

Halyna TKACHUK¹, Oleksii MUKOVIZ², Rostislav MOTSYK³¹Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University²Odessa Regional Academy of In-Service Education³Kamianets-Podilskyi Ivan Ohiienko National Universitye-mail: ¹tkachuk.g.v@udpu.edu.ua, ²alexsmukovoz@gmail.com, ³motsyk@kpnpu.edu.ua;ORCID: ¹0000-0002-6926-1589, ²0000-0001-9262-9209, ³0000-0003-0947-3579**OPTIMIZATION OF CLOUD TRAFFIC FOR STREAMING APPLICATIONS:
ANALYSIS AND MONITORING APPROACHES**

Abstract. The article explores innovative strategies for improving the efficiency of data transmission in cloud streaming services. It addresses advanced coding techniques aimed at reducing latency and bandwidth consumption while preserving data integrity. The study provides a comprehensive overview of analysis and monitoring approaches that track performance metrics and optimize traffic flow. Using adaptive coding and real-time monitoring tools, the paper demonstrates how to achieve cost-effective and reliable streaming. The article offers practical recommendations for optimizing cloud traffic for developers and operators of streaming applications. Based on the analysis, the authors identify the key factors affecting the efficiency of data transmission and propose specific solutions to eliminate them. The findings offer actionable insights for developers and engineers seeking to improve cloud infrastructure for high-quality media delivery.

Key words: traffic, cloud systems, streaming applications, network, network tools, network monitoring.

Introduction. Different applications have unique requirements for bandwidth, latency, and computing resources. Understanding traffic characteristics enables cloud systems to be configured for optimal resource utilization, which reduces costs and enhances efficiency [9]. Some applications, like video conferencing, require minimal latency, whereas backup operations can tolerate higher latency. This approach helps ensure the necessary quality of service, enhancing user satisfaction and improving their experience with cloud services.

The study will assist specialists involved in the design, configuration, and optimization of cloud infrastructure. Understanding the impact of streaming applications on traffic will help them effectively allocate resources, plan the required bandwidth, and configure load balancing to ensure stable system operation.

MAIN PART**A. Mathematical calculations of traffic
in cloud systems**

To study the impact of streaming applications on traffic in cloud systems, various calculations and formulas can be used to analyze load and data transfer volume. Here are some possible calculation methods.

The traffic volume generated by streaming applications can be calculated using the following formula:

$$T = B \times R \times D, \quad (1)$$

where T is a total traffic volume (in bytes or megabytes); B – bitrate (data transfer rate) for a single user (in bits per second); R – number of active users simultaneously; D – duration of application usage (in seconds).

The formula is applied in various scenarios related to network traffic analysis and optimization. For instance, this formula helps determine the traffic volume generated by users of streaming applications. It is useful for calculating the required network bandwidth to avoid congestion and ensure stable connections. Cloud system architects use it for designing and optimizing cloud infrastructure to assess the traffic volume that video or audio streams may create on the infrastructure and to calculate the resources needed to support them. Additionally, such calculations

help companies estimate traffic volume to calculate data transmission costs, especially if cloud providers charge based on the amount of data transmitted.

It is possible to calculate the average traffic volume per user:

$$T_{avg} = T/N, \quad (2)$$

where T_{avg} is average traffic volume per user; T – total traffic volume (from the formula above); N – total number of users.

The formula helps determine the average load per user, allowing for more accurate planning of the network's overall bandwidth. This is especially useful for organizations that aim to ensure a stable connection as the number of users grows. If cloud service providers charge based on the volume of data transferred, calculating the average traffic per user helps companies forecast costs and more accurately budget for supporting streaming or other traffic-intensive applications.

To ensure proper servicing of streaming applications, it is important to calculate the required network bandwidth. It is calculated using the formula:

$$C = B \times U, \quad (3)$$

where C – required bandwidth (in bits per second); B – stream bitrate (in bits per second); U – number of simultaneous users.

Network administrators and engineers use this formula to plan network bandwidth in order to ensure reliable service for a large number of users who are simultaneously connected to streaming applications, such as video or audio streaming. When organizing video conferences or online learning platforms, the formula helps evaluate whether there is sufficient bandwidth to support all participants without a loss in connection quality.

