

20. Alyshev Yu.V., Maslov O.N., Rakov A.S., Shashenkov V.F. A method for information protection of a random antenna. Patent RU 2 474 966 C1 from 30.11.2011, publ. 10.02.2013, bull. no. 4. (In Russ.)
21. Alyshev Yu.V., Maslov O.N., Shashenkov V.F. Method for information protection of a distributed random antenna. Patent RU 2470465 from 20.12.2010, publ. 20.12.2012, bull. no. 35. (In Russ.)
22. Maslov O.N., Zasedateleva P.S. A method for protecting information in a distributed random antenna. Patent RU 2492581 from 30.11.2011, publ. 10.09.2013, bull. no. 25. (In Russ.)
23. Maslov O.N., Shashenkov V.F., Borisova I.E. A device for information protection of a distributed random antenna. Patent RU 2502195 from 02.09.2011, publ. 20.12.2013, bull. no. 35. (In Russ.)
24. Maslov O.N., Scherbakova T.A. A method for protecting a distributed random antenna. Patent RU 2503132 from 30.11.2011, publ. 27.12.2013, bull. no. 36. (In Russ.)

Received 20.11.2020

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.315

ПРОСТАЯ ПРИБЛИЖЕННАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ПРОГНОЗА СРОКА СЛУЖБЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Нижгородов А.О.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: anton.socol2017@yandex.ru

Статья посвящена прогнозированию срока службы оптических кабельных линий связи, который определяется сроком службы оптических волокон. На основе известных формул для расчета показателей надежности оптических волокон с учетом требований к надежности кабельных сетей и диапазонов изменения параметров разрушения кварцевых световодов получены приближенные формулы для расчета срока службы кабеля линий связи с заданной вероятностью. Формулы получены для постоянной нагрузки на волокна кабеля с учетом их случайного характера. Даны оценки погрешности предложенных формул. Расчеты показывают, что ошибки в интересующей области надежности линий связи по сравнению с известными более строгими формулами не превышают долей процента, что позволяет рекомендовать полученные соотношения к использованию.

Ключевые слова: оптическое волокно, оптический кабель, волоконно-оптическая линия связи, надежность, срок службы

Введение

На сегодняшний день в России основные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), предложенные 25–30 лет назад, подходят вплотную к сроку износа. Срок службы применяемых на этих ВОЛС оптических кабелей (ОК) превысил параметры, заявленные заводами-изготовителями по результатам входного контроля и выданных сертификатов. Вследствие этого ожидается начало периода резкого увеличения интенсивности отказов на ВОЛС.

Указанная проблема делает актуальной задачу прогноза срока службы ОК, в особенности с учетом того, что резкое увеличение интенсивности отказов ВОЛС приведет к потере устойчивости сетей связи в целом [1–3]. Согласно рекомендациям Международного союза электросвязи, в области телекоммуникаций (МСЭ-Т), срок службы ОК рекомендуется оценивать по сроку

службы оптического волокна (ОВ), используемого в кабеле. В дополнении 59 к рекомендациям МСЭ-Т серии G предложена следующая формула для расчета срока службы ОК [4]:

$$t_a = t_p \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_a} \right)^n \left\{ \left[1 - \frac{\ln(1-F)}{N_p L} \right]^{\frac{1}{m_s}} - 1 \right\}, \quad (1)$$

которую можно записать в следующем виде [5–7]:

$$t_a = \frac{1}{\sigma_a^n} \left\{ \left[\frac{\beta^{m_s}}{L} \ln \frac{1}{P} + (\sigma_p^n t_p)^{m_s} \right]^{\frac{1}{m_s}} - \sigma_p^n t_p \right\}. \quad (2)$$

При этом, согласно [4–7],

$$\beta = \sigma_p^n t_p N_p^{\frac{1}{m_s}} = \sigma_p^n t_p L_p^{\frac{1}{m_s}}, \quad (3)$$

где t_p – время испытания ОВ при выполнении испытания под нагрузкой (proof-test); σ_p – нагруз-

ка на ОВ при проведении испытания proof-test; L_p – длина ОВ, которая тестировалась proof-test; t_a – срок службы ОВ; σ_a – нагрузка, которая воздействует на ОВ во время всего срока службы; L – это длина ОВ, для которой выполняют прогноз срока службы; N_p – это число обрывов ОВ при выполнении испытания под нагрузкой (proof-test); n – это параметр прочности кварцевого стекла; m_s – это параметр распределения Вейбулла; F – это вероятность того, что ОВ будет повреждено; $P = 1 - F$ – это вероятность безотказной работы ОВ в течение его срока службы в ОК t_a ; S_0 – это прочность ОВ в начале испытаний proof-test; B – это параметр прочности ОВ, выполненного из плавленого кварцевого стекла.

