

Diubov Andrei Sergeevich, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 22 Prospekt Bolshevikov, St. Petersburg 193232; Associate Professor of the Department of Photonic and Telecommunication Lines; PhD in Technical Sciences. Tel.: +78123051269. E-mail: blip@mail.ru

Hrichkov Valentin Alexandrovich, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 22 Prospekt Bolshevikov, St. Petersburg 193232; Lecturer of the Department Photonic and Telecommunication Lines. Tel.: +78123051269. E-mail: hrichkovv@gmail.com

References

1. Glagolev S.F., Diubov A.S., Rudnitskiy V.B. e.a. Reflektometriia abonentskikh uchastkov PON [Reflectometry of PON subscriber sections]. *Materialy mezhdunarodnoy konferencii APINO-2016* [Collection of scientific papers of ICAIT-2016]. Saint Petersburg, 2016, pp. 308-312.
2. Snaider A., Lav Dzh. *Teoriia opticheskikh volnovodov* [Optical waveguide Theory]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1987. 656 p.
3. Taha Mohamed Barake. *A Generalized Analysis of Multiple-Clad Optical Fibers with Arbitrary Step-Index Profiles and Applications*. Thesis for the degree of Master of Science in Electrical Engineering, 1997.
4. Agraval G. *Nelineinaiia volokonnaia optika* [Nonlinear fiber optics]. Moscow, Mir Publ., 1996. 323 p.
5. Adams A. *Vvedenie v teoriyu opticheskikh volnovodov* [Introduction in optical waveguides theory]. Moscow, Mir Publ., 1984. 512 p.
6. Andreev V.A., Bourdine A.V., Kochanovsky L.N. e.a. *Napravljajushchie sistemi electrosvjazi. V.2. Design, installation and maintenance* [Telecommunication guided systems]. Moscow, Gorjachaya Linija–Telecom Publ., 2016. 424 p.
7. Ivanov A.B. *Volokonnaja optika. Kompinenti, sistemi peredachi, izmerenija* [Fiber optic. Components, telecommunication systems, measurements]. Moscow, Syrus Systems, 1999. 671 p.
8. Listvin A.V., Listvin V.N., Shvirkov D.V. *Opticheskie volokna dlja linii svjazi* [Optical fibers for telecommunication]. Moscow, LESARart, 2003. 288 p.
9. Gauer J. *Opticheskie sistemi peredachi* [Optical telecommunication systems]. Moscow, Radio I svjaz Publ., 1989. 501 p.
10. Listvin V.N., Treschikov V.N. *DWDM sistemy* [DWDM systems]. Moscow, Nauka Publ., 2013. 300 p.

Received 23.04.2017

УДК 621.391

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ УЗЛОВ СПРОСА В СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Зотов К.Н., Жданов Р.Р., Киселев А.Е., Комиссаров А.М., Кузнецов И.В.
Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ
E-mail: tks@ugatu.ac.ru

В статье сравниваются основные алгоритмы нечеткой кластеризации для определения узлов спроса в сетях подвижной радиосвязи. Выявление наиболее подходящего алгоритма для динамического нахождения узлов спроса в условиях аномальных зон пространственно-временных изменений трафиковых процессов (изменения нагрузки) необходимо для быстрого перераспределения конечного радиочастотного ресурса базовых станций, каналов связи и вычислительных мощностей оборудования оператора. Каждый алгоритм четкой и нечеткой кластеризации является уникальным математическим инструментом, способным анализировать трафиковые процессы в современных телекоммуникационных сетях. Алгоритмы имеют границы применимости в реальных условиях использования – скорость счета, особенности выбора границ нечеткости, выбор метрики принадлежности к тому или иному кластеру и целый спектр эвристических критериев для решения реальных физических задач.

Ключевые слова: трафиковые процессы, алгоритм нечеткой кластеризации, Fuzzy C-Means, FCM алгоритм, алгоритм Густафсона-Кесселя, узел спроса

Введение

В процессе функционирования систем мобильной связи возникают резкие перегрузки в

отдельных ее сегментах, обусловленные перемещением абонентов, что вызывает необходимость оперативного управления радиоресурсами. Так, в случае перегрузки сети в одной части зоны об-

служивания могут быть задействованы ресурсы из менее загруженной ее части [1].

