

9. Mostovoi J.A., Slepuchov I.I. *Programma upravlenija dostupom komp'yuterv k seti v seansah svyazi po izmenjaemomu zakrytomu raspisaniju*. [The program of access control of computers to a network in communication sessions according to the changeable closed schedule]. Svidetel'stvo ob ofitsialnoi registratsii programm dlya EVM. No 2016662289, 2016.
10. Kupcevic Ju.E. *Al'manah programmista: Bezopasnost' v .NET, Shifrovanie, Zashhita koda i dannyh* [Almanac of the programmer: Safety in .NET, Encoding, Protection of a code and data]. Moscow, Russkaja redakcija Publ., 2004. pp. 174-261.

Received 21.12.2016

УДК 621.396.67

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ КОНИЧЕСКОГО РУПОРА

Кубанов В.П.¹, Ружников В.А.¹, Сподобаев М.Ю.²

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

² Научно-исследовательский институт радио, Москва, РФ

E-mail: kubanov@psati.ru

В статье приведены результаты исследований и разработки методологии расчетного мониторинга поля, создаваемого одним из элементов телекоммуникационных технических средств СВЧ-диапазона – коническим рупором. Была поставлена и решена задача уточнения физически обоснованной математической модели для расчета значений плотности потока энергии вблизи апертуры конического рупора. Модель ориентирована на применение в практике прогнозирования электромагнитной безопасности на соответствующих объектах.

Ключевые слова: электромагнитная безопасность, плотность потока энергии, электродинамическая модель, конический рупор, диаграмма направленности

Введение

Основой решения задач электромагнитной (ЭМ) экологии является разработка универсальных подходов к расчету полей в зонах, прилегающих к излучающему объекту. В числе первых значимых работ этого направления следует назвать [1-3]. Проблемы ЭМ-экологии в систематическом виде впервые были сформулированы в [4-5].

Излучение ЭМ-полей коническими рупорами рассматривались многими авторами, например [6-10]. Анализ результатов этих работ показал, что для их применения в моделях прогнозирования ЭМ-обстановки необходимы дополнительные исследования по расчету коэффициента направленного действия (КНД) в зоне Френеля с учетом расфазировки апертуры рупора.

Методика расчета

Ключевым моментом при решении задач оценки ЭМ-безопасности является расчет плотности потока энергии (ППЭ) ЭМ-излучения. В свою очередь, расчет ППЭ требует предварительных вычислений двух параметров излучателя – нормированной характеристики направленности и КНД. Ниже приводится подробное изложение методики расчета этих параметров и ППЭ кони-

ческого рупора с прямолинейной образующей, показанного на рис. 1.

Геометрию рупора зададим параметрами: a – радиус апертуры (раскрыва); l – длина рупора. В большинстве случаев конический рупор возбуждается круглым волноводом с волной типа H_{11} . Примем, что плоскости H соответствует угол $\varphi = 0$, а плоскости E – угол $\varphi = \pi/2$.

Для зоны Френеля, представляющей особый интерес при оценке электромагнитной безопасности конического рупора, поле в точке наблюдения может быть представлено в виде [11-12]:

$$E(\theta, \varphi) = -i \frac{E_0 a^2}{2R\lambda} (1 + \cos \theta) e^{-ikR} f(\theta, \varphi), \quad (1)$$

где

$$f(\theta, \varphi) = \int_0^{2\pi} \int_0^1 f(\rho, \phi) e^{-i\gamma\rho^2 - i\delta\rho \cos(\varphi - \phi)} \rho d\rho d\phi. \quad (2)$$

Функция, аппроксимирующая распределение амплитуд в плоскости раскрыва рупора при его возбуждении волной H_{11} :

$$f(\rho, \phi) = (1 - 0,37\rho^2 + (-0,845 + 0,215\rho^2 \rho^2 \cos^2 \phi). \quad (3)$$