An important indicator of network quality is packet loss. Packet loss can be calculated using the following formula:

$$PL = \frac{P_{lost}}{P_{total}} \times 100\%, \quad (4)$$

where PL – percentage of packet loss; P_{lost} – number of lost packets; P_{total} – total number of transmitted packets.

Network administrators use packet loss calculations to diagnose network issues. This helps determine whether there are obstacles in data transmission that could degrade connection quality. For video conferences and VoIP communication, packet loss affects the quality of video calls and voice calls over the Internet. High levels of packet loss can lead to interruptions and decreased connection quality, making this metric frequently measured to ensure stable communication. In cloud systems, connection stability between the user and the server is critical. Packet loss may indicate infrastructure issues that need to be addressed to avoid downtime or delays in application performance.

An important metric to measure is data transmission latency. Latency is calculated as the average time required for a packet to travel from the client to the server and back. It can be calculated using the following formula:

$$L = \frac{RTT_{total}}{P}, \quad (5)$$

where L – average latency (in milliseconds); RTT_{total} – total round-trip time for all packets; P – number of packets.

In cloud environments, transmission latency between the client and the server can impact service quality. Measuring latency enables cloud architects to optimize data transmission routes, improving application performance. Additionally, latency can be an indicator of potential security issues, such as network attacks, traffic congestion, or malicious activities. Measuring latency can help identify such threats.

In cloud systems, it is also common to use a formula to analyze the load on a cloud server, where the load factor is measured:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu},$$

where ρ – server load factor; λ – average request rate (number of requests per unit of time); μ – average service rate (number of serviced requests per unit of time).

The formula allows you to determine the average server load, which helps assess whether the server can handle all user requests or if there is a risk of delays and request accumulation. If the load factor (ρ) approaches or exceeds λ , it may indicate the need to scale resources to support a higher volume of requests. This helps ensure reliable system performance during peak loads. Additionally, using this formula, you can assess how efficiently the server's existing resources are being utilized and make decisions about optimizing software or configuring servers to reduce load.

All of the mentioned calculations will help analyze and model the traffic of streaming applications, as well as determine the necessary resources and service quality to ensure stable operation in cloud systems. These formulas are widely used in network monitoring programs that help assess network status, bandwidth, latency, packet loss, and server load. Among the popular programs and network monitoring tools that use such calculations are Nagios [8], Zabbix [6], PRTG Network Monitor [5], SolarWinds Network Performance Monitor [10], Wireshark [10], ManageEngine OpManager [11], and others. Let's consider network monitoring software tools and outline their main functions in ensuring network stability.

Nagios is an open-source software for monitoring systems, servers, and networks. Nagios provides monitoring of network devices, resources, and services, allowing for quick problem detection and alerting the administrator.



Fig. 1. Nagios program window

The features of the Nagios program include server, network device, and service monitoring; high customization and extensibility through plugins; support for visualization extensions, such as Nagios XI; and a high level of configuration complexity, especially for beginners.

Zabbix is a free, open-source system for monitoring networks, servers, cloud services, and applications. Zabbix supports real-time monitoring and offers flexible configuration options.



Fig. 2. Zabbix program window

The features of the Zabbix program include automatic detection of network devices; powerful trigger and alerting mechanism; graphical interface for generating reports and graphs; a wide range of templates for various devices and services.

SolarWinds Network Performance Monitor (NPM) is a powerful tool for monitoring network performance, allowing for the detection and resolution of network issues. SolarWinds NPM is targeted at medium to large networks.

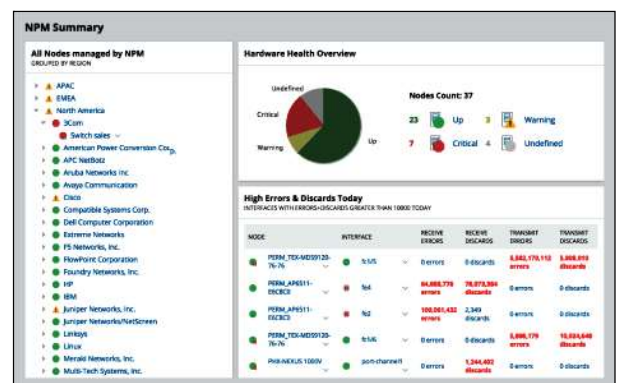


Fig. 3. SolarWinds NPM program window

The features of the SolarWinds NPM include real-time network performance monitoring; network topology

visualization; support for intelligent alerting and reporting; integration capability with other SolarWinds products.