Для эффективного управления радиоресурсами системы сотовой связи необходимо позиционировать мобильные станции (МС) с точностью, позволяющей выявлять зоны аномального изменения концентрации [2]. Функция позиционирования (местоопределения) МС в сетях оператора сотовой связи является актуальной проблемой современной науки и может стать универсальным инструментом для решения целого ряда задач, напрямую не связанных с услугами связи [3].

Полученные в результате позиционирования массы абонентов представляют собой большие массивы. Обработать каждого абонента не представляется возможным. С точки зрения эффективного управления необходимо объединить всех абонентов в конгломерации, удобные для дальнейшего управления. Центрами таких конгломераций будут виртуальные узлы спроса (центры кластеров), в которых сконцентрирована совокупная нагрузка от МС абонентов. Количество узлов спроса резко отличается от количества всех абонентов в пространстве, что облегчит задачу подключения кластеров (узлов спроса) к существующим базовым станциям.

Постановка задачи

На сегодняшний день известно [4] большое количество алгоритмов четкой и нечеткой кластеризации. Каждый алгоритм является не просто инструментом, выдающим ответ, но и несколько разных ответов в течение пересчета десятков итераций.

Рассматриваемая задача подразумевает ряд ограничений, границ применимости, которые необходимо использовать как критерий при выборе оптимального алгоритма в спек-

тре реальных. В условиях пространственно-временного изменения нагрузки на сеть подвижной связи наиболее эффективным будет алгоритм, подобранный по следующим параметрам:

- способный работать с нечеткими множествами;
- инвариантный к способу и началу счета;
- определяющий минимальное число ответов;
- выявляющий ответ за минимальное число итераций.

Нечеткие (или пересекающиеся) алгоритмы каждому объекту ставят в соответствие набор вещественных значений, показывающих степень отношения объекта к кластерам. Каждый объект относится к каждому кластеру с некоторой вероятностью, что полностью отражает картину перемещения любого из абонентов сети радиосвязи в любой момент времени и учитывает пространственно-временное изменение нагрузки на сеть оператора связи.

Второе ограничение связано с тем, что пространственно-временной характер нагрузки не позволяет начинать пересчет каждого случая распределения абонентов с одного и того же места (утром и вечером, летом и зимой характер нагрузки в пространстве меняется с перемещением абонентов). Решение задачи кластеризации принципиально неоднозначно, причинами являются:

- не существует однозначно наилучшего критерия качества кластеризации. Известен целый ряд эвристических критериев, а также ряд алгоритмов, не имеющих четко выраженного критерия, но осуществляющих достаточно разумную кластеризацию «по по-

Таблица 1. Сравнение алгоритмов нечеткой кластеризации

Алгоритм FCM	Алгоритм Густафсона-Кесселя
Шаг 1. Устанавливаются параметры алгоритма: количество кластеров, экспоненциальный вес, параметр останова алгоритма.	
Шаг 2. Случайным образом генерируется матрица нечеткого разбиения.	
Шаг 3. Рассчитывается центр кластеров.	Шаг 3. Вычисляется «центр масс» для каждого кластера.
Шаг 4. Рассчитывается расстояние между центрами кластеров.	Шаг 4. Вычисляется матрица ковариаций.
	Шаг 5. Для всех кластеров вычисляется расстояние.
Сравнение полученных результатов с заданными параметрами и пересчет, при необходимости.	

строению». Все они могут давать разные результаты;

– число кластеров, как правило, неизвестно заранее и устанавливается в соответствии с некоторым субъективным критерием;

– результат кластеризации существенно зависит от метрики, выбор которой также субъективен и определяется экспертом.

В процессе моделирования оказалось, что алгоритм FCM (Fuzzy Classifier Means, Fuzzy C-Means) выдает до четырех ответов на одном и том же массиве данных [5]. Последнее ограничение является наиболее важным, так как изучаемые области изменяются во времени и ответ должен быть получен до рассыпания кластера. Из всего спектра алгоритмов кластеризации благодаря указанным ограничениям можно выделить два основных – алгоритм Густафсона-Кесселя и алгоритм FCM [6].

