

УДК 004.78:004.6

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СЕТИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

¹Земцов А.Н., ²Чан Зунг Хань

¹ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
Волгоград, e-mail: ecmsys@yandex.ru;

²Национальный экономический университет, Ханой, e-mail: ecmsys@yandex.ru

Рассматриваются вопросы проектирования и модернизации сети хранения данных на основе семейства протоколов Fibre Channel. Особенности стандартов Fibre Channel FC-PI-5 и других позволили сетевым вендорам организовать производство оптических модулей на основе большого количества промышленных стандартов, вследствие чего директорам подразделений ИТ приходится учитывать множество особенностей стандартов Fibre Channel при проектировании и сети хранения данных. Оборудование сети хранения данных и модули расширения должны обеспечивать требуемую пропускную способность при обмене данными. Представлена методика многокритериального выбора оптических модулей Fibre Channel на основе метода анализа иерархий для их монтажа в сетевое оборудование сети хранения данных. Выбор подходящего стандарта должен осуществляться для каждого конкретного случая на основе количественных оценок: с учетом ценовых факторов и проектных требований. Предлагаемая методика многокритериального выбора оптических модулей Fibre Channel позволяет не только осуществлять выбор модулей, но и согласовывать экспертные оценки разрабатываемого проекта с учетом их компетенций. Проведенный анализ полученных результатов показывает целесообразность объективизации выбора и принятия решения в такой сложной и концептуальной проблеме, как выбор оборудования сети хранения данных.

Ключевые слова: центр обработки данных (ЦОД), дата-центр, сеть хранения данных, IT-инфраструктура, энергоэффективность, менеджмент информационных технологий, метод анализа иерархий

MULTI-CRITERIA SELECTION OF STORAGE AREA NETWORK EQUIPMENT

¹Zemtsov A.N., ²Tran Dung Khanh

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: ecmsys@yandex.ru;

²National Economics University, Hanoi, e-mail: ecmsys@yandex.ru

The issues of designing and upgrading a storage network based on the Fiber Channel protocol family are considered. Features of Fiber Channel FC-PI-5 standards, and others, allowed network vendors to organize the production of optical modules based on a large number of industry standards, as a result, CIO have to take into account many features of Fiber Channel standards in the design and storage network. The technique of multi-criteria selection of optical Fiber Channel modules based on the hierarchy analysis method for their installation in network equipment of a data storage network is presented. The selection of a suitable standard should be made for each specific case on the basis of quantitative assessments: taking into account price factors and design requirements. The proposed method of multicriteria selection of optical Fiber Channel modules allows not only to select modules, but also to coordinate expert assessments of the developed project taking into account their competencies. The analysis of the results shows the feasibility of objectification of the choice and decision making in such a complex and conceptual problem as the choice of equipment for the data storage network.

Keywords: data processing center, data center, storage area network, IT infrastructure, information technology management, data center power consumption, Fibre Channel

В настоящее время сохраняется устойчивая тенденция интеграции мобильной связи, средств массовой информации, социальных сетей и концепции межсетевое взаимодействия с современным обществом. Развитие информационной инфраструктуры, использование больших данных уже привели к конвергенции широкого спектра цифровых услуг в глобальную киберфизическую систему. Цифровая экономика является одним из важнейших факторов экономического роста, способным обеспечить прирост основных макроэкономических показателей. Согласно утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203 Стратегии развития информационного общества Российской

Федерации на 2017–2030 гг., одним из ключевых драйверов развития цифровой экономики, основанной на использовании цифровых информационно-коммуникационных технологий, является низкочувствительная и высокопродуктивная информационная инфраструктура на базе отечественных разработок, основанная на концепции передачи, обработки и хранения данных.

С учетом того, что сегодня виртуализируется 92% серверных рабочих нагрузок, оборудование сети хранения данных и модули расширения должны обеспечивать требуемую пропускную способность при обмене данными [1].

