

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.395.74

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Е. А. Барбанова, А. В. Киктев, В. А. Круглов

Астраханский государственный технический университет

Исследованы различные технологии оптической коммутации. Рассмотрены принципы работы оптических переключателей, основанные на современных материалах. Приведены сравнительные характеристики оптических переключателей и выбраны наиболее перспективные с точки зрения быстродействия.

Ключевые слова: *оптические переключатели, жидкие кристаллы, пропускная способность, микроэлектромеханические системы.*

PRINCIPLES OF BUILDING HIGH-SPEED OPTICAL SWITCHING SYSTEMS

E. A. Barabanova, A. V. Kiktev, V. A. Kruglov

Astrakhan State Technical University

The necessity of a significant improvement of optical data transmission systems through the use of different optical switch technologies was justified. Comparative characteristics are given and the principles of technology work are shown. Revealed the most optimal technology at the moment.

Keywords: *optical switches, liquid crystals, throughput, microelectromechanical systems.*

Введение

По мере распространения интернета и современных средств связи по всему миру, развиваются и волоконно-оптические системы связи, являющиеся основой магистральных сетей. Спрос на интернет-услуги приводит к росту трафика во всем мире. Разработчики и пользователи программного обеспечения постоянно внедряют приложения, которые потребляют все большую пропускную способность для повышения скорости передачи информации. Поскольку увеличивающийся объем трафика создает все большую нагрузку на оптоволоконные сети, разработчики телекоммуникационного оборудования находятся в поиске инновационных способов передачи большего объема данных через существующее оптоволокно.

Как правило, существующая телекоммуникационная инфраструктура включает оптоволоконные кабели в магистральных сетях, оптоволоконные и медные кабели в городских или региональных сетях, и медные провода для сетей доступа и соединений «последней мили» к клиентам (хотя также используются и другие технологии, такие как кабельное, спутниковое и фиксированное беспроводное соединение). Сеть будущего – это полностью оптическая сеть, где связь будет осуществляться по оптическому кабелю и с помощью оптического оборудования от начала и до конца. Пропускная способность такой сети с тысячами каналов на одно волокно будет составлять сотни Тбит / с.

Следовательно, возникает актуальная задача – исследовать и проанализировать перспективные технологии оптической коммутации и принципы построения оптических устройств

коммутации для повышения пропускной способности волоконно-оптических систем связи.

1. Полностью оптическое переключение
Большинство сетевого оборудования сегодня всё ещё основано на электронных сигналах, а это означает, что оптические сигналы должны быть преобразованы в электрические, усилены, восстановлены или переключены, а затем преобразованы в оптические сигналы. Как правило, это называется преобразованием сигнала «оптический в электронно-оптический» (ОЭО) и является существенным «узким местом» при передаче. Огромное количество информации, распространяющейся по оптической сети, обязательно передается через различные узлы коммутации. Информация, поступающая в узел коммутации, будет направляться к его конечному пункту назначения по оптимальному пути, который может определяться такими факторами, как расстояние, стоимость и надежность конкретных маршрутов. В настоящее время используется способ переключения информации, который предусматривает обязательное преобразование оптического сигнала в электрический, а затем его преобразование обратно в оптический сигнал, для передачи по волоконно-оптической линии.

Основная предпосылка оптической коммутации состоит в том, что, заменяя существующие электронные сетевые коммутаторы на оптические, устраняется необходимость в преобразованиях ОЭО. Ясно, что преимущества возможности избежать стадии конверсии ОЭО являются существенными. Оптическое переключение должно быть дешевле, так как нет необходимости использовать высокоскоростную электронику. Устранение этой сложности также должно

привести к уменьшению физических размеров коммутаторов и их энергопотребления.

2. Введение в МЭМС

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) широко используются в разных отраслях промышленности, но их использование для телекоммуникационных приложений является относительно новым.