Как видно из таблицы 1, второй алгоритм имеет на одно действие больше, что может привести к значительным задержкам в расчетах и увеличению вычислительных мощностей. Для выявления наиболее подходящего алгоритма требуется математическое и компьютерное моделирование.

Решение задачи

Данные алгоритмы имеют ряд недостатков [7]:

– нечеткая кластеризация имеет в своей основе работу по перебору одних и тех же данных из большого массива данных, что приводит к значительному увеличению времени обработки данных;

– в случае большого количества исходных точек (моделируемое количество абонентов радиосети) вычислительные мощности обычных ЭВМ не справляются с поставленной задачей;

– алгоритм не дает четкого представления о границах раздела кластеров, так как пограничные абоненты могут относиться сразу к нескольким кластерам.

Моделирование задачи происходило в среде программирования C+. В процессе компьютерного моделирования все эти утверждения были доказаны и приведены в [4-5], а по результатам моделирования была зарегистрирована программа для ЭВМ [7]. В программе использовался один алгоритм FCM. Позже программа была доработана – был добавлен алгоритм Густафсона-Кесселя. На рис. 1а представлен результат работы обновленной программы на три кластера с помощью алгоритма FCM, а на рис. 1б – результат пересече-

та того же примера для алгоритма Густафсона-Кесселя.

Как видно из рис. 1, алгоритмы дают разные ответы в пространстве. Это связано с недостатками эвристического подхода к выбору критерия качества кластеризации при четком математическом алгоритме расчета. Наиболее интересным представляется количество итераций, потраченных алгоритмами для предоставления визуализированного результата на экране компьютера.

Для 100 точек алгоритм FCM затратил 14 итераций, в то время как алгоритм Густафсона-Кесселя – 190. При дальнейшем увеличении числа абонентов первый алгоритм показал незначительное увеличение числа итераций по сравнению со вторым.

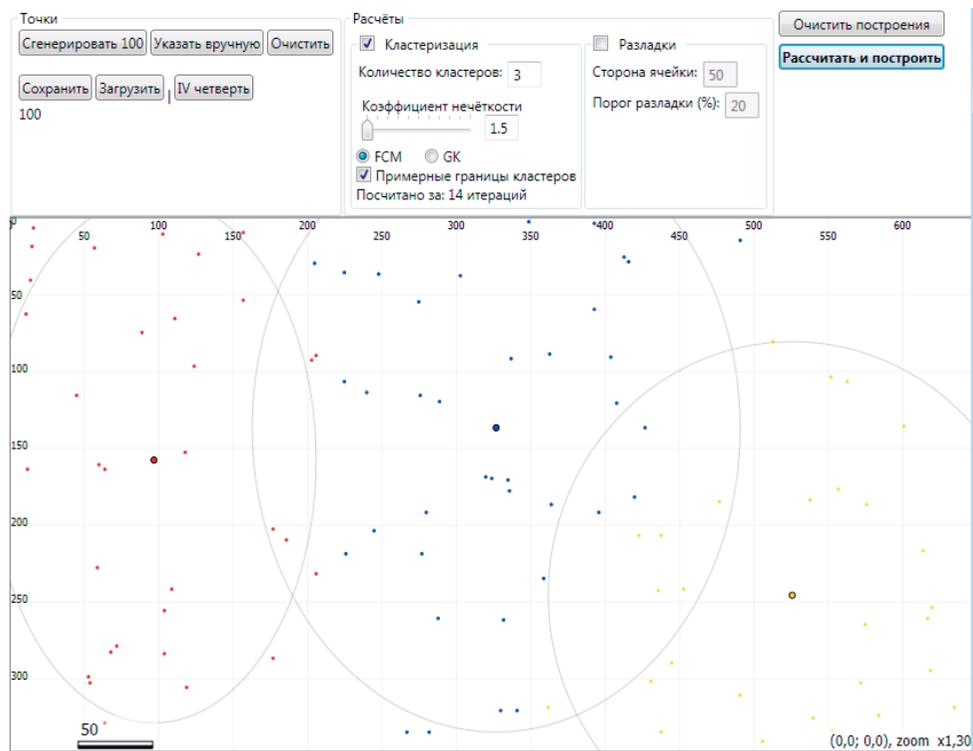
Результаты сравнения работы алгоритмов приведены на рис. 2-3. Из рис. 3 отчетливо видно, что алгоритм FCM менее ресурсоемкий. Таким образом, утверждение о том, что наличие большего числа шагов в алгоритме Густафсона-Кесселя приведет к значительным задержкам в расчетах и увеличению вычислительных мощностей, доказано.