In cloud systems, specialized monitoring tools are typically used to analyze the impact of streaming applications on traffic, which can operate in cloud environments and integrate with cloud platforms such as AWS, Microsoft Azure, Google Cloud Platform (GCP), and others. Some notable applications include Amazon CloudWatch (AWS) [14], Azure Monitor (Microsoft Azure) [12], Google Cloud Monitoring (Google Cloud Platform) [2], Prometheus with Grafana [13], and others.

Let's examine the impact of streaming applications on traffic in cloud systems. Streaming applications are those that deliver media content (video, audio, or data) in real time, allowing users to consume the content immediately without needing to download it in full. Streaming applications are generally categorized as video on demand (VoD) and live streaming video [7].

Streaming applications require high bandwidth, minimal latency, and a stable connection to ensure smooth content delivery without buffering. These applications generate a prolonged, consistent traffic stream with minimal permissible delays. For this purpose, cloud providers need to maintain distributed servers in various geographic locations (CDN – Content Delivery Networks) to deliver content to users with minimal delays. The network must provide low latency and high bandwidth, which can create peak loads, especially during high user activity periods (e.g., live broadcasts of sports events or premiere shows). Cloud systems must be capable of rapidly scaling resources to meet demand and prevent server overload.

Examples of streaming applications include video streaming (YouTube, Netflix, AmazonPrime Video, Twitch), audio streaming (Spotify, Apple Music, SoundCloud), and real-time online gaming (Google Stadia, Nvidia GeForce Now, Microsoft xCloud).

Let's compare the bandwidth requirements for streaming video in different resolutions on popular platforms like YouTube and Netflix [3]. *Table 1* shows the minimum bandwidth needed for quality video playback at each resolution level.

Table 1.

Comparison of minimum Internet connection bandwidth requirements for video streaming

Resolution of video	YouTube, Mbps	Netflix, Mbps
SD (480p)	1.1	3
HD (720p)	2.5	5
Full HD (1080p)	5	5
4K (2160p)	20	15

Analyzing the bandwidth requirements for YouTube and Netflix across different quality levels, we can conclude that for the first indicator, "SD (480p)" Netflix requires nearly three times the bandwidth. This is likely due to Netflix using different compression algorithms or providing higher image quality even at lower resolutions. However, this also creates a significant load on the network [7], which is not an advantage for this service.

For HD (720p) video, Netflix also requires double the bandwidth compared to YouTube. This may indicate that Netflix provides more data per frame to ensure smoother and more detailed visuals. At the Full HD (1080p) level, the requirements for YouTube and Netflix equalize. This suggests that both platforms achieve high image quality at this resolution level with similar bandwidth requirements.

A different situation arises for 4K (2160p), where YouTube video requires 5 Mbps more bandwidth than Netflix. This is possibly due to YouTube's use of lower compression to enhance detail in the 4K format or its use of a different codec for compression. This data highlights different approaches to optimizing streaming content: Netflix focuses on maintaining stable quality at lower speeds, while YouTube emphasizes maximum quality for the highest resolutions.

It's worth noting that the use of high-resolution streaming video continues to grow. Forecasts indicate that by 2023, 66% of televisions will support 4K. Looking ahead, the next generation of video—360° video—allows for pixel transmission from all directions [7].

Let's compare the bandwidth requirements for audio streaming at different sound quality levels on platforms like Spotify and Apple Music [1]. Note that the values provided are approximate and may vary depending on specific content and network conditions. To achieve smooth playback without buffering, it is recommended to have a slightly higher bandwidth than the minimum required.

Spotify:

- Low Quality (24 кбіт/с): 0,024 Mbps
- Normal Quality (96 кбіт/с): 0,096 Mbps
- High Quality (160 кбіт/с): 0,16 Mbps
- Very High Quality (320 кбіт/с): 0,32 Mbps

Apple Music:

- Standard Quality (256 кбіт/с): 0,256 Mbps
- Lossless (16 біт/44,1 кГц): 1,5 Mbps
- Hi-Res Lossless (24 біт/48 кГц): 2,3 Mbps
- Hi-Res Lossless (24 біт/192 кГц): 9,2 Mbps

Analyzing the bandwidth requirements for Spotify and Apple Music, we can see different approaches taken by both platforms to ensure sound quality.