Представленная выше формула (1) была получена в работах [6; 7] на основе статической модели разрушения ОВ, изготовленного из плавленого кварцевого стекла [8; 9]. При оценке срока службы ОВ, как правило, используют другую модель разрушения волокна из кварцевого стекла [10; 11] – это так называемая двухстадийная модель. Согласно этой модели, разрушение ОВ происходит в две стадии, при этом первая стадия может длиться годами, а вторая протекает за доли секунд.

С учетом того, что вторая стадия намного короче первой, при выполнении прогноза срока службы ОВ в кабеле можно рассматривать только первую стадию. Для первой стадии параметры прочности кварцевого стекла можно принять равными $n = 21$, $B = 4,5 \cdot 10^{-5}$ ГПа²с [10]. Параметр прочности кварцевого стекла n , согласно данным работы [4], можно принять $n = 20$. Для статической модели разрушения кварцевого стекла параметр m_s определяется формулой [5]:

$$m_s = \frac{m_d}{n+1}, \quad (4)$$

где m_d – параметр закона Вейбулла для динамической модели разрушения кварцевого стекла. В дополнении 59 к рекомендациям МСЭ-Т серии G [4] параметр закона Вейбулла для динамической модели $m_d = 2,359$ – с учетом этого $m_s = 0,11 \dots 0,13$.

Вывод приближенной формулы

Представленные выше формулы (1)–(2) можно привести к следующему виду:

$$\ln \frac{1}{P_x} = \left[(X+1)^{m_s} - 1 \right] \frac{L}{L_p}, \quad (5)$$

где X равен:

$$X = \frac{t_a \sigma_a^n}{t_p \sigma_p^n}. \quad (6)$$

Следует отметить, что на сегодняшний день к надежности кабельных линий связи предъявляются достаточно высокие требования. В [16] уже было указано, что магистральные кабельные линии связи должны удовлетворять следующим нормативным значениям показателей надежности:

- наработка на отказ на 100 км линии T_0 должна быть не хуже чем 34375 час;
- коэффициент простоя K_n не должен превышать $2,55 \cdot 10^{-4}$;
- коэффициент готовности K_g не должен быть хуже 0,9997.

Но, как это следует из соотношения (5), при $K_g > 0,9$ выполняется условие $X \ll 1$. То есть для этого случая, можно полагать, что [12–14]

$$(X+1)^{m_s} \cong 1 + m_s X. \quad (7)$$

Подставляя формулу (7) в (5), получим

$$\ln \frac{1}{P_x} = X \frac{m_s L}{L_p}$$

с учетом формулы (6), вероятность безотказной работы ОВ будет определяться следующим образом:

$$P = \exp \left(-m_s \frac{t_a \sigma_a^n L}{t_p \sigma_p^n L_p} \right). \quad (8)$$

С учетом того, что, согласно нормативным требованиям к современным ВОЛС $P > 0,9$, выполняя разложение экспоненты в формуле (8) в ряд [12–14], получаем следующую приближенную формулу для расчета вероятности безотказной работы ОВ в течение срока службы ОК:

$$P = 1 - m_s \frac{t_a \sigma_a^n L}{t_p \sigma_p^n L_p}. \quad (9)$$

На сегодняшний день нет неразрушающих методов контроля прочности ОВ кабельных линий связи. Поэтому МСЭ-Т [4] вводит следующие критерии:

- максимальное кратковременное напряжение ОВ должно быть не более 60 % от оценки прочности, полученной по результатам испытаний при перематке ОВ под нагрузкой (proof test);
- для ОВ, которые прошли испытания с перематкой под нагрузкой, равной 0,69 ГПа (100 kpsi), максимальное долговременное напряжение не должно превышать 20 % от оценки прочности, полученной по результатам испытаний proof test;
- для ОВ, прошедших испытания с перематкой под нагрузкой, составляющей 0,69–1,38 ГПа (100–200 kpsi), максимальное долговременное напряжение волокна не должно превышать 17 % от оценки прочности, полученной по результатам испытаний;