Выводы

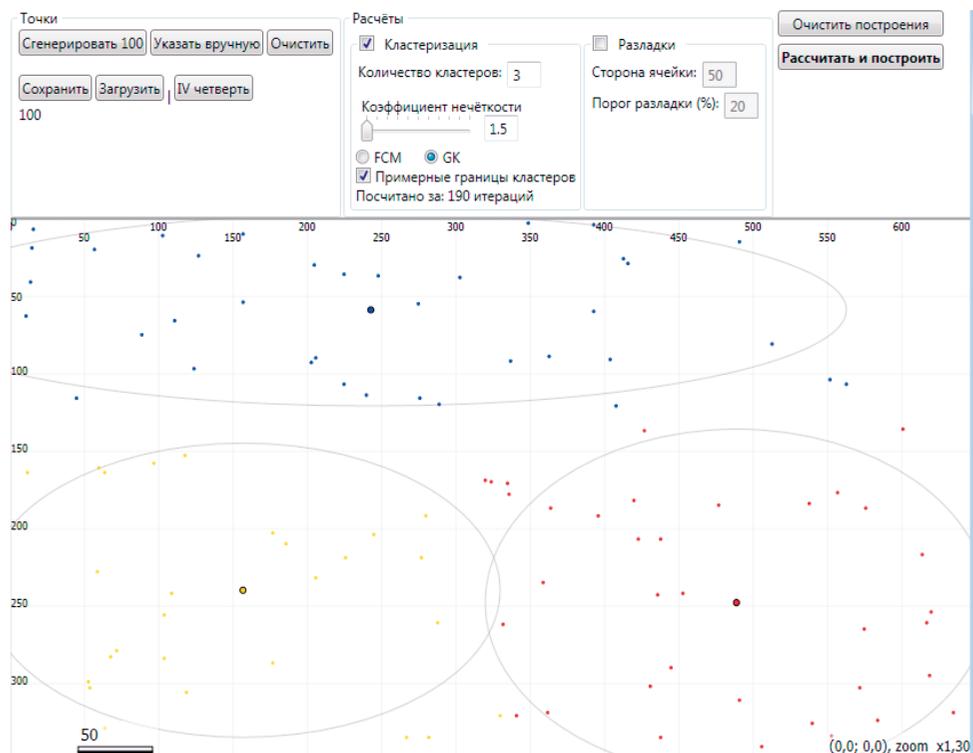
Задача выбора нечетких методов (алгоритмов) разбиения в сетях подвижной связи является новой [10], однако в условиях физической реализуемости той или иной задачи практическая составляющая имеет высокий интерес со стороны эксплуатирующих организаций. В данной статье было доказано, что из двух алгоритмов нечеткой кластеризации наиболее подходящим для решения задачи динамической кластеризации абонентов сети подвижной связи является Fuzzy Classifier Means. Он работает достаточно быстро (ответ был получен в среднем за 1 с вычислений) в условиях изменяющейся нагрузки, выражающейся как в количестве абонентов, так и в числе самих узлов спроса.

