

Косенко В. В.,  
Бугас Д. Н.

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

*Статья посвящена задаче обеспечения требований относительно оперативности обмена информацией в информационно-телекоммуникационных сетях. Выполнен анализ факторов и методов, определяющих эффективность информационно-телекоммуникационной сети. Показано, что эффективность использования сетевых ресурсов может быть повышена за счет разработки и применения методов адаптивного управления. Сформулирована математическая оптимизационная задача выбора наиболее эффективного сетевого протокола.*

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть, адаптивное управление, критерий эффективности.

## 1. Введение

Современная система управления характеризуется высокой интенсивностью информационных потоков, причем требования к оперативности управления, своевременного принятия и доведения до исполнителей решений и заданий постоянно повышаются. Такие системы, как правило, являются мультисервисными, т. е. оперируют разнородной информацией (данные, файлы, аудиовизуальная информация). Это обуславливает существенную нестационарность потоков данных в сети, интенсивность которых в отдельные периоды времени может существенно превышать среднестатистические значения. Вместе с тем, при проектировании систем управления распределенными технологическими и транспортными комплексами предъявляются весьма высокие требования, как по производительности сети, так и по надежности обслуживания абонентов.

Выполнение указанных требований неразрывно связано с необходимостью обобщения накопленного мирового опыта в сфере инфокоммуникаций и зависит от степени внедрения передовых информационных технологий, связанных с передачей и обработкой данных.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Новые технологии, такие, как, например, NGN и MPLS, позволяют создавать эффективные, надежные и безопасные сети любого масштаба. Однако в реальной информационно-телекоммуникационной сети (ИТС) обеспечить необходимое время реакции достаточно сложно из-за высокой интенсивности и разнообразия потоков данных, необходимости проведения поиска данных в хранилищах и базах данных большой размерности, сложного взаимодействия распределенных приложений, ограниченной скорости линий связи, замедления скорости взаимодействия в шлюзах, которые согласовывают неоднородные компоненты разных подсетей ИТС [1].

Решение указанных проблем невозможно без создания и внедрения эффективных систем управления,

которые позволяют поддерживать на заданном уровне сетевые ресурсы, необходимые для предоставления качественных услуг [2]. При этом необходимо учитывать, что в современных мультисервисных сетях используется сложное многофункциональное коммуникационное оборудование, которое обеспечивает поддержку специальных механизмов контроля и управления качеством и реализацию политики информационной безопасности.

Довольно часто основные преимущества современных систем управления — универсальность и многофункциональность — становятся в специализированных системах и их основными недостатками. Это связано с необходимостью учета специфики работы системы, которая требует соответствующих настроек сети и методов управления ее работой. Поэтому классические методы проектирования ИТС, учитывающие, главным образом, усредненные показатели производительности, не могут обеспечить эффективное использование сетевых ресурсов.

В связи с этим актуальным является направление исследований, связанное с разработкой новых информационных технологий управления распределением сетевого трафика, ориентированных на решение заданного набора прикладных задач и обеспечение необходимого качества их решения при применении универсальных многофункциональных систем управления, в частности в информационно-телекоммуникационных сетях [3].

Одним из перспективных направлений развития ИТС является сервис-ориентированный подход, позволяющий исследовать процессы обмена информацией между узлами сети, участвующими в решении различных задач и предоставляющими различные информационные услуги. Такой подход позволяет более адекватно моделировать потоки данных в мультисервисной ИТС. Однако формализация представления потоков данных в данном подходе пока не достаточна и ограничивается моделированием отдельных задач и аспектов функционирования ИТС [4, 5].

Дальнейшее развитие методов построения ИТС требует разработки и внедрения методов адаптивного управления, обеспечивающих высокую эффективность использования ресурсов сети путем учета характеристик

реального потока данных [6]. В связи с этим, одной из актуальных задач является исследование и математическое моделирование факторов, определяющих эффективность ИТС.

Таким образом, данная работа посвящена исследованию и математическому моделированию основных факторов и критерия эффективности использования сетевых ресурсов для использования в методах адаптивного управления ИТС.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

*Объект исследования* — показатели и критерии эффективности передачи данных в телекоммуникационной сети.