В области телекоммуникаций МЭМС стали синонимом массивов крошечных наклонных зеркал, используемых для оптической коммутационной матрицы, хотя эта же технология используется и для создания широкого спектра других устройств.

МЭМС состоят из зеркал небольшого диаметра, которые расположены на специальных стержнях для того, чтобы их можно было перемещать в трех измерениях. Несколько сотен таких зеркал могут быть размещены вместе на зеркальных решетках размером не более нескольких сантиметров. Свет от входного волокна направлен на зеркало, которое направлено к другому зеркалу на лицевой панели. В свою очередь это зеркало отражает свет вниз к желаемому выходному оптическому волокну.

Поскольку технология МЭМС предусматривает наличие большого количества зеркал на одном кристалле, стоимость переключающего элемента является относительно низкой. Однако, поскольку он включает движущиеся части, скорость переключения МЭМС коммутационных элементов довольно низкая – для этого требуются миллисекунды. Такая скорость недостаточна для приложений с высокоскоростной оптической пакетной коммутацией или оптической коммутацией пакетов [4].

Схемы МЭМС могут являться однокристалльными, т.е. расположены в одной плоскости. Другими словами, они являются двумерными (2D МЭМС). В упрощенном подходе также возможно наложить несколько массивов 2D МЭМС друг на друга, чтобы создать массив 3D МЭМС.

Существенным недостатком 3D МЭМС является тот факт, что тысячи зеркал требуют сложного программного обеспечения для координации своих операций.

Принципы работы переключателей МЭМС малого размера показаны на рисунке 1.

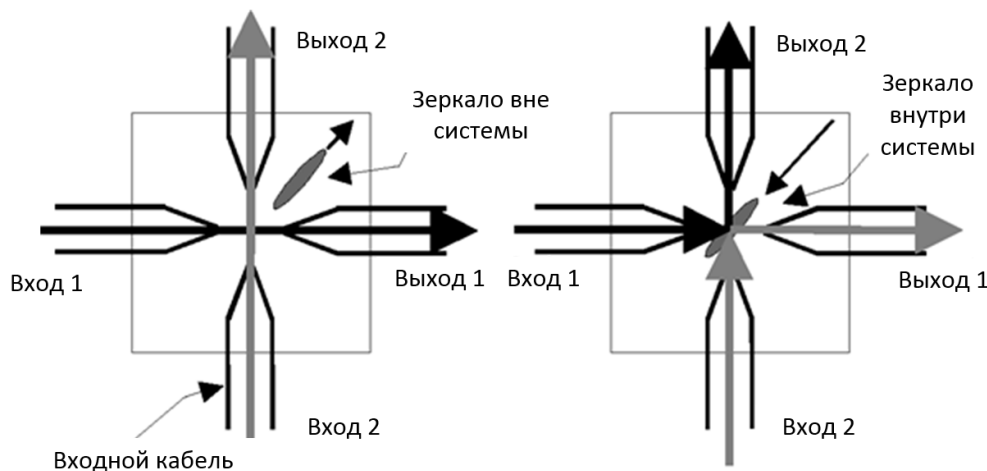


Рис. 1. Переключатель МЭМС

В этом случае зеркало находится под углом в 45° , обеспечивая процесс переключения. МЭМС-переключатели обладают хорошей масштабируемостью. Двумерные массивы размером 32×32 уже доступны и могут использоваться в качестве базовых коммутационных блоков в одноэтапной архитектуре для масштабирования до 256 портов.