Литература

1. Стрельникова Л.В., Zotov K.N., Кузнецов И.В., Жданов Р.Р. Применение методов нечеткой кластеризации для эффективного управления ресурсами сотовой связи // Международный научно-исследовательский журнал. №2-1(33), 2015. С. 86-87.
2. Zotov K.N. Разработка алгоритма повышения точности позиционирования мобильных станций на основе расчета статических параметров электромагнитного поля в неоднородной



а)



б)

Рис. 1. Результат компьютерного моделирования алгоритмов нечеткой кластеризации

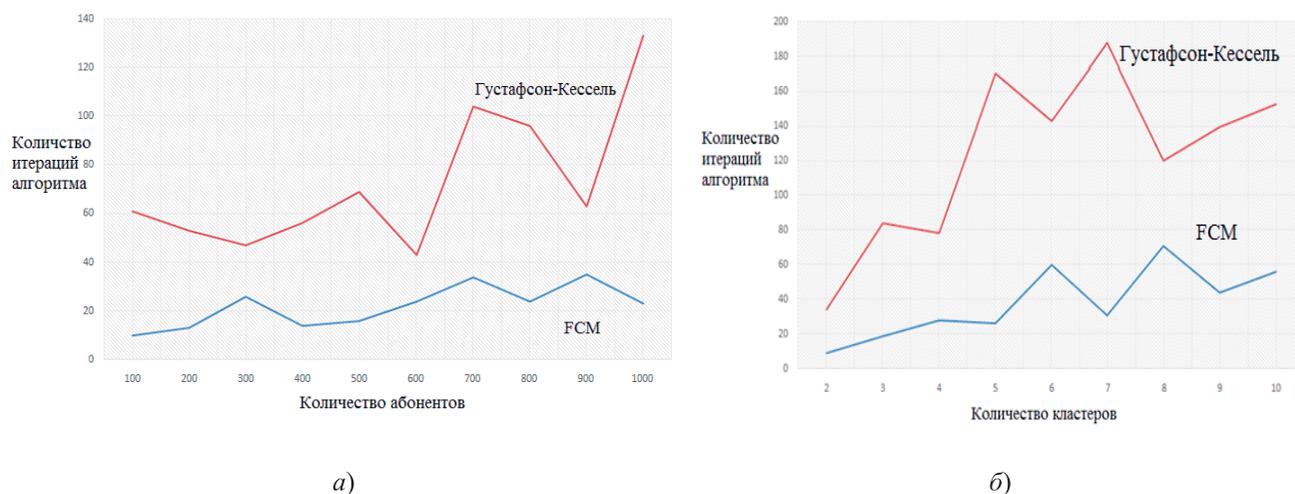


Рис. 2. Сравнение работы алгоритмов
 а) при изменяющемся числе абонентов сети; б) при изменяющемся числе кластеров

среде // Вестник УГАТУ. Т.17, №2(55), Уфа, 2013. – С. 14-19.

3. Воробьев Н.П., Сошников А.А., Титов Е.В. Использование компьютерного моделирования для оценки электромагнитных загрязнений // Ползуновский вестник. №4, 2009. – С.31-33.
4. Zotov K.N. Повышение эффективности систем сотовой связи на основе релевантной кластеризации местоположения мобильной связи. Автореф. дис. к.т.н. Уфа, 2014. – 16 с.
5. Zotov K.N., Kuznetsov I.V., Salov A.S., Simbirceva D.S., Strel'nikova L.V. Разработка алгоритмов кластерного анализа концентрации абонентских устройств в системах мобильной связи // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Т.11, №1, 2015. – С. 90-96.
6. Gustafson D.E., Kessel W.C. Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix // IEEE Conference on Decision and Control including

the 17th Symposium on Adaptive Processes, San Diego, CA, USA, 1978, pp. 761-766.

7. Программа расчета узлов спроса на основе кластерного анализа местоположения абонентов в сетях сотовой связи // Рег. № 2014613981.
8. Султанов А.Х., Кузнецов И.В., Камалов А.Э. Об одном методе прогноза оптимальной зоны радиопокрытия сети мобильной связи // Вестник УГАТУ. Т.14, №1(36), 2010. – 62-67.
9. Блохин В.В., Кузнецов И.В., Султанов А.Х. Координированное планирование частотного ресурса в системах радиосвязи топологическим методом // Вестник УГАТУ. Т.11, №2, 2008. – 178-181.
10. Вятчин Д. А. Нечеткие методы автоматической классификации. Минск: Технопринт, 2004. – 219 с.