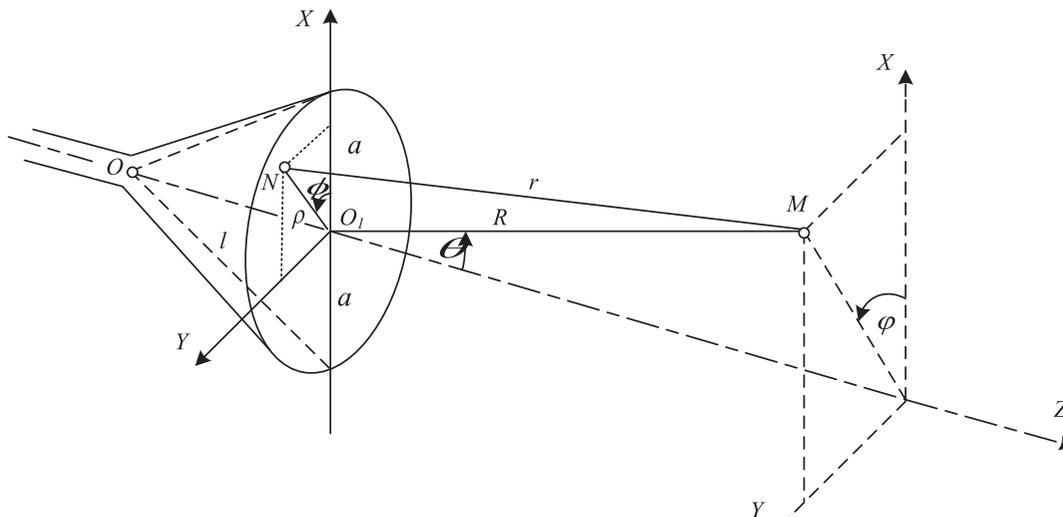


Рис. 1. К расчету плотности потока энергии поля, излучаемого коническим рупором

Обобщенный параметр

$$\delta = ka \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta. \quad (4)$$

Параметр, учитывающий результирующую расфазировку,

$$\gamma = ka^2/2l + ka^2/2R. \quad (5)$$

В (5) первое слагаемое ($ka^2/2l$) учитывает квадратичную расфазировку, возникающую из-за разности длин путей от точки O до текущей точки $N(\rho, \phi)$ в апертуре. Второе слагаемое $ka^2/2R$ учитывает квадратичную расфазировку, связанную с разностью хода от центра апертуры O_1 и точки в апертуре $N(\rho, \phi)$ до точки наблюдения $M(R, \theta)$.

Современные ЭВМ позволяют выполнить интегрирование согласно (2), не прибегая к результатам предварительного аналитического сведения интеграла к рядам функций Ломмеля 1-го и 2-го порядка [9-11].

Результаты расчетов

На рис. 2 приведены нормированные диаграммы направленности (ДН) рупора для плоскости YOZ (E -плоскость, $\varphi = \pi/2$). Расчет выполнен по формулам (2)-(5), аргументом является обобщенная координата $\delta = ka \sin \theta$ при фиксированных значениях квадратичной расфазировки γ в интервале от π до 6π .

Аналогичные ДН получены и для плоскости XOZ (H -плоскость, $\varphi=0$). Эти ДН в статье не приведены – это объясняется тем, что значение ширины ДН по уровню половинной мощности в E -плоскости у конического рупора больше, чем в H -плоскости. Поэтому для оценки ЭМ-безопас-

ности излучения конического рупора достаточно использовать ДН, соответствующие плоскости $\varphi = \pi/2$. Эти ДН можно принять в качестве гарантированных огибающих для ДН в любой другой плоскости, когда $\varphi \neq \pi/2$.

Учитывая, что ДН построены в зависимости от обобщенной координаты δ и большого диапазона значений расфазировки (от $\gamma = \pi$ до $\gamma = 6\pi$), можно говорить об их универсальности для реальных типоразмеров конического рупора.

Формула для расчета ППЭ конического рупора имеет вид [2]:

$$P_{кр} = (P/4\pi R^2)D(\gamma)F^2(\delta, \gamma), \text{ Вт/м}^2, \quad (6)$$

где P – мощность, излучаемая антенной, Вт; R – расстояние от центра апертуры рупора до точки наблюдения $M(R, \theta)$, м; $D(\gamma)$ – КНД расфазированного рупора в направлении θ , заданном обобщенным параметром $\delta = ka \sin \theta$; $F^2(\delta, \gamma)$ – нормированная характеристика направленности рупора по мощности.

