальші досліджень можуть бути наступні:

розширення області застосування параметрів, які характеризують якість роботи системи зберігання даних;

вдосконалення алгоритму нормування параметрів;

порівняльний аналіз різних способів отримання комплексного показника і методу введення метрик;

формування статистичних даних для обґрунтування значень градацій стійкості СЗД;

розробка програмного забезпечення для аналізу значень параметрів і розрахунку показників стійкості СЗД.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пивненко В. Лавина под контролем // РС WEEK. 2011, №17. С. 10 – 11.
2. Лисецкий Ю.М. Корпоративные системы хранения данных. Построение. Журнал „Управляющие системы и машины”. 2013, № 6. 69 с.
3. Лисецкий Ю.М. Модели, методы и технологии количественной оценки качества систем: монография, Киев, ЛАТ&К, 2018. 56 с.
4. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973. 274 с
5. Теслер Г.С. Новая кибернетика. К: Логос, 2004. 404 с.
6. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.С. Експертні технології прийняття рішень: монографія. К.: McLaut, 2008. 448 с
7. Дегтярев Ю.И. Методы оптимизации. М.: Советское радио, 1980. 272 с.
8. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. М.: Мир, 1986. 235 с.
9. Лисецкий Ю.М. Задачи и функции нормировки единичных показателей качества систем. М.: ЦВСИТ ИМВС РАН. 2002. 30 с.
10. Галичев А.В., Шор Я.Б., Погожев И.Б. Квалиметрия (её содержание, задачи и методы). М.: Стандарты и качество №11, 1970. С.17 – 24.
11. Азгальдов Г.Г., Галичев А.В., Панов В.П. Что такое качество? М.: Экономика, 1968. 135 с.
12. Азгальдов Г.Г. Потребительская стоимость и её измерение. М.: Экономика, 1971, 167 с.
13. Отказоустойчивые системы хранения данных: RAID-массивы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nstor.ru/ru/catalog/StorageSystems/info/627.html>
14. Patterson, Gibson & Katz: The Tree Wise Men of RAID/ [Електронний ресурс. 2009]. – Режим доступу: <https://forums.tomshardware.com/.../patterson-gibson-katz-th...>