Получено 09.01.2017

Зотов Кирилл Николаевич, к.т.н., доцент Кафедры телекоммуникационных систем (ТС) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). Тел. 8-960-388-88-11. E-mail: zkn2002@inbox.ru

Жданов Руслан Римович, к.т.н., доцент Кафедры ТС УГАТУ. Тел. (8-347) 273-06-89. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Киселев Антон Евгеньевич, к.т.н., доцент Кафедры ТС УГАТУ. Тел. (8-347) 273-06-89. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Комиссаров Аркадий Михайлович, к.т.н., доцент Кафедры ТС УГАТУ. Тел. (8-347) 273-06-89. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Кузнецов Игорь Васильевич, д.т.н., профессор Кафедры ТС УГАТУ. Тел. (8-347) 273-06-89. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

ISOLATING NODES OF DEMAND IN MOBILE NETWORKS WITH CLUSTERING ALGORITHMS

Zotov K.N., Zhdanov R.R., Kiselev A.E., Komissarov A.M., Kuznezov I.V.
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation
E-mail: tks@ugatu.ac.ru

In this article, main fuzzy clustering algorithms for isolating nodes of demand in mobile radio networks are compared. The necessity for fast resource management, such as radio frequency, channel and computing power, at network service provider side requires using of the most suitable algorithm for dynamically isolating nodes of demand. Such an algorithm should be able to work in the conditions of abnormal traffic changes through space and time, i.e. abnormal load changes. Each algorithm of a hard and fuzzy clustering is a unique mathematical tool capable of analyzing on telecommunication network traffic. All discussed algorithms have applicability limitations under real-world conditions: calculation speed, flexibility in choosing of cluster boundaries and membership grades as well as other heuristic criteria used for real-world tasks. The comparison of two fuzzy clustering algorithms revealed that Fuzzy C-Means works quicker in the conditions of the increasing traffic than Gustafsson-Kessel's algorithm. Simulation was made for two cases: the increase of number of subscribers and the increase of quantity of clusters in case of constant number of subscribers.

Keywords: traffic processes, fuzzy clustering algorithm, Fuzzy C-Means, FCM algorithm, Gustafsson-Kessel algorithm, the demand node

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.2.04

Zotov Kirill Nikolaevich, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450000, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Telecommunication Systems; PhD in Technical Science. Tel.: +73472730689. E-mail: zkn2002@inbox.ru

Zhdanov Ruslan Rimovich, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450000, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Telecommunication Systems; PhD in Technical Science. Tel.: +73472730689. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Kiselev Anton Evgenievich, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450000, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Telecommunication Systems; PhD in Technical Science. Tel.: +73472730689. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Komissarov Arkadiy Mikhaïlovich, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450000, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Telecommunication Systems; PhD in Technical Science. Tel.: +73472730689. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Kuznetsov Igor Vasilyevich, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450000, Russian Federation; Professor of the Department of Telecommunication Systems; Doctor of Technical Science. Phone: +73472730689. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

References

1. Strel'nikova L.V., Zotov K.N., Kuznetsov I.V., Zhdanov P.P. Primenenie metodov nechotyotkoy klasterizatsii dlya éffektivnogo upravleniya resursami sotovoi svyazi [Using of methods of a fuzziness clustering for effective management of resources of cellular communication]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2015, no 2-1, pp. 86-87.
2. Zotov K.N. Razrabotka algoritma povysheniya tochnosti pozitsionirovaniya mobil'nykh stantsiy na osnove raschyota staticheskikh parametrov elektromagnitnogo polya v neodnorodnoy srede [Development of an algorithm of increase in positioning accuracy of mobile stations on the basis of calculation of static parameters of an electromagnetic field in the non-uniform environment]. *Vestnik UGATU*, 2013, vol. 17, no. 2, pp 14-19.
3. Vorob'yov N.P., Soshnikov A.A., Titov E.V. Ispol'zovanie komp'yuternogo modelirovaniya dlya otsenki élektromagnitnykh zagryazneniy [Use of computer simulation for assessment of electromagnetic pollution]. *Polzunovskiy vestnik*, 2009, no. 4, pp. 31-33.