2.1. Пузырьковые переключатели

Эта технология основана на том же принципе, на котором работают струйные принтеры. Переключатель состоит из двух слоев: нижнего слоя из кварца, через который проходят оптические сигналы, и верхнего слоя из кремния, содержащего струйную технологию. В нижнем

слое две серии волноводов пересекаются друг с другом под углом около 120° . В каждой точке пересечения двух направляющих крошечная полость заполнена жидкостью, которая имеет одинаковый показатель преломления кремния, чтобы обеспечить распространение сигналов в нормальных условиях. Таким образом, луч света проходит прямо через направляющую, если направляющая не прервана пузырьком, помещенным в одну из полостей в точках пересечения. В этом случае свет отклоняется в новую направляющую, пересекающую путь предыдущей. Пузыри генерируются с помощью крошечных электродов, помещенных в верхний слой кремния, которые нагревают жидкость до ее газифи-

кации. Эта технология обеспечивает хорошую масштабируемость, но низкую скорость переключения, которая составляет порядка 10 мс.

2.2. Термооптические переключатели

Работа этих устройств основана на термооптическом эффекте. Он заключается в изменении показателя преломления диэлектрического материала при изменении температуры самого материала. Существуют две категории термооптических переключателей: интерферометрические и цифровые оптические переключатели. Первым требуется конкретное значение напряжения для достижения переключения сигналов, вторые характеризуются пороговым значением напряжения и ступенчатым откликом.

Интерферометрические переключатели обычно основаны на интерферометрах Маха-Цендера. Эти устройства состоят из первого разветвителя на 3 дБ, который разделяет сигнал на два луча. Лучи затем проходят через два разных плеча одинаковой длины. А также устройство состоит из второго разветвителя на 3 дБ, который объединяет и, наконец, разделяет снова сигнал. Нагрев одного плеча интерферометра вызывает изменение его показателя

преломления. Следовательно, происходит изменение оптического пути этого плеча. Таким образом, можно варьировать разность фаз между световыми лучами, нагревая одно плечо интерферометра и выбирая таким образом нужный выход. Цифровые оптические переключатели представляют собой встроенные оптические устройства, как правило, изготовленные из кремния. Переключатель состоит из двух взаимодействующих волноводных плеч (рис. 2), через который распространяется свет. Разность фаз между лучами на двух плечах определяет номер выходного порта. Нагревание одного из плеч изменяет его показатель преломления, и свет передается по одному пути, а не по другому. Электрод через управляющую электронику обеспечивает нагрев. Недостатком такого рода переключателей является низкая масштабируемость [8].

Также недостатком такого рода переключателей является относительно высокое энергопотребление, которое обусловлено необходимостью нагрева волноводов, для достижения переключения сигналов.

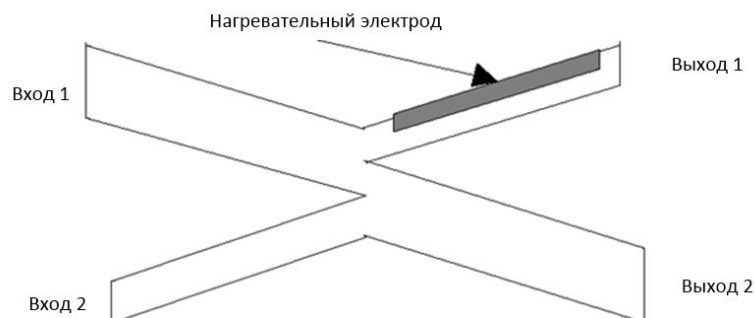


Рис. 2. Цифровой оптический переключатель 2 × 2

2.3. Переключатели на жидких кристаллах с использованием полимеров

Это решение используется для создания переключателей небольшого размера. Выключатель 1 × 2 встраивается, заполняя активную ячейку смесью жидких кристаллов и мономер. Эта смесь затем подвергается процессу полимеризации, который дает стабильную структуру, характеризующуюся чередованием слоев полимера и жидкокристаллических слоев микрокапель [3]. Показатель преломления полимерных слоев обычно отличается от показателя преломления жидкокристаллических слоев. При подаче подходящего управляющего напряжения ориентация оптической оси жидкокристаллических микрокапель изменяется. Это изменение должно быть таким, чтобы согласовать показатель преломления полимерных слоев с одним из жидкокристалличе-

ских слоев микрокапель. В этом случае ячейка становится прозрачной для светового луча и происходит переключение сигнала со Входа на нужный Выход 1 (рис. 4). Напротив, если не подается напряжение возбуждения, разница показателей преломления заставляет активную ячейку работать как брэгговская решетка, отклоняя сигнал для передачи сигнала с Входа -> Выход 2 (следующий рисунок) [6].