Семейство протоколов Fibre Channel, разработкой которого занимается Техниче-

ский комитет T11 в составе Международного комитета по стандартам в сфере ИТ (INCITS), продолжает занимать доминирующие позиции при организации виртуализации сетевых серверов в хранилище данных. Особенности стандартов Fibre Channel FC-PI-5 и других позволили сетевым вендорам организовать производство оптических модулей на основе множества промышленных стандартов [2], например Small Form-factor Pluggable (INF-8074i), Enhanced Small Form-factor Pluggable (SFF-8431, SFF-8083), Quad Small Form-factor Pluggable (SFF-8635). Помимо форм-фактора необходимо учитывать множество других особенностей стандартов Fibre Channel, таких как тип оптоволоконного кабеля, тип передатчика и приемника, показатели энергоэффективности и другие [3]. Как следствие, выбор оптического модуля Fibre Channel не является тривиальной задачей.

Цель исследования заключается в разработке методики многокритериального выбора оптических модулей Fibre Channel на основе метода анализа иерархий для их монтажа в сетевое оборудование сети хранения данных.

Материалы и методы исследования

В табл. 1 показаны анализируемые варианты A1–A6 оптических модулей Fibre Channel.

Таблица 1
Варианты оптических модулей Fibre Channel

Условное обозначение	Стандарт
A1	1GFC
A2	2GFC
A3	4GFC
A4	8GFC
A5	10GFC
A6	16GFC

Выполним сравнение указанных стандартов оптических модулей по множеству технических характеристик с целью выявить основные различия между ними и определить, в каких ситуациях предпочтительно использовать тот или иной вариант. Для проведения процедуры сравнения будем использовать метод анализа иерархий [4]. Метод анализа иерархий используется для решения ряда задач, таких как нефтегазовое производство, разработка программного обеспечения [5, 6], инвестиционные проекты [7, 8], но исследования, связанные с проектированием инфокоммуникационных сетей, отсутствуют. В табл. 2 показаны выделенные критерии C1–C8, по которым произведем оценивание представленных альтернатив.

Таблица 2
Критерии для оценки альтернатив

Условное обозначение	Критерий
C1	Пропускная способность (Мбит/с)
C2	Линейная скорость
C3	Кодировка
C4	Максимальное расстояние (OM1) (м)
C5	Максимальное расстояние (OM2) (м)
C6	Максимальное расстояние (OM3) (м)
C7	Максимальное расстояние (OM4) (м)
C8	Совместимость с предыдущими версиями

В табл. 3 показано разделение выбранных критериев на группы G1, G2, и G3.

Таблица 3
Разделение выбранных критериев на группы

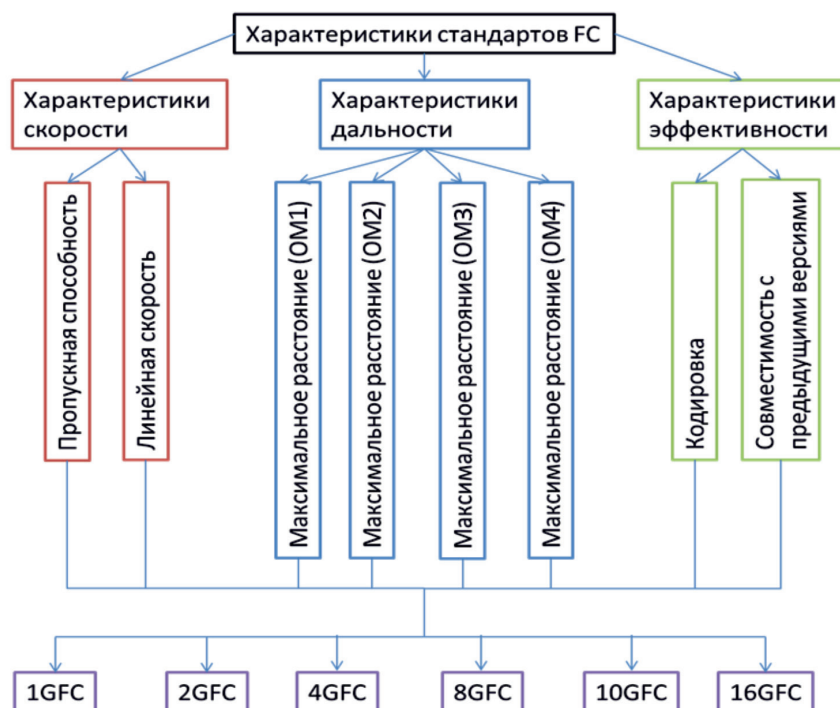
Условное обозначение	Группа критериев	Критерии
G1	Характеристики скорости	C1
		C2
G2	Характеристики дальности	C4
		C5
		C6
		C7
G3	Характеристики эффективности	C3
		C8

Иерархия оценивания оптических модулей Fibre Channel показана на рисунке.