4. Zotov K.N. *Povyshenie éffektivnosti sistem sotovoi svyazi na osnove relevantnoy klasterizatsyi mestopolozheniya mobil'noy svyazi* [Increase in efficiency of cellular systems based on a relevant clustering of location of mobile communication. Candidate tech. sci., abstract diss]. Ufa, 2014, 16 p.
5. Zotov K.N., Kuznetsov I.V., Salov A.S., Simbirtseva D.S., Strel'nikova L.V. *Razrabotka algoritmov klasterного анализа kontsentratsyi abonentских устройств v sistemakh mobil'noy svyaz* [Algorithm elaboration of cluster analysis of concentration of subscriber devices in mobile telecommunication systems]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i informatsionnye komplekсы i sistemy*, 2015, vol. 11, no. 1, pp. 90-96.
6. Gustafson D.E., Kessel W.C. Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix. *IEEE Conference on Decision and Control including the 17th Symposium on Adaptive Processes*, San Diego, CA, USA, 1978, pp. 761-766. doi: 10.1109/CDC.1978.268028.
7. *Programma raschyota uzlov sprosa na osnove klasterного анализа mestopolozheniya abonentov v setyakh sotovoy svyazi* [The program of calculation of nodes of demand based on cluster analysis of location of subscribers on the cellular transmission networks]. Reg. no 2014613981
8. Sultanov A.Kh., Kuznetsov I.V., Kamalov A.E. *Ob odnom metode prognoza optimal'noy zony radiopokrytiya seti mobil'noy svyazi* [About one method of the forecast of an optimum zone of a radio covering of a mobile network]. *Vestnik UGATU*, 2010, vol. 14, no. 1, pp. 62-67.
9. Blokhin V.V., Kuznetsov I.V., Sultanov A.Kh. *Koordinirovannoe planirovanie chastotного resursa v sistemakh radiosvyazi topologicheskim metodom* [Coordinate planning of the frequency resource in systems of a radio-system by a topological method]. *Vestnik UGATU*, 2008, vol. 11, no 2, pp. 178-181.
10. Vyatchenin D.A. *Nechyotkie metody avtomaticheskoy klassifikatsyi* [Fuziness methods of automatic classification]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2004, 219 p.

Received 09.01.2017

УДК 621.396

ЖЕСТКОСТЬ ПОДВЕСНОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Алехин И.Н., Баскаков В.С., Никулина Т.Г.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы изменения жесткости оптических кабелей с гидрофобным компаундом и без при понижении температуры окружающей среды от положительных до отрицательных значений. Рассматриваются конструкции подвесных кабелей как наиболее подверженных температурным влияниям. Приводятся результаты исследований конструкций самонесущих оптических кабелей, имеющих различную стойкость к растягивающим нагрузкам. Конструктивно исследуемые образцы оптических кабелей отличались наличием одного или двух слоев кевларовых нитей, а также наличием только внешней полиэтиленовой оболочки или же одновременно и внешней, и внутренней. Все исследуемые образцы изначально имели различную жесткость, измеренную при температуре +20°C. Полученные результаты исследований сравниваются с результатами аналогичных исследований, выполненных для оптических кабелей так называемой сухой конструкции, без гидрофобного компаунда. В работе показано, что жесткость увеличивается при понижении температуры в большей степени, если в конструкции оптических кабелей имеется гидрофобное заполнение.

Ключевые слова: оптический кабель, самонесущий оптический кабель, жесткость, волоконно-оптическая линия передачи, центральный силовой элемент, модульная трубка, температурный градиент жесткости, низкие отрицательные температуры, линейно-кабельные сооружения, гидрофобный компаунд, кевларовые нити, полибутиленрефталат

Введение

Надежная и долговечная работа волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) во многом определяется технологией их строительства и конструктивными особенностями применяемых оптических кабелей (ОК) и кабельной арматуры.

Одной из важнейших механических характеристик ОК является жесткость. Указанный параметр влияет на прокладку ОК, его минимально допустимые радиусы изгиба в процессе монтажа и зависит от конструкции и условий эксплуатации кабеля.