2.4. Электроголографические выключатели

Электроголография – это метод отклонения луча, основанный на управлении процессом восстановления объемных голограмм с помощью электрического поля. Голограммы хранятся в виде пространственного распределения заряда в кристаллах. Приложение управляющего напряжения используется для активации предварительно сохраненных голограмм с целью надле-

жащего отклонения световых лучей. В обоих состояниях переключателя выходные лучи являются дифрагированными лучами. Как показано на рисунке 4, если не приложено напряжение, кристалл прозрачен для оптических сигналов, которые проходят прямо, в то время как, если приложено подходящее напряжение возбуждения, оптические сигналы, пересекающие кри-

сталл, отклоняются. Поскольку можно хранить несколько голограмм в одном и том же кристалле, эти устройства можно использовать для выбора одной длины волны или группы длин волны из сигнала WDM. Эта технология позволяет создавать масштабируемые коммутационные устройства.

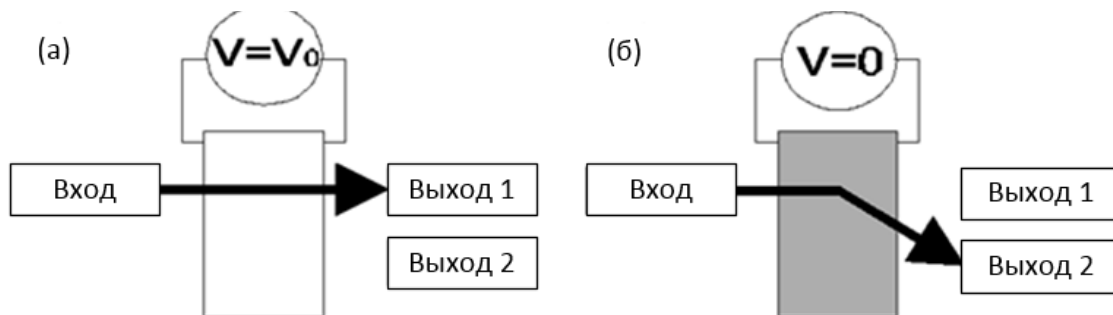


Рис. 3. 1 × 2 переключатель на жидких кристаллах

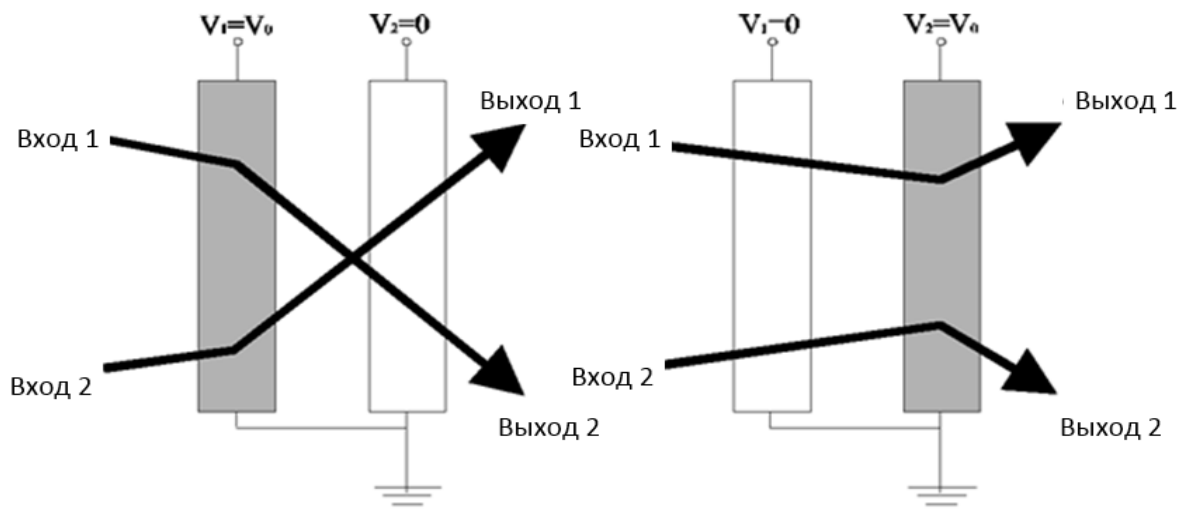


Рис. 4. Схема электроголографического переключателя 2 × 2

2.5. Электрооптические переключатели

В основе действия электрооптических модуляторов и переключателей лежит линейный электрооптический эффект Поккельса, при котором под действием приложенного к кристаллу электрического поля происходит изменение коэффициента преломления света. Наилучшими электрооптическими характеристиками, реализуемыми в промышленности, обладают кристаллы ниобата лития LiNbO_3 и титанита-цирконата свинца-лантана $(\text{Pb,La})(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PLZT) [1].

В качестве примера оптического переключателя (рис. 5) схематически изображен волноводный переключатель на основе кристалла LiNbO_3 . Активный элемент включает в себя два канальных волновода, которые в области связи расположены друг от друга на расстоянии нескольких длин волн оптического сигнала, а также управляющие этой связью электроды.