Spotify offers a low bitrate (24 kbps) and normal quality (96 kbps), which are suitable for those using mobile data or with limited internet access. This is ideal for situations where the connection is unstable or when users wish to reduce data costs. Apple Music does not provide such options, instead targeting an audience that prioritizes high sound quality.

High quality (160 kbps) and very high quality (320 kbps) on Spotify are intended to deliver detailed sound suited for dedicated listeners. These options are optimal for users with sufficient bandwidth who want high sound quality without excessive data usage.

Apple Music offers only standard quality at 256 kbps (AAC), which slightly surpasses Spotify's very high quality (320 kbps MP3) due to more efficient sound encoding. This quality is suitable for daily listening and provides an optimal balance between sound quality and data consumption.

Lossless (1.5 Mbps) and Hi-Res Lossless (2.3 and 9.2 Mbps) are lossless formats that deliver maximum sound quality, close to studio-grade. The bandwidth requirements for these formats are significantly higher, making them suitable for audiophiles and those with stable, high-speed internet access. Spotify does not offer these quality levels, making Apple Music a better choice for sound enthusiasts.

For optimal traffic management, a cloud system should support adaptive bandwidth management for Spotify, allowing quality adjustments. In the case of Apple Music, particularly with Lossless formats, strategies to

reduce peak loads are essential, such as caching popular tracks and using CDN to distribute data among users in different regions.

Let's compare the bandwidth requirements for real-time online gaming using Google Stadia and Nvidia GeForce Now as examples (table 2).

Table 2.

Comparison of Minimum Internet Bandwidth Requirements for Real-Time Online Gaming

Resolution	Google Stadia, Mbps	Nvidia GeForce Now, Mbps
720p at 60 FPS	10	15
1080p at 60 FPS	20	25
4K at 60 FPS	35	45

The Nvidia GeForce Now gaming service requires 5 Mbps more than Google Stadia for 720p playback. This may be due to codec differences or the image quality the platform aims to deliver. For 1080p, Nvidia GeForce Now also requires 5 Mbps more than Google Stadia. This indicates higher requirements for stable playback on GeForce Now, which may provide better image quality or reduce latency. For 4K, GeForce Now demands 10 Mbps more bandwidth than Google Stadia. This may result from GeForce Now offering higher-quality 4K images with greater detail or better frame processing.

Conclusion. The study of the impact of streaming applications on traffic in cloud systems highlights the importance of resource optimization to ensure high-quality service. It has been established that streaming applications have varying requirements for bandwidth, latency, and computing resources, necessitating adaptation of the cloud infrastructure. Calculations of traffic volume, average user load, and bandwidth allow for load forecasting and network congestion prevention. Packet loss and data transmission latency are critical indicators affecting connection quality and require constant monitoring.

Cloud systems must provide flexibility and scalability of resources to meet service demand. Formulas for server load analysis enable the determination of resource utilization efficiency and server optimization. The use of specialized monitoring tools integrated with cloud platforms allows for detailed traffic control and reliable operation of streaming services. Such tools help reduce costs and improve infrastructure efficiency. Given the significant impact of streaming applications, providers must employ adaptive technologies and strategically manage network resources to deliver high-quality user service.

References:

1. Apple Music vs Spotify [Online]. URL: <http://surl.li/jskzbh>
2. Borra P. A Survey of Google Cloud Platform (GCP): Features, Services, and Applications. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT)*, vol. 4, 2024. [Online]. URL: <http://surl.li/whajtu>
3. Belmoukadam O., Khokhar M.J. and Barakat C. On excess bandwidth usage of video streaming: when video resolution mismatches browser viewport. *11th International Conference on Network of the Future (NoF)*, pp. 159-167, 2020 [Online]. URL: <http://surl.li/tffsnt>
4. Di Domenico A., Perna G., Trevisan M., Vassio L. and Giordano D. A network analysis on cloud gaming: Stadia, GeForce Now and PSNow. *IEEE Dataport*, Jan. 18, 2021.