*Цель исследования* — повышение эффективности функционирования информационно-телекоммуникационной сети за счет разработки и применения методов адаптивного управления, учитывающих флуктуационный характер потока данных в сети и ограничения, наложенные тактико-техническими требованиями.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Выполнить анализ основных факторов, определяющих эффективность работы ИТС.

2. Выполнить анализ методов управления потоками данных в ИТС рамках современных концепций сетевого управления.

3. Разработать обобщенный критерий эффективности для математической оптимизационной задачи выбора наиболее эффективного сетевого протокола.

### 4. Основные факторы и методы управления, определяющие эффективность работы ИТС

Структура, назначение элементов, совокупность задач, условия функционирования разных подсистем позволяют определить основные факторы, которые обуславливают применение и разработку информационных технологий, направленных на обеспечение эффективной работы всей системы [7, 8].

1. Основными факторами, которые влияют на изменение времени передачи пакета данных, являются [9]: интенсивность информационных потоков ( $\lambda$ ); время коммутации пакета ( $t_k$ ), — зависит от сетевого устройства и определяется его техническими характеристиками; пропускная способность канала передачи данных ( $R_{к\psi}$ ); объем пакетных данных ( $V_p$ ); длительность очереди пакетов ( $n_0$ ); коэффициент загрузки канала служебной информацией — ( $\kappa_{зс}$ ).

2. Факторами, характерными для применения адаптивного управления потоками данных, являются флуктуационный характер процессов передачи информации, наличие долгосрочных зависимостей статистических характеристик информационных процессов, увеличение коэффициента отклонения пиковых значений интенсивности информационного потока [10].

3. Традиционные методы перераспределения сетевых ресурсов предполагают сглаживание профиля трафика информационных потоков. Однако существующие методы управления перегрузками не учитывают свойств трафика, поэтому процесс управления не всегда адекватен профилю трафика.

Управление потоками данных предназначено для ограничения нагрузки ресурсов сети и согласования

скорости передачи информации источником со скоростью принятия адресатом [11].

Методы управления потоками данных в современных ИТС используются в рамках передовых концепций сетевого управления, таких как Traffic Engineering (TE), Active Network (AN), Network Engineering (NE) и реализуют подходы к устранению ограничений существующих протокольных решений по управлению сетевыми ресурсами. Для их реализации используется тот или иной математический аппарат [12–15]. Так в TE и AN основной упор делается на применение сетевых методов управления в сочетании с методами математического и динамического программирования, в NE для потоков с большой степенью агрегации применяют аппарат дифференциальных интегральных уравнений [15, 16].

Указанные методы позволяют обеспечить сбалансированную загрузку ИТС, повысить ее общую производительность, однако не учитывают вероятностно-временные характеристики интегральных потоков данных и требуют использования более информативных моделей. На основании проведенного анализа можно сделать вывод о необходимости разработки новых моделей и методов адаптивного управления потоками данных, направленных на обеспечение эффективной работы ИТС.

### 5. Критерий эффективности передачи данных в телекоммуникационной сети

Для оценки эффективности функционирования сетевого протокола, принято использовать такие показатели [17, 18]: среднее время задержки при передаче информационных сообщений; среднее время нахождения сообщений в сети; средняя загрузка сети; средняя производительность сети; показатели надежности; показатели стоимости и др.

Функция оценки эффективности, таким образом, является многопараметрической, поэтому для ее расчета избирается минимально необходимое количество наиболее важных непротиворечивых показателей.

Пусть  $M = \{M^{(1)}, \dots, M^{(i)}, \dots, M^{(I)}\}$  — множество таких показателей,  $\dim M = I$ , каждый из которых, в свою очередь, определяется совокупностью частных показателей:

$$M^{(i)} = \{M_1^{(i)}, \dots, M_j^{(i)}, \dots, M_{J_i}^{(i)}\},$$

$$\dim M^{(i)} = J_i; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J_i}. \quad (1)$$

Определим функцию оценки эффективности функционирования сетевого протокола на подмножестве показателей:

$$L = L(M_0), M_0 \subset M, \quad (2)$$

где  $M_0$  — подмножество показателей, критических при функционировании сети.