Волноводы переключателя выполняются симметричными, они должны быть максимально близки по своим свойствам. При отсутствии напряжения на электродах оба волновода имеют одну и ту же постоянную распространения и световая волна, введенная в один волновод, переходит в другой. Если к электродам прикладывается напряжение, то в результате эффекта Поккельса происходит изменение показателя преломления LiNbO_3 , меняется постоянная распространения волноводов, что вызывает понижение коэффициента связи и свет выходит из противоположного конца подводящего волновода [5].

Требуемая для такого переключения величина управляющего напряжения, в общем случае, зависит от электрооптического коэффициента LiNbO_3 с образованными в нем волноводами, электродов, создающих электрическое поле поперечно направлению распространения света, и длины связи волноводов в зоне воздействия электрического поля.

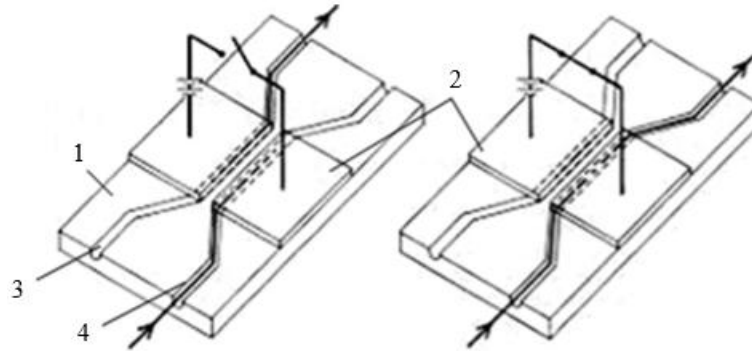


Рис. 5. Активный элемент волноводного электрооптического переключателя на основе кристалла LiNbO₃:
1 – монокристаллический LiNbO₃, 2 – электроды, 3 и 4 – волноводные каналы

3. Сравнение оптических переключателей по быстродействию

В таблице 1 приведены данные о производительности рассмотренных оптических переключателей, а также других перспективных оптических коммутаторов, таких как: механические оптические коммутаторы, термооптические коммутаторы, оптоэлектронные коммутаторы на основе полупроводниковых оптических усилителей, акустооптические коммутаторы, интегральные активно-волноводные коммутаторы, коммутаторы на фотонных кристаллах [9–11], коммутаторы на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах, коммутаторы на интегральных схемах (ИС) с набором матриц оптоэлектронных вентилях, связанных при взаимодействии оптическим лучом [10].