Выставим оценки каждой группе критериев по шкале от 1 до 9. Рассмотрим следующие типовые ситуации при проектировании сети.

В первом случае организации требуется относительно небольшая сеть с большой пропускной способностью, так как планируется высокоинтенсивный обмен данными на сравнительно небольшие расстояния. Описанная ситуация является типовой для, например, вычислительных кластеров НРС (High-performance computing cluster), представляющих собой массив вычислительных узлов или нодов (серверов), объединенных коммуникационной сетью. В этом случае оценки распределяются следующим образом: G1 – 9, G2 – 3, G3 – 7.

Во втором случае, напротив, организации требуется протяженная коммуникационная сеть, но высокоинтенсивный обмен данными не планируется. В этом случае оценки распределяются следующим образом: G1 – 2, G2 – 8, G3 – 7.



Иерархия оценивания оптических модулей Fibre Channel

Таблица 4

Расчет весов групп критериев для первого случая

	G1	G2	G3	WF(1)
G1	1	$9/3 = 3$	$9/7 = 1.29$	0.474
G2	$3/9 = 0.33$	1	$3/7 = 0.43$	0.158
G3	$7/9 = 0.78$	$7/3 = 2.33$	1	0.368

Таблица 5

Расчет весов групп критериев для второго случая

	G1	G2	G3	WF(2)
G1	1	$2/8 = 0.25$	$2/7 = 0.29$	0.118
G2	$8/2 = 4$	1	$8/7 = 1.14$	0.470
G3	$7/2 = 3.5$	$7/8 = 0.88$	1	0.412

Таблица 6

Распределение весов критериев внутри групп

G1		G2				G3	
C1	C2	C4	C5	C6	C7	C3	C8
0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5

Рассчитаем вес каждой группы критериев для обоих представленных вариантов начальных условий. В первом случае веса групп распределяются, как показано в табл. 4.

Во втором случае веса групп распределяются, как показано в табл. 5.

Примем веса каждого критерия внутри соответствующей группы одинаковыми. Действительно, данные параметры взаи-

мосвязаны, в связи с чем возникает сложность выделения какого-либо, при одновременном понижении значимости другого. Получим множество весов критериев, показанное в табл. 6.

Оценим каждый из представленных вариантов по всем выбранным критериям, в результате чего получим абсолютные величины, как показано в табл. 7.

Критерии C1, C2, C4–C7 являются количественными с четко заданными числовыми значениями. При оценке критерия C7 числом «0» обозначено отсутствие в данной модификации соответствующего типа кабеля. Зададим для качественных критериев C3 и C8 численные оценки.

Совместимость с предыдущими, а также последующими версиями стандартов является важным показателем в тех случаях, когда сеть комплексная, состоящая из множества оборудования, компонентов и кабелей с различными характеристиками, например, длины и пропускной способности.

Несовместимость, или неполная совместимость, в рассматриваемых вариантах обусловлена несоответствием вариантов кодирования данных. Выставим в случае полной совместимости оценку 9, в случае только обратной совместимости – 7, а при полном ее отсутствии – 3, так как этот вариант нежелателен и неудобен для модернизации сети организации. Пересчитаем абсолютные величины, как показано в табл. 8.

Составим матрицы парных сравнений для каждого критерия и получим вес альтернативы внутри каждого критерия, как показано в табл. 9–16.

Таблица 7

Таблица абсолютных величин

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	200	1.0625	8b/10b	300	500	860	0	полная
A2	400	2.125	8b/10b	150	300	500	0	полная
A3	800	4.25	8b/10b	50	150	380	400	полная
A4	1600	8.5	8b/10b	21	50	150	190	полная
A5	2400	10.53	64b/66b	33	82	300	0	нет
A6	3200	14.025	64b/66b	15	35	100	125	обратная

Таблица 8

Таблица абсолютных величин

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	200	1.0625	5	300	500	860	0	9
A2	400	2.125	5	150	300	500	0	9
A3	800	4.25	5	50	150	380	400	9
A4	1600	8.5	5	21	50	150	190	9
A5	2400	10.53	8	33	82	300	0	3
A6	3200	14.025	8	15	35	100	125	7