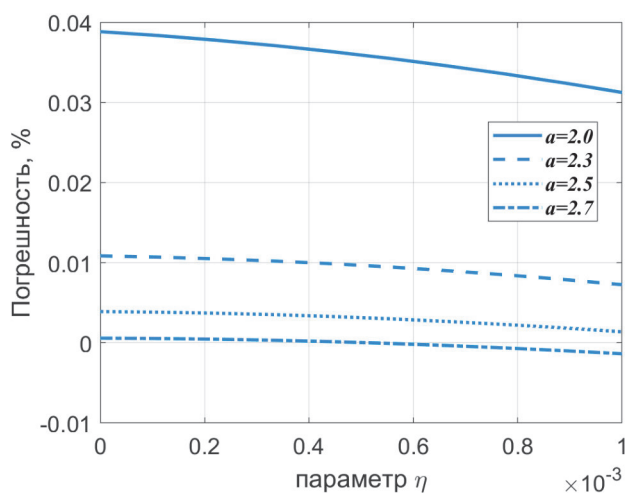


Рисунок 1. Оценки погрешностей формулы (11) при отношении $L/L_p = 1$

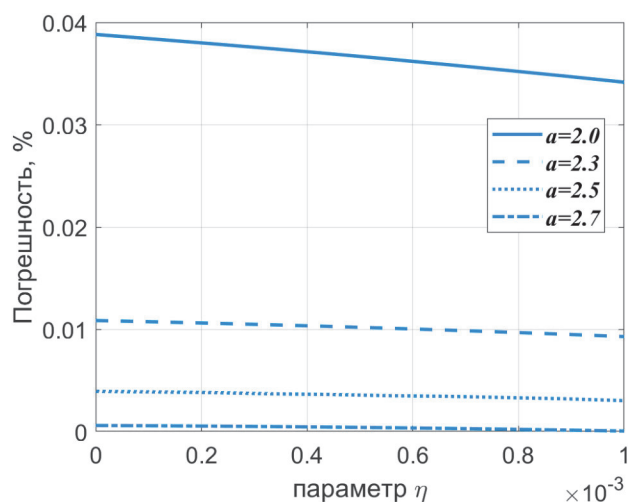


Рисунок 2. Оценки погрешностей формулы (11) при отношении $L/L_p = 10$

– для ОВ, которые испытываются при напряжениях, превышающих 1,38 ГПа (200 kpsi), рекомендаций на текущий момент времени нет.

Произведем оценку максимально возможного значения параметра X по формуле (6) с учетом этих критериев. Общеизвестна формула, применяемая для выполнения расчета изменения прочности ОВ под постоянной нагрузкой [6; 7; 11]:

$$S_{i+1}^{n-2} = S_i^{n-2} - \frac{t_a \sigma_a^n}{B}. \quad (10)$$

С учетом (10), (4) и (6) получим следующее выражение для X :

$$X = \frac{1}{(BS_0^{n-2}/t_a \sigma_a^n) - 1}. \quad (11)$$

При выполнении расчета будем полагать, что прочность ОВ после испытаний перематкой под нагрузкой равна нагрузке ОВ при перематке. Тогда, для ОВ, которое испытывалось при нагрузке 0,69 ГПа, параметр X при постоянном максимально допустимом долговременном напряжении ОВ, равном 20 % от 0,69 ГПа, через 25 лет эксплуатации составит $X = 0,096$. Через 30 лет эксплуатации: $X = 0,117$. То есть получаем, что в течение срока службы ОК, который декларируют производители, для ОВ, которое прошло proof test при нагрузке 0,69 ГПа, параметр X не превысит 0,12. Погрешность аппроксимации формулы (1) приближением (9) в этом случае при $L = L_p$ не превысит 0,082 %.

Следует отметить, что формулы (1)–(2), (5) и (9) предполагают, что нагрузки и время их воздействия на ОВ имеют постоянное и определенное значение.

Для случая, когда величина $(t_a \sigma_a^n)$ носит случайный характер, вероятность безотказной

работы в [15; 16] предложено рассчитывать следующим образом:

$$P_f = a \int_1^{\infty} P(yX) \frac{dy}{y^{a+1}}, \quad (12)$$

где a – это параметр распределения Парето.