Таблица 1

Таблица характеристик оптических переключателей

Технологии построения	Время переключения
механические оптические коммутаторы	10–500 мс
электрооптические коммутаторы	10–100 пс
термооптические коммутаторы	2 мс
оптоэлектронные коммутаторы на основе полупроводниковых оптических усилителей	1 нс
акустооптические коммутаторы	500 нс–10 мкс
интегральные активно-волноводные коммутаторы	1 нс

коммутаторы на фотонных кристаллах	1 нс–10 пс
коммутаторы на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах	140 мс–300 мс
коммутаторы на интегральных схемах (ИС) с набором матриц оптоэлектронных вентилях, связанных при взаимодействии оптическим лучом	1 нс

Из данных таблицы видно, что наибольшим быстродействием обладают электрооптические коммутаторы.

Заключение

В работе рассмотрены такие технологии оптической коммутации, как микроэлектромеханические системы, пузырьковые переключатели, термооптические переключатели, переключатели на жидких кристаллах, электрографические выключатели, электрооптические переключатели. В результате анализа технологий оптической коммутации можно сделать вывод, что по значению быстродействия выигрывают электро-оптические коммутаторы. Следовательно, они могут быть использованы для построения перспективных оптических коммутационных систем.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-37-00059 мол_а.

Список литературы

1. Custom high-speed lithium niobate electro-optic switches. URL: www.eospace.com/pdf/EOSPACE-custom-opticalswitch-2009.pdf.
2. The fastest and most power-efficient optical switches. URL: www.epiphotonics.com.
3. Runde D., Breuer S., Kip D. Mode-selective coupler for wavelength multiplexing using LiNbO₃:Ti optical waveguides // Cent. Eur. J. Phys. 2008. Vol. 6, № 3. P. 588–592.
4. Нгуен Ч. Т., Барабанова Е. А. Анализ технологий построения элементов коммутации для оптических систем связи : мат-лы 62-й Междунар науч. конф. АГТУ. Астрахань, 2018. С. 160.
5. Recent progress of LiNbO₃ based electrooptic modulators with non return to zero (NRZ) coding in high speed photonic networks / Abd El-Naser A. Mohamed, Mohamed A. Metawe'e Ahmed, Nabih Zaki Rashed, Amira M. Bendary // Intern. J. Inform. Commun. Technol. Res. 2011. Vol. 1, № 2. P. 55–63.
6. Hao-Bing Liu, Chollet F. Moving polymer waveguides and latching actuator for 2 × 2 MEMS optical switch // J. Microelectromech. Syst. 2009. Vol. 18, № 3. P. 715–724.
7. Polarization beam combiner // Splitter. URL: www.optlinkcorp.com/pdf/CS/COM_2x2.pdf.
8. Physical properties and behaviour of highly bi-substituted magneto-optic garnets for applications in integrated optics and photonics / Nur-E-Alam M., Vasiliev M., Alameh K., Kotov V. // Adv. Opt. Technol. 2011. № 971267. 7 p.
9. Барабанова Е. А., Нгуен Ч. Т. Фотонная коммутационная ячейка на основе метаматериала // Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения : мат-лы Второй Междунар. молодеж. конф. 2018. С. 6.

10. Барабанова Е. А., Выговтов К. А., Мальцева Н. С. Высокоскоростные коммутационные системы нового поколения для фотонных суперкомпьютеров // Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения мат-лы Второй Междунар. молодеж. конф. 2018. С. 1.

11. Барабанова Е. А. Оптическая двухкаскадная коммутационная система для обработки больших объемов данных // Научный вестник НГТУ. 2018. № 1 (70). С. 7–18.