5. Daud A.Y., Tan J.X. and Ooi W.J., Paessler Router Traffic Grapher (PRTG) Network Monitoring: An Implementation Process in Vitrox. *Journal of Digital System Development*, vol. 2, no. 2, pp. 1-11, 2024.
6. Katonová E.A., Džubák J., and Fecil'ak P. Automated Monitoring of Network Infrastructures Based on the Zabbix Solution. *21st International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Stary Smokovec, Slovakia, pp. 283-288, 2023.
7. Khan M.A. et al. A survey on mobile edge computing for video streaming: Opportunities and challenges. *IEEE Access*, vol. 10, pp. 120514-120550, 2022 [Online]. URL: <http://surl.li/fsisqi>
8. Liu J., Qu C. and Zhou T. A Novel Cloud Computing Platform Monitoring System based on Nagios. *3rd International Conference on Smart Data Intelligence (ICSMDI)*, Trichy, India, pp. 169-172, 2023.
9. Li X., Liu S., Pan L., Shi Y., and Meng X. Performance Analysis of Service Clouds Serving Composite Service Application Jobs. *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, San Francisco, CA, USA, pp. 227-234, 2018.
10. Kannadhasan S., Nagarajan R., Banupriya R. and Sri-vidhya G. Recent Developments of Network Monitoring Systems and Challenges. *Intelligent Signal Processing and RF Energy Harvesting for State of art 5G and B5G Networks, Energy Systems in Electrical Engineering series*, Springer, pp. 1-11, 2024.
11. Rahmadani T. Analisis Pemantauan Access Point Local Area Network dengan Menggunakan OpManager. *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 11-23, 2022 [Online]. URL: <https://saloli/2A3e2A3>
12. Sahay R. and Sahay R. Azure monitoring. *Microsoft Azure Architect Technologies Study Companion: Hands-on Preparation and Practice for Exam AZ-300 and AZ-303*, pp. 139-167, 2020.
13. Saputra M.Y.E., Arief S.N., Wijyaningrum V.N. and Syaifudin Y.W. Real-Time Server Monitoring and Notification System with Prometheus, Grafana, and Telegram Integration. *ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETISIS)*, pp. 1808-1813, 2024.
14. Singh A. and Aggarwal A. Artificial Intelligence Self-Healing Capability Assessment in Microservices Applications deployed in AWS using Cloud watch and Hystrix. *Australian Journal of Machine Learning Research & Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 84-97, 2024.

Галина ТКАЧУК¹, Олексій МУКОВІЗ², Ростислав МОЦІК³

¹Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

²КЗВО «Одеська академія неперервної освіти Одеської обласної ради»

³Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

ОПТИМІЗАЦІЯ ХМАРНОГО ТРАФІКУ ДЛЯ ПОТОКОВИХ ДОДАТКІВ: ПІДХОДИ АНАЛІЗУ ТА МОНІТОРИНГУ

Анотація. У статті досліджуються інноваційні стратегії підвищення ефективності передачі даних у хмарних потокових сервісах. Вони стосуються передових методів кодування, спрямованих на зменшення затримки та використання пропускнуої здатності, зберігаючи цілісність даних. Дослідження містить вичерпний огляд підходів до аналізу та моніторингу

гу, які відстежують показники ефективності та оптимізують потік трафіку. Використовуючи інструменти адаптивного кодування та моніторингу в реальному часі, у статті показано, як досягти економічного та надійного потокового передавання.

Стаття пропонує практичні рекомендації щодо оптимізації хмарного трафіку для розробників та операторів стрімінгових додатків. На основі проведеного аналізу автори визначають ключові факто-

ри, що впливають на ефективність передачі даних, та пропонують конкретні рішення для їх усунення.

Отримані результати пропонують розробникам та інженерам практичну інформацію, яка прагне вдосконалити хмарну інфраструктуру для високоякісної доставки медіа.

Ключові слова. Трафік, хмарні системи, потокові програми, мережа, мережеві інструменти, моніторинг мережі.