Если в (6) перейти от размерности Вт/м² к мкВт/см², то выражение для $P_{кр}$ приводится к виду

$$P_{кр} = 100(P/4\pi R^2)D(\gamma)F^2(\delta, \gamma), \text{ мкВт/см}^2. \quad (7)$$

Для получения расчетного выражения $D(\gamma)$ воспользуемся имеющимся в [11] графиком изменения КНД расфазированного конического рупора (для главного направления излучения $\theta = 0$), возбужденного волной H_{11} , по отношению к КНД синфазно возбужденной апертуры. График представлен в виде функции суммарной расфазировки на краю апертуры, то есть

$$\chi(\gamma) = D(\gamma) - D(0), \text{ дБ}. \quad (8)$$

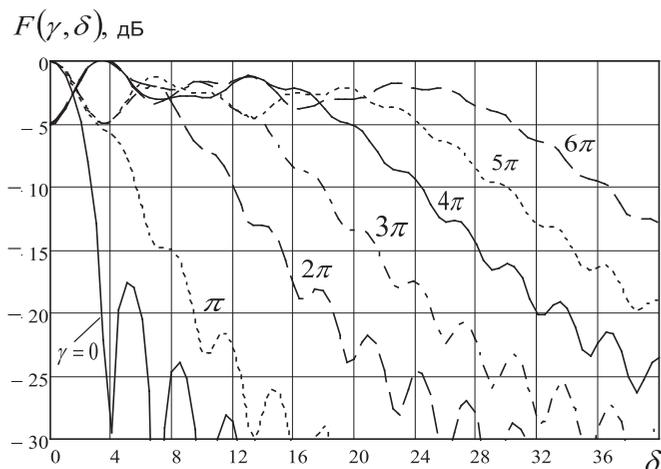


Рис. 2. Влияние расфазировки на ДН конического рупора в E-плоскости ($\varphi = \pi/2$)

Для синфазно возбужденной волной H_{11} апертуры конического рупора значение КНД определяется как

$$D(0) = 0,84(4\pi^2 a^2 / \lambda^2). \quad (9)$$

При переходе к децибелам имеем

$$D(0) = -0,757 + 20 \log(2\pi a / \lambda), \text{ дБ.} \quad (10)$$

Для рупоров, имеющих значения суммарной расфазировки γ , равные $2n\pi$, $n = 1; 2; 3 \dots$, функция (8) имеет частные минимумы, а при $\gamma = (2n+1)\pi$ – максимумы. Для оценки ЭМ-безопасности целесообразно воспользоваться значениями $\chi(\gamma)$, соответствующими огибающей максимумов (см. рис. 3) этой функции, которая аппроксимируется полиномом третьей степени [10]:

$$\chi(\gamma) = 1,34 \cdot 10^{-3} \gamma^3 - 4,34 \cdot 10^{-3} \gamma^2 - 1,46 \gamma, \text{ дБ.} \quad (11)$$

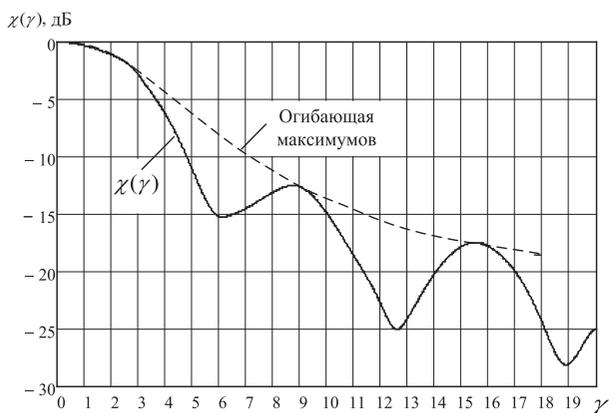


Рис. 3. Изменение КНД расфазированного рупора

С учетом изложенного, выражение для огибающей КНД в функции суммарной расфазировки принимает вид:

$$D(\gamma) = 20 \log(2\pi a / \lambda) - 0,757 + \chi(\gamma), \text{ дБ.} \quad (12)$$