Таблица 9

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию C1

C1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC1
A1	1	0.5	0.25	0.125	0.083	0.063	0.023
A2	2	1	0.5	0.25	0.167	0.125	0.047
A3	4	2	1	0.5	0.333	0.25	0.093
A4	8	4	2	1	0.667	0.5	0.186
A5	12	6	3	1.5	1	0.75	0.279
A6	16	8	4	2	1.333	1	0.372

Таблица 10

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию C2

C2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC2
A1	1	0.5	0.25	0.125	0.101	0.076	0.026
A2	2	1	0.5	0.25	0.202	0.152	0.052
A3	4	2	1	0.5	0.404	0.303	0.105
A4	8	4	2	1	0.807	0.606	0.210
A5	9.911	4.955	2.478	1.239	1	0.751	0.260
A6	13.2	6.6	3.3	1.65	1.332	1	0.347

Таблица 11

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию С3

C3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC3
A1	1	1	1	1	0.625	0.625	0.139
A2	1	1	1	1	0.625	0.625	0.139
A3	1	1	1	1	0.625	0.625	0.139
A4	1	1	1	1	0.625	0.625	0.139
A5	1.6	1.6	1.6	1.6	1	1	0.222
A6	1.6	1.6	1.6	1.6	1	1	0.222

Таблица 12

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию С4

C4	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC4
A1	1	2	6	14.286	9.091	20	0.527
A2	0.5	1	3	7.143	4.545	10	0.264
A3	0.167	0.333	1	2.381	1.515	3.333	0.088
A4	0.07	0.14	0.42	1	0.636	1.4	0.037
A5	0.11	0.22	0.66	1.571	1	2.2	0.058
A6	0.05	0.1	0.3	0.714	0.455	1	0.026

Таблица 13

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию С5

C5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC5
A1	1	1.667	3.333	10	6.098	14.286	0.448
A2	0.6	1	2	6	3.659	8.571	0.269
A3	0.3	0.5	1	3	1.829	4.286	0.134
A4	0.1	0.167	0.333	1	0.609	1.429	0.045
A5	0.164	0.273	0.547	1.64	1	2.343	0.073
A6	0.07	0.117	0.233	0.7	0.427	1	0.031

Таблица 14

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию С6

C6	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC6
A1	1	1.72	2.263	5.733	2.867	8.6	0.376
A2	0.581	1	1.316	3.333	1.667	5	0.218
A3	0.442	0.76	1	2.533	1.267	3.8	0.165
A4	0.174	0.3	0.395	1	0.5	1.5	0.066
A5	0.349	0.6	0.789	2	1	3	0.131
A6	0.116	0.2	0.263	0.667	0.333	1	0.044

Таблица 15

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию С7

C7	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC7
A1	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	1	2.105	0	3.2	0.559
A4	0	0	0.475	1	0	1.52	0.266
A5	0	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0.313	0.658	0	1	0.175

Таблица 16

Матрица парных сравнений альтернатив по отношению к критерию C8

C8	A1	A2	A3	A4	A5	A6	WC8
A1	1	1	1	1	3	1.286	0.196
A2	1	1	1	1	3	1.286	0.196
A3	1	1	1	1	3	1.286	0.196
A4	1	1	1	1	3	1.286	0.196
A5	0.333	0.333	0.333	0.333	1	0.429	0.064
A6	0.778	0.778	0.778	0.778	2.333	1	0.152

Таблица 17

Матрица оценок альтернатив для всех критериев

A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	0.023	0.026	0.139	0.527	0.448	0.376	0	0.196
A2	0.047	0.052	0.139	0.264	0.269	0.218	0	0.196
A3	0.093	0.105	0.139	0.088	0.134	0.165	0.559	0.196
A4	0.186	0.210	0.139	0.037	0.045	0.066	0.266	0.196
A5	0.279	0.260	0.222	0.058	0.073	0.131	0	0.064
A6	0.372	0.347	0.222	0.026	0.031	0.044	0.175	0.152

Из весов альтернатив составим матрицу оценок альтернатив для всех критериев, как показано в табл. 17.