Подставив (9) в формулу (12) и учитывая соотношение для X (6), выполним интегрирование. В результате получаем окончательное выражение для оценки срока службы ОВ в кабеле линий связи [12–14]:

$$P_f = 1 - \frac{am_s}{a-1} \frac{t_a \sigma_a^n L}{t_p \sigma_p^n L_p}. \quad (13)$$

Оценка погрешности

Выполним оценку погрешности, которую дает полученная приближенная формула (13). Для этого рассчитаем вероятность P_f в зависимости от параметра X по этой формуле и по исходным формулам (5)–(6), (12) для ряда значений отношения L/L_p и параметра a . За истинные примем результаты вычислений по исходным формулам (5)–(6), (12). Для нахождения интеграла (12) применим метод трапеции [18]. Также следует отметить, что погрешность интегрирования при выполнении расчетов оценивали по результатам, полученным с уменьшенным вдвое шагом и увеличенным вдвое пределом. То есть шаг интегрирования выбирали так, чтобы погрешности, возникающие при численном интегрировании, были более чем на порядок меньше оценок истинной погрешности формулы (13). Параметр m_s в расчетах принимали равным 0,12. Диапазон изменений параметра X и отношения L/L_p выбирали так, чтобы результат вычислений вероятности безотказной работы был не менее 0,999, то есть

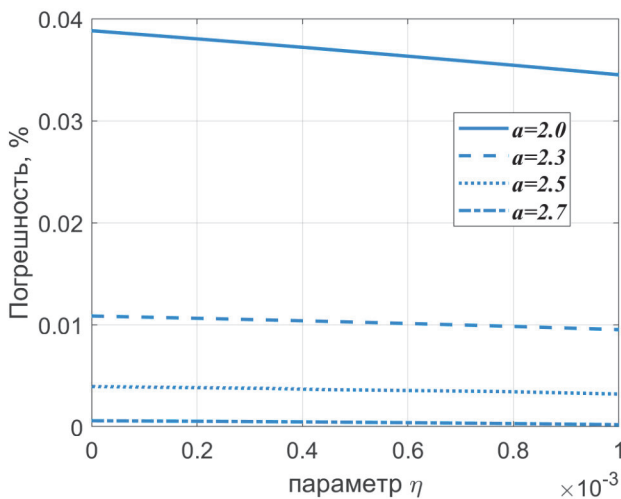


Рисунок 3. Оценки погрешностей формулы (11) при отношении $L/L_p = 10^5$

ненамного ниже нормативного значения. Для наглядности построения графиков введем также параметр η :

$$\eta = \frac{t_a \sigma_a^n L m_s}{t_p \sigma_p^n L_p} \quad (14)$$

На рисунках 1–3 представлены зависимости искомой погрешности предлагаемой формулы (13) от параметра η . Следует отметить, что расчеты выполнены относительно параметров a ; X и отношения L/L_p во всем диапазоне изменений параметров с точки зрения срока службы ОВ в ОК.

Заключение

Представленные в работе результаты вычислений показали, что погрешности предложенных достаточно простых приближенных формул для прогноза срока службы оптического кабеля на эксплуатируемой кабельной линии в представляющей интерес области ее надежности по сравнению с известным более строгим вариантом не превышают долей процента, что позволяет рекомендовать их для практического применения.