© И. Ю. Петрова, С. В. Горянин

Ссылка для цитирования:

Барабанова Е. А., Киктев А. В., Круглов В. А. Принципы построения быстродействующих оптических коммутационных систем // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 3 (25). С. 36–41.

УДК 004: 007.51

СПОСОБ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ВЕБ-КОНТЕНТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ РЕПУТАЦИЙ

В. А. Гостюнина, Н. В. Давидюк, Ю. А. Гостюнин

Астраханский государственный технический университет

На сегодняшний день задача возрастной классификации информационной продукции является актуальной и требует решения. После вступления ФЗ №436 в силу Роскомнадзором была подготовлена достаточно подробная методика, с помощью которой эксперты должны проводить экспертизу информационной продукции. Однако наличие проработанной методики не привело к увеличению контента с установленным возрастным знаком информационной продукции. В статье описываются ключевые свойства моделей систем репутации, которые могут быть использованы для решения задач классификации. Приводится описание способа экспертной оценки с использованием сети репутации для решения задачи возрастной классификации веб-контента.

Ключевые слова: экспертная оценка, веб-контент, система репутаций, модель, ФЗ №436, доверие к эксперту.

METHOD OF EXPERT EVALUATION OF WEB CONTENT BASED ON THE REPUTATION SYSTEM MODEL

V. A. Gostyunina, N. V. Davidiyuk, Y. A. Gostyunin

Astrakhan State Technical University

Today the task of the age classification of information products is relevant and needs to be addressed. After the Federal Law No. 436 came into force, Roskomnadzor prepared a sufficiently detailed methodology, with the help of which experts should conduct an examination of information products. However, the presence of a developed methodology did not lead to an increase in content with an established age mark of information products. The article describes the key properties of well-known models of reputation systems that can be used to solve classification problems. The description of the expert assessment method using the reputation network for solving the problem of the age classification of web content is given.

Key words: expert assessment, web content, reputation system, model, Federal Law No. 436, expert credibility.

Введение

Быстрое развитие и распространение интернета привлекает всё больше пользователей. Сеть становится быстрее и доступнее, сейчас ей пользуются люди почти всех возрастов. Особенно важно, как интернетом пользуются дети, так как информации в нем очень много и не вся она будет полезна для детей, а часть ее и вовсе может навредить. Бесконтрольное пребывание ребенка в глобальной паутине очень опасно для его психического здоровья.

Для контроля над детьми создано множество программного обеспечения, позволяющего ограничить и оградить ребенка от нежелательной информации, но все средства родительского контроля фильтруют информацию по ее категориям (нецензурная лексика, насилие и т.д.) [1]. Нет ни одного программного обеспечения реализующего фильтрацию по возрасту. Поэтому задача классификации веб-контента по нескольким признакам, которые осуществляют разграничение доступа по заданному набору критериев, является актуальной для интернет-пользователей различных категорий.

Согласно ФЗ № 436 сайт в информационно-телекоммуникационной сети Интернет, не заре-

гистрированный как средство массовой информации, может содержать знак информационной продукции или текстовое предупреждение об ограничении ее распространения среди детей, соответствующие одной из категорий информационной продукции (0–6 лет, 6–12 лет, 12–16 лет, 16–18 лет, запрещенная для детей) [1]. После вступления ФЗ №436 в силу Роскомнадзором была подготовлена достаточно подробная методика, с помощью которой эксперты должны проводить экспертизу информационной продукции. Однако наличие проработанной методики не привело к увеличению контента с установленным возрастным знаком информационной продукции. Так как Федеральный закон несет рекомендательный характер, то владельцы ресурсов не стремятся к производству оценки их сайтов. Производить отбор компетентных экспертов также является сложной задачей. Поэтому в сети Интернет нет четкого ранжирования веб-контента по возрасту [3–4].

В существующих программных продуктах чаще всего используются базы данных со списком классифицированных источников веб-контента. Альтернативным подходом к решению задачи классификации источников веб-контента являет-