По вычисленным оценкам рассчитаем векторы весов для обоих указанных вариантов:

1) $W_{tmp(1)} = (0.474*0.5; 0.474*0.5; 0.368*0.5; 0.158*0.25; 0.158*0.25; 0.158*0.25; 0.158*0.25; 0.368*0.5)^T = (0.237; 0.237; 0.184; 0.039; 0.039; 0.039; 0.039; 0.184)^T$;

2) $W_{tmp(2)} = (0.118*0.5; 0.118*0.5; 0.412*0.5; 0.470*0.25; 0.470*0.25; 0.470*0.25; 0.470*0.25; 0.412*0.5)^T = (0.059; 0.059; 0.206; 0.118; 0.118; 0.118; 0.118; 0.206)^T$.

Итоговые векторы приоритетов для обоих вариантов начальных условий запишутся в виде:

$W1 = [A] * W_{tmp(1)} = (0.126; 0.114; 0.145; 0.172; 0.191; 0.250)^T$;

$W2 = [A] * W_{tmp(2)} = (0.231; 0.164; 0.192; 0.141; 0.122; 0.152)^T$.

Анализ полученных результатов

Полученные результаты представляются согласованными. Для первой задачи, где наиболее важной является пропускная способность, предпочтительными являются стандарты 16GFC, 10GFC и 8GFC, в то время как остальные рассматриваемые стандарты оцениваются примерно одинаково и не являются предпочтительными.

Для второй задачи, где предполагается использование сети для передачи небольшого количества данных на значимые расстояния, наиболее предпочтительными вариантами оказались стандарты 1GFC, 4GFC

и 2GFC, имеющие наибольшую дальность, но не самую большую пропускную способность из представленных альтернатив. Следует также отметить, что стандарт 10GFC был бы выше в обоих вариантах ранжирования, но отсутствие совместимости с сетями других типов ведет к усложнению, а следовательно, и более высокой стоимости модернизации сети.

Разработчики стандартов отмечают, что с каждой последующей версией функциональные, скоростные и прочие возможные характеристики сети улучшаются. Также известно, что при этом существенно увеличивается и стоимость решения на базе новых стандартов. В случае проведения модернизации по стандартам 8GFC или 16GFC на решение с большей пропускной способностью следует количественно оценить возможные альтернативы по стоимости, например, нужна ли более высокая скорость или она будет избыточной; насколько просто выполнить модернизацию сети, так как может потребоваться замена имеющегося оборудования.

Заключение

В настоящей работе предложена методика многокритериального выбора оптических модулей Fibre Channel на основе метода анализа иерархий для их монтажа в сетевое оборудование сети хранения данных.

Необходимо отметить, что разница между оценками умеренна, как следствие, нельзя строго утверждать, что один вариант значительно выигрывает по сравнению с остальными, а другой – сильно проигрывает. Таким образом, выбор подходящего

стандарта должен осуществляться для каждого конкретного случая на основе количественных оценок: с учетом ценовых факторов и проектных требований.

Список литературы

1. Bradley W.C. Handbook of Data Center Management, Second Edition, Auerbach Publications CRC Press, 2018, 816 p.
2. Lowe S.D., Davis D.M., Green J., Knox S. Building a Modern Data Center: Principles and Strategies of Design, ActualTech Media, 2016. 226 p.
3. Liu Y., Muppala J.K., Veeraraghavan M., Lin D., Hamdi M. Data Center Networks: Topologies, Architectures and Fault-Tolerance Characteristics, Springer International Publishing, 2013. 68 p.
4. Roy B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Springer Science & Business Media, 2013. 293 p.
5. Земцов А.Н., Болгов Н.В., Божко С.Н. Многокритериальный выбор оптимальной системы управления базы данных с помощью метода анализа иерархий // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2360> (дата обращения: 28.05.2020).
6. Бикчурина А.И., Скокова И.К., Санин А.А., Василько Ф.А. Выбор автоматизированной системы на основе метода парных сравнений // Фундаментальные исследования. 2016. № 10–3. С. 483–487.
7. Щербakov В.В., Воронин А.В., Фролова С.В. Реализация концепции риск-менеджмента в интеграционной структуре предприятий нефтяного машиностроения // Фундаментальные исследования. 2020. № 4. С. 137–142.
8. Куликов Д.Л., Лыкова В.А. Многокритериальный выбор инвестиционной площадки методом анализа иерархий // Фундаментальные исследования. 2017. № 7. С. 151–155.