Для удобства практических расчетов можно от абсолютных значений величины ППЭ перейти к относительным: децибелам относительно 1 мкВт/см². Тогда выражение (7) с учетом (10) и (12) можно представить как

$$P_{кр} = 20 + 10 \log(P / 4\pi R^2) \text{ дБ} + D(0) \text{ дБ} + \chi(\gamma) \text{ дБ} + F(\delta, \gamma), \text{ дБ.} \quad (13)$$

Значения огибающих КНД для расфазированного рупора рассчитаны по формуле (12). На рис. 4 приведены графики $D(\gamma)$ конического рупора для различных значений радиуса его апертуры как функции расфазировки.

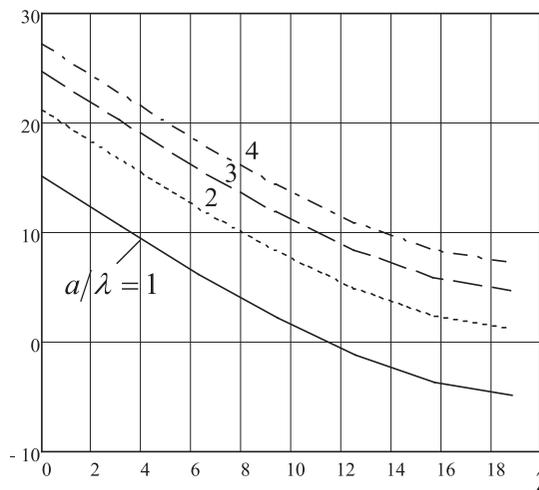


Рис. 4. КНД расфазированного конического рупора (гарантированные значения)

Расчет КНД конического рупора по методике, предложенной в [9], не учитывает фактор расфазировки апертуры, что приводит к существенно-му завышению расчетных значений КНД.

Пример расчета

Конический рупор, имеющий геометрические размеры (см. рис. 1) $a = 15$ см, $L = 45$ см возбуждается волной типа H_{11} на длине волны $\lambda = 3$ см. Подводимая мощность $P = 100$ Вт. Необходимо рассчитать ППЭ в точке M с координатами $R = 1,5$ м, $\theta = 20^\circ$.

Результаты расчета: $\gamma = 6,807$ согласно (5); $\delta = 10,745$ согласно (4); $D(\gamma) = 19,469$, дБ согласно (12). Значение нормированной характеристики направленности

$$F(\delta = 0,745, \gamma = 6,807) = -5,422 \text{ дБ.}$$

Нормированная ДН, рассчитанная с применением численного интегрирования по формулам (2-5), приведена на рис. 5. Значение ППЭ, дБ/мкВт = 39,5 согласно (13), что соответствует ППЭ = $8,982 \cdot 10^3$ мкВт/см².

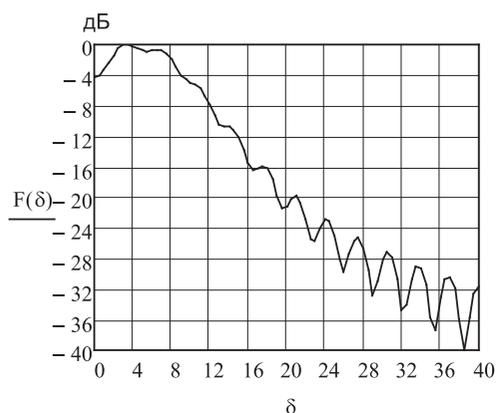


Рис. 5. Нормированная ДН конического рупора

Заключение

Поставленная задача уточнения математической модели для расчета значений ППЭ вблизи апертуры конического рупора решена. Предложенную методику расчета можно рекомендовать для включения в новую редакцию нормативных документов по определению ППЭ ЭМ-излучения в местах размещения радиосредств соответствующего диапазона.