Литература

1. Оптические кабели связи российского производства: справочник / А.С. Воронцов [и др.]. М.: Эко-Трендз, 2003. 283 с.
2. Van Vickle P. Optical fiber cable design & reliability // IEEE 802.3 NG-EPON Meeting. Norfolk, VA, May 2014. 28 p. URL: https://iee802.org/3/bm/public/may14/vanvickle_01_0514_orptx.pdf
3. Цым А.Ю. Сроки службы оптических кабелей. Анализ. Риски // Кабели и провода. 2020. № 2 (382). С. 20–26.
4. ITU-T G-series Recommendations – Supplement 59. Series G: Transmission systems and media networks. Guidance on optical fibre and cable reliability, 2018. 21 p.
5. IEC/TR 62048(2014). Optical fibres. Reliability. Power law theory. SC 86A, 2014. 70 p.
6. Mitsunaga Y., Katsuyama Y., Ishida Y. Reliability assurance for long-length optical fibre based on proof testing // Electronics Letters. 1981. Vol. 17 (16). P. 567–568.
7. Failure prediction for long length optical fiber based on proof testing / Y. Mitsunaga [et al.] // Journal of Applied Physics. 1982. No. 53 (7). P. 4847–4853.
8. Evans A.G., Wiederhorn S.M. Proof testing of ceramic materials an analytical basis for failure prediction // International Journal of Fracture. 1974. Vol. 10 (3). P. 379–392.
9. Ritter J.E., Jakus K. Applicability of crack velocity data to lifetime predictions for fused silica fibers // Journal of the American Ceramic Society. 1977. Vol. 60 (3–4). P. 171.
10. Hanson T.A., Glaesemann G.S. Incorporation multi-region crack growth into mechanical reliability predictions for optical fiber // Materials Science. 1977. Vol. 32. P. 5305–5311.
11. Semjonov S., Glaesemann G. High-speed tensile testing of optical fibers – New understanding for reliability prediction // Micro- and Opto-Electronic Materials and Structures: Physics, Mechanics, Design, Reliability, Packaging. Boston: Springer, 2007. P. 595–625.
12. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1977. 228 с.
13. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука, 1979. 830 с.
14. Градштейн И., Рыжик И. Таблицы интегралов. М.: Физматгиз, 1962. 1100 с.
15. Бурдин В.А., Нижгородов А.О. Прогноз срока службы строительной длины оптического кабеля с учетом нагрузок на волокно в процессе его производства // Фотон-Экспресс. 2019. Т. 158 (6). С. 124–125.
16. Нижгородов А.О., Бурдин В.А. Модель прогноза срока службы оптического кабеля линии связи, введенной в эксплуатацию // Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2019: мат. XVII межд. науч.-практ. конф. 2019. Т. 2. С. 216–217.

Получено 25.12.2020

Нижгородов Антон Олегович, аспирант кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2372). E-mail: anton.socol2017@yandex.ru

SIMPLE APPROXIMATE FORMULA FOR FORECAST OF THE LIFETIME OF OPTICAL FIBERS OF A CABLE COMMUNICATION LINE

Nizhgorodov A.O.

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: anton.socol2017@yandex.ru*

The article is devoted to predicting optical cable communication lines' lifetime, determined by optical fibers' lifetime in a cable. Based on the well-known formulas for calculating the reliability indicators of optical fibers, taking into account the high requirements for the reliability of cable networks and the ranges of changes in the parameters of the destruction of silica optical fibers, the simple approximate formulas were obtained for calculating the lifetime of a cable of communication lines with a given probability. The formulas are obtained for a constant load on the cable fibers and their random nature. Estimates of the errors of the proposed formulas are given. Calculations show that the errors in the area of interest for the reliability of communication lines compared to the known more rigorous formulas do not exceed fractions of a percent, which allows us to recommend the obtained approximations for use.

Keywords: *optical fiber, optical cable, fiber-optic communication line, reliability, lifetime*

DOI: 10.18469/ikt.2021.19.1.03

Nizhgorodov Anton Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Competitor of Department of Communication Lines and Measurements. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2372). E-mail: anton.socol2017@yandex.ru

References

1. Vorontsov A.S. et al. *Russian-Made Optical Communication Cables: A Reference Book*. Moscow: Eko-Trendz, 2003, 283 p. (In Russ.)
2. Van Vickle P. Optical fiber cable design & reliability. IEEE 802.3 NG-EPON Meeting, Norfolk, VA, May 2014, 28 p. URL: https://ieee802.org/3/bm/public/may14/vanvickle_01_0514_optx.pdf
3. Tsym A.Yu. Service life of optical cables. Analyzes. Risks. *Kabeli i provoda*, 2020, no. 2 (382), pp. 20–26. (In Russ.)
4. ITU-T G-series Recommendations – Supplement 59. Series G: Transmission systems and media networks. Guidance on optical fibre and cable reliability, 2018, 21 p.
5. IEC/TR 62048(2014). Optical fibres. Reliability. Power law theory, SC 86A, 2014, 70 p.
6. Mitsunaga Y., Katsuyama Y., Ishida Y. Reliability assurance for long-length optical fibre based on proof testing. *Electronics Letters*, 1981, vol. 17 (16), pp. 567–568.
7. Mitsunaga Y. et al. Failure prediction for long length optical fiber based on proof testing. *Journal of Applied Physics*, 1982, no. 53 (7), pp. 4847–4853.
8. Evans A.G., Wiederhorn S.M. Proof testing of ceramic materials an analytical basis for failure prediction. *International Journal of Fracture*, 1974, vol. 10 (3), pp. 379–392.
9. Ritter J.E., Jakus K. Applicability of crack velocity data to lifetime predictions for fused silica fibers. *Journal of the American Ceramic Society*, 1977, vol. 60 (3–4), p. 171.
10. Hanson T.A., Glaesemann G.S. Incorporation multi-region crack growth into mechanical reliability predictions for optical fiber. *Materials Science*, 1977, vol. 32, pp. 5305–5311.