Отримано: 11.09.2024

УДК 004.738.5:371.311.1

DOI: 10.32626/2307-4507.2024-30.30-34

Оксана СЕМЕРНЯ¹, Жанна РУДНИЦЬКА², Ірина БОРОДІЙ³

¹Громадська організація «Спілка науковців України»

^{2,3}Київський національний авіаційний університет

e-mail: ¹semerniaoksana@gmail.com, ²rio143@ukr.net, ³miko2010@ukr.net

ORCID: ¹0000-0003-2443-093X, ²0000-0002-5961-2568, ³0000-0002-1718-4809

РОЛЬ ЦИФРОВИХ РЕСУРСІВ У МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВОЇ ОСВІТИ

Анотація. У статті обґрунтовано роль цифрових ресурсів для оновлення і оптимізації природничо-наукової освіти. Розглянуто основні види цифрових ресурсів, які можна використовувати комбіновано з традиційними ресурсами навчання для майбутніх фахівців: вчителів фізики та інженерів-авіаційників. У статті використані такі методи дослідження: теоретичні – аналіз наукової літератури, порівняльний аналіз, узагальнення; емпіричні – педагогічний експеримент (спостереження, апробація, рекомендації). На основі проведеного дослідження сформульовано рекомендації та додаткові аспекти цифрового навчання майбутніх фахівців гуманітарного та інженерного напрямку здобування освіти. Авторки статті описали роль цифрових ресурсів у теперішній час в Україні та вплив їх на мотивацію, заохочення до навчання. Ними розглянуті такі цифрові ресурси як-от: використання віртуальних лабораторій, створення онлайн-курсів, застосування мобільних додатків, співпраця з іншими університетами, моделювання польоту, аналіз конструкцій, вивчення аеродинаміки, розробка цифрових прототипів, створення цифрової бібліотеки, розвиток онлайн-спільнот, проведення онлайн-вебінарів та конференцій тощо. Висновки з дослідження свідчать про те, що роль цифрових ресурсів для студентів у здобуванні освіти, зокрема й природничо-науковій, зростає як прогресія, і потрібно завжди вдосконалювати професійні знання та цифрові компетентності, щоб бути конкурентоспроможним на ринку праці, фахівцями з унікальними особливостями.

Ключові слова: цифрові ресурси, природничо-наукова освіта, майбутні фахівці, мотивація, фізика.

Швидкий розвиток інформаційних технологій кардинально змінює обличчя сучасної освіти. Цифрові ресурси, що дедалі глибше інтегруються в освітній процес, відкривають нові можливості для навчання та пізнання. Особливо актуальним є питання використання цифрових інструментів у природничо-науковій освіті, яка традиційно орієнтована на експеримент, дослідження та розуміння фундаментальних законів природи.

Модернізація природничо-наукової освіти за допомогою цифрових ресурсів є невід'ємною частиною глобальних трендів у розвитку освіти. Упровадження інтерактивних симуляцій, віртуальних лабораторій, онлайн-платформ та інших цифрових інструментів дозволяє зробити навчання більш дієвим, ефективним, цікавим та доступним для широкого кола здобувачів. Це сприяє формуванню в здобувачів стійких знань, професійних компетентностей, необхідних для життя в сучасному інформаційному суспільстві.

Дана стаття присвячена аналізу ролі цифрових ресурсів у процесі модернізації природничо-наукової освіти. Розглянуто теоретичні основи використання цифрових технологій у навчанні природничих наук,

проаналізовані сучасні тенденції та практики, а також представлені результати досліджень, у вигляді рекомендацій, які підтверджують дієвість та ефективність застосування цифрових ресурсів у навчальному процесі [1, 2].

На основі аналізу літературних джерел, інформаційних ресурсів, інтеграція цифрових ресурсів у навчальний процес є одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасної освіти. Однак, на практиці цей процес стикається з рядом труднощів, пов'язаних з недостатньою підготовкою викладачів, відсутністю єдиних стандартів та методик використання цифрових технологій, а також з обмеженими матеріальними ресурсами навчальних закладів. Дослідження показують, що ефективне використання цифрових ресурсів вимагає комплексного підходу, який включає не тільки технічне оснащення, але й розробку нових навчальних програм та методик [3, 4].

Аналіз, порівняння та узагальнення останніх досліджень і публікацій у наукових журналах у галузі природничо-наукової освіти [5-10] свідчить про те, що проблема достатньо актуальна.

Приміром, учена Ольга Мехед – докторка педагогічних наук, професорка Національного університе-