Кубанов Виктор Павлович, д.т.н., профессор Кафедры электродинамики и антенн Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-22. E-mail: kubanov@psati.ru

Ружников Вадим Александрович, к.т.н., декан Факультета базового телекоммуникационного образования ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-53. E-mail: rv@psuti.ru

Литература

1. Минин Б.А. СВЧ и безопасность человека. М.: Сов. радио, 1974. – 352 с.
2. Крылов В.А., Юченкова Т.В. Защита от электромагнитных излучений. М.: Сов. Радио. 1972. – 130 с.
3. Сподобаев Ю.М., Шередько Е.Ю. Плотность потока мощности поля технических средств телевизионного и УКВ ЧМ вещания // Труды НИИР. №4, 1983. – С. 45-51.
4. Сподобаев Ю.М. Проблемы электромагнитной экологии // Электросвязь. №3, 1992. – С. 8-9.
5. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.
6. Ерухимович Ю.А., Кобрина Г.А. Излучение несинфазной круглой апертуры // Труды НИИР. 1963. Т.4. No 49. С. 129-136.
7. Li T., Turrin R.H., Holmdel N.J. Near-zone field of the conical horn // IEEE Trans. Antennas Propagation. Vol. AP-12, №6, 1964. – P. 800-802.
8. Narasimhan M.S., Sheshadri M.S. GTD analysis of the radiation patterns of conical horns // IEEE Trans. Antennas Propagation. Vol. AP-26, № 6, 1978. – P. 774-778.
9. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц. Методические указания МУК 4.3.1167 – 02. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2002. – 80 с.
10. Кубанов В.П., Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М. Электромагнитная безопасность. Антенны СВЧ-диапазона. Самара: ООО «Офорт», 2014. – 108 с.
11. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ. Ч. 1. М.: Связь, 1977. – 384 с.
12. Фролов О.П., Вальд В.П. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 496 с.

Получено 02.02.2017

Сподобаев Михаил Юрьевич, к.т.н., первый заместитель генерального директора ФГУП Научно-исследовательский институт радио (г. Москва). Тел. (8-495) 647-18-16. E-mail: mspd@niir.ru

ELECTRODYNAMIC MODEL OF ELECTROMAGNETIC FIELDS RADIATION OF CONICAL HORN ANTENNA FOR PURPOSES OF ELECTROMAGNETIC SAFETY

Kubanov V.P.¹, Ruzhnikov V.A.¹, Spodobaev M.Y.²

¹ *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

² *Radio Research and Development Institute, Moscow, Russian Federation*

E-mail: kubanov@psati.ru

Intensive development of the telecom industry, including radio, still leads to greater saturation of the environment with electromagnetic energy. In science, it formed a new scientific direction – the electromagnetic environment. This is an area characterized by specific problems: sanitary, environmental, social and governance. In Russia, the methodological basis of electromagnetic monitoring was established over the last twenty-five years, based on the results of the decision-sponging respectively electrodynamic problems and the widespread use of computer technology. The article presents the results of research and development of the design of the field monitoring methodology, created by one of the elements of telecommunications hardware microwave - a conical horn antenna. It was solved the problem of clarifying physically reasonable mathematical model for calculating the values of the density of the energy-flow in the vicinity of the aperture of the conical horn antenna. The model focuses on the application in practice of forecasting the electromagnetic security at related facilities.

Keywords: electromagnetic safety, energy flux density, electrodynamic model, conical horn antenna, directivity pattern

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.1.13

Kubanov Viktor Pavlovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Electrodynamics and Antennas, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel.: +78462280022. E-mail: kubanov@psati.ru

Ruzhnikov Vadim Aleksandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Dean of the Faculty of Basic Telecommunication Education, PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280053. E-mail: rv@psuti.ru

Spodobaev Mikhail Yuryevich, Radio Research and Development Institute, 105064, Russia, Moscow, 16 Kazakova str., Moscow, 105064, Russian Federation; First Deputy General Director, PhD in Technical Science. Tel.: +74956471816. E-mail: mspd@niir.ru