11. Semjonov S., Glaesemann G. High-speed tensile testing of optical fibers – New understanding for reliability prediction. *Micro- and Opto-Electronic Materials and Structures: Physics, Mechanics, Design, Reliability, Packaging*. Boston: Springer, 2007, pp. 595–625.
12. Dvajt G.B. *Integral Tables and Other Mathematical Formulas*. Moscow: Nauka, 1977, 228 p. (In Russ.)
13. Abramovits M., Stigan I. *Handbook of Special Functions*. Moscow: Nauka, 1979, 830 p. (In Russ.)
14. Gradshtejn I., Ryzhik I. *Tables of Integrals*. Moscow: Fizmatgiz, 1962, 1100 p. (In Russ.)
15. Burdin V.A., Nizhgorodov A.O. Forecast of the service life of the building length of an optical cable taking into account the loads on the fiber in the process of its production. *Foton-Ekspress*, 2019, vol. 158 (6), pp. 124–125. (In Russ.)
16. Nizhgorodov A.O., Burdin V.A. Model for predicting the service life of an optical cable of a communication line put into operation. *Opticheskie tehnologii v telekommunikatsijah OTT-2019: mat. XVII mezhd. nauch.-prakt. konf*, 2019, vol. 2, pp. 216–217. (In Russ.)

Received 25.12.2020

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 004.738.5

КОНТЕНТ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОНТРОЛЬНОГО БЛОКА

Василенко К.А.¹, Золкин А.Л.², Абрамов Н.В.³, Курганов Д.О.³

¹ *Владивостокский государственный институт экономики и сервиса, Владивосток, РФ,*

² *Волжский государственный университет водного транспорта (Самарский филиал), Самара, РФ,*

³ *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, РФ*

E-mail: k2857@mail.ru, alzolkin@list.ru, nikolay.abramov1990@mail.ru, kurganov_vl@mail.ru

Рассматривается процесс разработки программного контрольного блока контента (движка) как собственной системы его управления; указываются уязвимые места, набор необходимых функций, присущих указанному движку. Каждый новый разработанный программный движок может быть подвергнут несанкционированному доступу и с хищением содержимого, в связи с этим иногда стоит учитывать процент уникальности методики разработки и кода. Программный контрольный блок (движок) должен быть написан с применением своих уникальных переменных и названий файлов, что поможет обезопасить сайт от стороннего вмешательства и не потребует покупки более дорогого хостинга для своего размещения. Существует несколько этапов в процессе освоения технологии разработки собственного движка. На первом этапе необходимо освоить среду HTML/CSS, на втором – PHP, как среду разработки динамических сайтов, на третьем – разобраться с вопросами создания и управления сайтом через админ-панель, изучив язык MS SQL. На предпоследнем этапе желательно пополнить свои знания, изучив язык интерактивных технологий JavaScript, который в дальнейшем, несомненно, пригодится. На завершающем этапе уже без особого труда написать свою собственную систему управления контентом сайта (CMS) и создавать на ее основе свои сайты. В настоящее время CMS сайта является наиболее популярной системой или методом создания сайта, учитывая факт существования некоторых движков сайтов с дополнениями на бесплатной основе.

Ключевые слова: *компьютерная сеть, сайт, программирование, движок, файл, CMS, контент, интерфейс, HTML/CSS, система управления, хостинг, PHP, LAMP*

Введение

На сегодняшний день абсолютно любая компьютерная сеть содержит такой неотъемлемый компонент, как сайт. Сформированная база в сфере IT-технологий и программирования образует устойчивую тенденцию к уяснению процесса создания движка сайта. В первую очередь в указанном процессе может стать необходимым име-

ющаяся разработка конкретного шаблона сайта. В этой ситуации разработка начнется с изучения особенностей HTML/CSS. Данная необходимость возникает в процессе разработки собственного проекта с одновременным использованием бесплатных блоговых ресурсов, предоставляющих требуемые условия для отображения текстовых и графических сегментов web-страницы [1].