Некритические показатели из подмножества  $M_{НК} = M \setminus M_0$ , охарактеризуем с помощью функций оценки:

$$L_k = L_k(M_0; M_{НК}), k = \overline{1, K}. \quad (3)$$

$$L(M_0) \rightarrow \sup, \quad (4)$$

при этом оценки некритических показателей с  $M_{HK}$  определяют ограничение соответствующей оптимизационной задачи:

$$L_k(M_0; M_{HK}) \mathfrak{R} F_k, \quad (5)$$

где  $\mathfrak{R}$  — отношение, которое может быть как строгого, так и нестрогого порядка и принимать значение из множества  $\{",\geq", "<=", ">", "<"\}$ ;  $k = \overline{1, K}$ ,  $F_k$  — предельная оценка для  $k$ -го некритического показателя.

Для ИТС критическими являются временные показатели, и кроме этого необходимо учитывать требования к: надежности, стоимости, защищенности, пропускной способности, стойкости к помехам и т. д. Определим множество  $M$  следующим образом:

$$M = \{M_1, M_2, M_3, M_4\}, \quad (6)$$

где  $M_1$  — время задержки сообщения;  $M_2$  — время коммутации;  $M_3$  — размер сообщения;  $M_4$  — пропускная способность линий связи.

Рассмотрим процесс обработки информационных сообщений в ИТС. Для  $n$ -го информационного сообщения ( $n = \overline{1, N}$ ), что обрабатывается  $m$ -м каналом ( $K$ ) сети ( $m = \overline{1, M}$ ) введем булеву функцию:

$$B(n; m) = \begin{cases} 1, & \text{если канал } m \text{ обслуживает сообщение } n; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (7)$$

Пусть:

$$M_1 = \{t_{n,m}^{(7)}\}; M_2 = \{t_{n,m}^{(k)}\}; M_3 = \{V_n\}; M_4 = \{C_{n,m}\}. \quad (8)$$

Кроме этого, определим ограничение на время доставки ИП —  $T_n$  и доступную пропускную способность сети —  $F_m$ .

Тогда обобщенный показатель эффективности — суммарное время обработки информационных сообщений на фиксированном временном интервале, можно определить следующим образом:

$$L(M_0) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N B(n, m) \cdot \left( t_{n,m}^{(7)} + t_{n,m}^{(k)} + \frac{V_n}{C_{n,m}} \right). \quad (9)$$

Частные показатели из множеств  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_4$  зависят от выбора сетевого протокола  $S$ . Тогда критерием выбора наиболее эффективного сетевого протокола ИТС является требование минимизации обобщенного показателя эффективности — суммарного времени обработки информационных сообщений на фиксированном временном интервале:

$$L(M_0, S) \xrightarrow{S} \min, \quad (10)$$

при ограничениях, которые накладываются характеристиками ИТС:

$$\sum_{n=1}^N B(m, n) \cdot C_{n,m}(S) \leq F_m, m = \overline{1, M}, \quad (11)$$

и ограничениях, наложенных тактико-техническими характеристиками:

$$\sum_{m=1}^M B(m, n) \cdot \left( t_{n,m}^{(3)}(S) + t_{n,m}^{(k)}(S) + \frac{V_n}{C_{n,m}(S)} \right) \leq T_n, n = \overline{1, N}. \quad (12)$$

Таким образом, сформулирована математическая оптимизационная задача выбора наиболее эффективного сетевого протокола. Для определения степени эффективности передачи данных в телекоммуникационной сети определен и обоснован выбор показателей и критерия эффективности передачи данных в телекоммуникационной сети и сформулирована оптимизационная задача выбора наиболее эффективного сетевого протокола.

## 6. Обсуждение результатов исследования эффективности ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

Проведенный анализ основных требований, предлагаемых к ИТС, определил, что существующие информационные технологии, на которых основаны методы управления распределением трафика в информационно-телекоммуникационных сетях, в условиях растущих объемов циркулирующей информации, а также при динамическом изменении структуры системы передачи данных не способны обеспечить требования к оперативности обмена информацией.