References

1. Minin B.A. *SVCh i bezopasnost' cheloveka*. [Microwaves and human safety]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1974. 352 p.
2. Krylov V.A., Utenkova T.V. *Zashhita ot jelektromagnitnyh izluchenij* [Protection from electromagnetic radiation]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1972. 130 p.
3. Spodobaev J.M., Sheredeko E.Y. Plotnost' potoka moshhnosti polja tehnicheskikh sredstv televizionnogo i UKV ChM veshhaniya [The power flux density of the field for technical means of television and VHF FM broadcasting]. *Trudy NIIR*, 1983, no. 4. pp. 45-51.
4. Spodobaev Y.M. Problemy jelektromagnitnoj jekologii [The Problems of electromagnetic ecology]. *Telecommunications*, 1992, no. 3. pp. 8-9.
5. Spodobaev Y.M., Kubanov V.P. *Osnovy jelektromagnitnoj jekologii* [Fundamentals of electromagnetic ecology]. Moscow, Radio i Svyaz Publ., 2000. 240 p.
6. Erukhimovich Y.A., Kobrin G.A. Izluchenie nesifaznoj krugloj apertury [Radiation recipes on circular aperture]. *Trudy of NIIR*, 1963. vol. 4, no. 49. pp. 129-136.

7. Li T., Turrin R.H., Holmdel N.J. Near-zone field of the conical horn. *IEEE Trans. Antennas Propagation*, 1964, vol. AP-12, no. 6., pp. 800-802.
8. Narasimhan M.S., Sheshadri M.S. GTD analysis of the radiation patterns of conical horns. *IEEE Trans. Antennas Propagation*, 1978, vol. AP-26, no. 6, pp. 774-778.
9. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц [Determination of the density of electromagnetic energy flux in the locations of radio equipment operating in the frequency range 300 MHz – 300 GHz]. *Methodical instructions of MUK 4.3.1167 – 02*. Moscow, Federal center of Gossanepidnadzor-RA Ministry of health of Russia, 2002. 80 p.
10. Kubanov V.P., Spodobaeв M.Y., Spodobaeв Yu.M. Electromagnitnaya bezopasnost. Antenny SCVCH diapazona [Electromagnetic safety. The antenna of the microwave range]. Samara, Ofort Publ., 2014. 108 p.
11. Aizenberg G.Z., Yampolsky V.G., Tereshin O.N. Ed. by G. Z. Eisenberg. *UKV anteny* [VHF antenna]. In 2 hours Part 1. Moscow, Svyaz Publ., 1977. 384 p.
12. Frolov O.P., Vald V.P. *Zerkal'nye anteny dlja zemnyh stancij sputnikovoj svyazi* [Wald reflector antennas for earth stations of satellite TV]. Moscow, Goryachaya Liniya – Telecom Publ., 2008. 496 p.

Retrieved 13/02/2017

УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

УДК 004.9:338

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Штриков А.Б.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: ashtrikov@yandex.ru

Рассмотрены вопросы внедрения информационно-компьютерных технологий для преподавания экономических предметов в высших учебных заведениях. Приведены основные принципы, методы, а также главные направления их использования в преподавательской деятельности, позволяющие улучшить качество подготовки студентов без использования более дорогостоящих и менее мобильных печатных пособий. Определен уровень требований к методическому и материальному обеспечению преподавательской деятельности исходя из вышеназванных принципов, методов и направлений использования информационно-компьютерных технологий. Проанализированы возможные достоинства и недостатки применения информационных технологий в сфере высшего профессионального образования. Даны рекомендации по оптимизации качества процесса обучения и комплексной модернизации применяемых образовательных технологий, комплексного применения современных информационно-компьютерных технологий и повышения квалификации преподавательского состава.

Ключевые слова: информационные технологии, информационно-компьютерные технологии, образовательный уровень, высшее профессиональное образование, учебные материалы

Введение

В настоящее время логика научно-технического прогресса определяет неизбежность реформ образовательной сфере, в том числе в сфере высшего профессионального образования. Параметры подготовки студентов определяются не только вузами и государством, но и заказчиками, то есть работодателями [1]. Благодаря внедрению в образование инновационных методов и технологий, в том числе информационных, становится возможным решение

задачи обеспечения полноценной подготовки специалиста с минимумом времени и затрат.

Научно-технический прогресс, в частности развитие информационных технологий (ИТ) и средств телекоммуникаций, повышение доступности приобретения персональных компьютеров, привело к радикальному повышению роли ИТ в широких слоях российского общества. Владение ИТ становится исключительно важным для гармоничного развития человека, и информация – одним из самых важных ресурсов. Используемые в настоящее