Анализ основных факторов, которые влияют на управление распределением трафика, показал необходимость разработки информационной технологии, которая ориентирована на адаптивное управление с целью повышения оперативности передачи информации в ИТС.

Результаты проведенного анализа современного состояния телекоммуникационных технологий и основных протокольных решений показали стремительную динамику развития ИТС в направлении создания высокоскоростных мультисервисных сетей, что связано с необходимостью поиска новых подходов к определению физической и функциональной архитектуры. Отмечено, что, несмотря на опережающее развитие технологий физического и канального уровней, в полном объеме реализовать потенциал ИТС возможно лишь за счет эффективного управления доступными сетевыми ресурсами в условиях растущих требований к оперативности обмена информацией.

Исходя из существующего противоречия между растущими универсальными возможностями систем управления и реальными потребностями при управлении, ориентированными на конкретные приложения, научно-прикладной задачей является обеспечение требований относительно оперативности обмена информацией в информационно-телекоммуникационных сетях на основе разработки информационной технологии адаптивного управления распределением сетевого трафика.

Осуществлен выбор показателей эффективности передачи данных в телекоммуникационной сети, в качестве которых избраны показатели эффективности функционирования сетевого протокола — время задержки информационного сообщения; время коммутации информационного сообщения; размер информационного сообщения; пропускная способность линий связи для передачи информационных сообщений.

Определен критерий выбора наилучшего сетевого протокола в качестве которого выступает требование относительно минимизации обобщенного показателя эффективности — суммарного времени обработки информационных сообщений на фиксированном временном интервале при ограничениях на время доставки и на доступную пропускную способность сети, наложенных согласно характеристикам телекоммуникационной сети и тактико-техническими характеристиками ИТС. Сформулирована оптимизационная задача выбора наиболее эффективного сетевого протокола.

Достоинством данного исследования является то, что предложенные модели и сформулированная оптимизационная задача используют не только усредненные показатели производительности и надежности сети, но и учитывает характеристики процесса обработки информационных сообщений, зависящие от исследуемого протокола. Это позволяет более адекватно моделировать процессы передачи данных в мультисервисных ИТС, учитывая их флуктуационный характер и наличие пиковых выбросов, существенно отличающихся от средних значений. В свою очередь, применение предложенных моделей в адаптивных методах управления сетями позволит обеспечить выполнение требований к производительности сети и надежности обслуживания абонентов за счет более эффективного функционирования сети без выделения избыточных ресурсов.

Вместе с тем следует отметить, что практическое применение предложенных моделей требует некоторых дополнительных исследований. В частности, при разработке методов адаптивного управления необходимо уделить внимание формированию множества критических и некритических показателей, которые используются при формулировке обобщенного критерия эффективности. Кроме того, нелинейный характер изменения некоторых частных показателей эффективности требует совершенствования математического аппарата решения соответствующих оптимизационных задач.

Результаты работы могут применяться при разработке методов адаптивного управления для специализированных мультисервисных информационных телекоммуникационных сетей с высокими требованиями по оперативности и надежности обмена информацией.

## 7. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Выполнен анализ факторов, определяющих эффективность информационно-телекоммуникационной сети и использование сетевых ресурсов, а также применяемые для управления телекоммуникационной сетью методы и математические модели. Показано, что современные методы управления потоками данных, хотя и обеспечивают сбалансированную нагрузку ресурсов сети, однако не учитывают некоторые факторы, обуславливающие флуктуационный характер сетевого трафика.

2. Рассмотрены основные методы управления распределением трафика в сети и применяемые в них математические модели. Показано, что эффективность использования сетевых ресурсов может быть повышена за счет разработки и применения методов адаптивного управления.

3. Исследована оценка эффективности передачи данных в телекоммуникационной сети. Определена много-

параметрическая функция оценки эффективности функционирования сетевого протокола. Сформулированы критерий выбора наиболее эффективного сетевого протокола, учитывающий критические и некритические показатели функционирования сети, а также процесс обработки информационных сообщений. В качестве обобщенного показателя эффективности выбрано суммарное время обработки информационных сообщений на фиксированном временном интервале. Сформулирована математическая оптимизационная задача выбора наиболее эффективного сетевого протокола.

## Литература

- Huang, Q. A new convolution algorithm for loss probability analysis in multiservice networks [Text] / Q. Huang, K.-T. Ko, V. B. Iversen // Performance Evaluation. — 2011. — Vol. 68, № 1. — P. 76–87. doi:10.1016/j.peva.2010.09.007
- Wu, Y. Impacts of data call characteristics on multi-service CDMA system capacity [Text] / Y. Wu, C. Williamson // Performance Evaluation. — 2005. — Vol. 62, № 1–4. — P. 83–99. doi:10.1016/j.peva.2005.07.011
- Rodrigues, C. An ontology for managing network services quality [Text] / C. Rodrigues, S. R. Lima, L. M. Álvarez Sabucedo, P. Carvalho // Expert Systems with Applications. — 2012. — Vol. 39, № 9. — P. 7938–7946. doi:10.1016/j.eswa.2012.01.106
- De Assis, M. V. O. A seven-dimensional flow analysis to help autonomous network management [Text] / M. V. O. de Assis, J. J. P. C. Rodrigues, M. L. Proença // Information Sciences. — 2014. — Vol. 278. — P. 900–913. doi:10.1016/j.ins.2014.03.102
- Long, Q. Three-dimensional-flow model of agent-based computational experiment for complex supply network evolution [Text] / Q. Long // Expert Systems with Applications. — 2015. — Vol. 42, № 5. — P. 2525–2537. doi:10.1016/j.eswa.2014.10.036
- Rác, S. Flow level performance analysis of a multi-service system supporting elastic and adaptive services [Text] / S. Rác, B. P. Gerő, G. Fodor // Performance Evaluation. — 2002. — Vol. 49, № 1–4. — P. 451–469. doi:10.1016/s0166-5316(02)00115-3
- Олифер, В. Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы [Текст] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — 3-е изд. — СПб.: Питер, 2008. — 958 с.
- Ершов, В. А. Мультисервисные телекоммуникационные сети [Текст] / В. А. Ершов, Н. А. Кузнецов. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 432 с.
- Иванов, И. А. Интеллектуальное управление компьютерными сетями [Текст] / И. А. Иванов, Ю. Л. Леохин // Автоматизация и современные технологии. — 2006. — № 12. — С. 26–31.
- Поштаренко, В. М. Обеспечение качества обслуживания на критических участках мультисервисной сети [Текст] / В. М. Поштаренко, А. Ю. Андреев, Мерси Амаль // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. — 2013. — № 60 (1033). — С. 94–100.
- Галкин, В. А. Телекоммуникация и сети [Текст] / В. А. Галкин. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 608 с.
- Польщиков, К. А. Метод оценки эффективности управления информационными потоками в телекоммуникационной сети специального назначения [Текст] / К. А. Польщиков, О. Н. Одарушенко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. — 2008. — № 6 (33). — С. 269–276.
- Султанов, А. Х. Метод оценки показателей качества обслуживания иерархических мультисервисных сетей [Текст] / А. Х. Султанов, Р. Р. Султанов // Вестник УГАТУ. — Уфа, 2009. — Т. 12, № 1(30). — С. 175–181.
- Лагутин, В. С. Оценка характеристик пропускной способности мультисервисных пакетных сетей при реализации технологии разделения типов нагрузки [Текст] / В. С. Лагутин, В. О. Костров // Электросвязь. — 2003. — № 3. — С. 28–32.
- Шамрай, Н. Б. Решение задач транспортного равновесия с декомпозицией по ограничениям [Текст] / Н. Б. Шамрай // Труды всероссийской конференции «Равновесные модели в экономике и энергетике». — Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2008. — С. 618–624.
- Швецов, В. И. Алгоритмы распределения транспортных потоков [Текст] / В. И. Швецов // Автоматика и телемеханика. — 2009. — № 10. — С. 148–157.

17. Вишне夫斯基, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей [Текст] / В. М. Вишне夫斯基. — М.: Техносфера, 2003. — 512 с.
18. Ластовченко, М. М. Системный анализ эффективности функционирования широкополосной транспортной платформы интеллектуальных сетей [Текст] / М. М. Ластовченко, В. Е. Русецкий, В. Н. Ярошенко // Математичні машини і системи. — 2006. — № 1. — С. 28–39.

#### АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Стаття присвячена завданню забезпечення вимог щодо оперативності обміну інформацією в інформаційно-телекомунікаційних мережах. Виконано аналіз факторів і методів, що визначають ефективність інформаційно-телекомунікаційної мережі. Показано, що ефективність використання мережних ресурсів може бути підвищена за рахунок розробки й застосування методів адаптивного керування. Сформульована математична оптимізаційна задача вибору найбільш ефективного мережного протоколу.

**Ключові слова:** інформаційно-телекомунікаційна мережа, адаптивне управління, критерій ефективності.

**Косенко Віктор Васильович**, кандидат технічних наук, доцент, Харківський науково-дослідницький інститут технології машинобудування, Україна, e-mail: kosv.v@ukr.ua.

**Бугас Дмитрій Николаевич**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, кафедра управління проектами в городському господарстві і будівництві, Харківський національний університет городского хозяйства ім. А. Н. Бекетова, Україна.

**Косенко Віктор Васильович**, кандидат технічних наук, доцент, Харківський науково-дослідницький інститут технології машинобудування, Україна.

**Бугас Дмитро Миколайович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, кафедра управління проектами в міському господарстві і будівництві, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.

**Kosenko Viktor**, Kharkiv Scientific-Research Institute of Mechanical Engineering Technology, Ukraine, e-mail: kosv.v@ukr.ua.

**Bugas Dmuro**, O. M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv, Ukraine

УДК 004.942

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51795

Кравченко О. В.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕГРАДАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ ДИСКРЕТНИХ ПРИСТРОЇВ

В статті змодельовано фізичну поведінку складових матеріалів комп'ютерних компонент дискретних пристроїв та досліджено умови їх деградації. Процес моделювання надає можливість проводити попередню оцінку поведінки композитних складових дискретного пристрою, що прискорює дослідження процесу деградації у часі.

**Ключові слова:** надійність, дискретний пристрій, композитний матеріал, аналіз, моделювання, фізична деградація.

### 1. Вступ

Створення та дослідження матеріалів з наперед заданими властивостями займає одне з провідних місць на полі досліджень фізичної деградації. В процесі технологічного створення комп'ютерних компонентів треба комбінувати різні типи однорідних матеріалів. Завдяки поєднанню цих матеріалів можна отримати композитні матеріали, для яких важливим є питання міцності та надійності.

Процес деградації матеріалу дискретного пристрою проходить «повільно» у відношенні до амортизаційного часу роботи самого пристрою. Фізична деградація комп'ютерних компонентів призводить до неправильної роботи дискретних пристроїв.

Необхідність та доцільність попередніх досліджень (моделювання) обумовлена наступними обставинами. Відомо, що поверхня твердого тіла і взагалі поверхня поділу будь-яких суцільних середовищ має досить суттєвий вплив на механізм фізико-хімічних процесів в самих тілах і, відповідно, контактуючих середовищах. Зазначений вплив має місце в технологічних процесах виготовлення композитних матеріалів, експлуа-

тації елементів конструкцій із них тощо. Важливою є та обставина, що фізико-хімічні властивості в околі межі поділу контактуючих середовищ можуть суттєво відрізнятися від аналогічних властивостей всередині середовища.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Застосування інтегральних мікросхем в спеціальній та вимірювальній апаратурі дозволяє отримувати вироби з наперед заданими вихідними параметрами. Стабільність параметрів виробів в даному випадку багато в чому визначається тимчасовим дрейфом опору тонкоплівкових резисторів, що входять в конструкції мікросхем. Для з'ясування причин зміни властивостей тонкоплівкових резисторів представляють інтерес дослідження процесів, що відбуваються в них з часом [1].

Для виготовлення напівпровідникових інтегральних схем ІМС використовують у більшості випадків пластини монокристалічного кремнію р-або n-типу провідності, забезпеченими епітаксialними і так званими «прихованими» шарами. В якості легуючих домішок,