

Н. И. Шапошникова, А. А. Сорокин

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ

Рассмотрены вопросы определения необходимости модернизации базовых станций сотовой сети на основе математического аппарата теории нечетких множеств. Для улучшения качества предоставляемых услуг связи операторам необходимо направлять значительное финансирование на модернизацию оборудования базовых станций. Модернизация может улучшить и расширить качество выполнения функций базовых станций по обеспечению сотовой связи, повысить надежность базовой станции при эксплуатации и функциональность отдельных её элементов, а также позволит снизить затраты на обслуживание и ремонт при работе на сотовой сети. Сложность при сборе информации о состоянии оборудования определяется большим количеством факторов, влияющих на его работу, а также несовершенством получения и обработки полученных сведений. Для всесторонней оценки потребности в модернизации необходимо учитывать ряд показателей. В структуру показателей необходимости модернизации введены параметры, отражающие степень как физического старения, так и морального (отставание по техническим показателям и отставание в связи с появлением новых технологий и стандартов). При решении поставленной задачи выделены основные этапы принятия решений по модернизации. Принятие решений по необходимости модернизации основывается не только на числовой информации, учитываемой лицами, принимающими решения, но и на лингвистической и вербальной информации. Именно поэтому для определения необходимости модернизации базовых станций используется теория нечетких множеств, которая позволяет привлечь к решению задачи экспертов. Эксперты смогут сформулировать дополнительные нечеткие суждения, помогающие учесть не только измерительные характеристики, но и слабоформализованную нечеткую информацию. Для этого определены основные показатели потребности модернизации, сформулированы нечеткие оценки и выведено множество, отражающее необходимость модернизации базовых станций.

Ключевые слова: базовые станции, модернизация, теория нечетких множеств, эксперты, показатели проведения модернизации, нечеткая информация, нечеткие оценки, принятие решений.

Введение

Условием успешного управления сложной системой является принятие верных решений по её дальнейшему функционированию и развитию [1]. Работа сложных систем в настоящее время связана с оперированием большим количеством данных [2]. Собранные сведения необходимо определенным образом хранить, получать на их основе наглядные результаты, а также обрабатывать различную информацию о состоянии систем. В дальнейшем при обработке таких результатов можно составить план действий и провести корректирующие работы. Существуют системы, успешное функционирование и работоспособность которых зависят от значительного количества факторов, таких как научно-технические достижения, социальные потребности пользователей, экономическое и политическое положение в стране. Такими системами являются сотовые сети оператора связи, в работе которых сложность представляет сбор информации о состоянии эксплуатируемого оборудования, в том числе и базовых станций. Тем не менее мобильные сети связи в настоящее время занимают доминирующее положение на рынке передачи данных [3]. Трудности при сборе информации о состоянии базовых станций определяются большим количеством факторов, влияющих на их состояние, несовершенством процессов получения и обработки полученных сведений. В результате оператор располагает недостаточным количеством сведений не только о физическом, но и о моральном износе оборудования базовых станций. Все это приводит к снижению эффективности управления оборудованием и к принятию неправильных решений по развитию всей сети в целом.

Целью исследования являлась разработка метода определения необходимости модернизации базовых станций сотовой сети с применением математического аппарата теории нечетких множеств.

Состояние объекта исследования

Конкурентоспособность оператора связи на телекоммуникационном рынке определяется надёжной системой предоставления качественных услуг и четкой работой всего оборудования. Именно поэтому оператор вынужден повышать эффективность существующей инфраструктуры сети, т. е. обеспечивать качество связи при минимальных затратах. Сотовая сеть оператора строится на основе базовых станций, которые позволяют абонентам оставаться на связи. На базовые станции приходится значительная доля операционных и капитальных затрат оператора связи, поэтому так важно в процессе эксплуатации контролировать и улучшать их работу по мере необходимости. Для улучшения качества предоставляемых услуг связи оператору связи необходимо направлять значительные средства на модернизацию оборудования базовых станций [4]. Затраты на модернизацию определяются типом установленного оборудования и расположением базовой станции. Для обеспечения качества функционирования сотовой сети на предприятиях связи создаются системы технического обслуживания и ремонта, которые осуществляют управление техническим состоянием средств зоны обслуживания. От системы технического обслуживания и ремонта зависит эффективность работы оборудования сети [5]. При решении вопросов модернизации как всей сети, так и отдельного оборудования оператор вынужден принимать во внимание не только свой опыт эксплуатации определенного оборудования, но и возможности поставщика по проектированию, строительству, поставке, монтажу и техническому обслуживанию оборудования [6]. При модернизации базовых станций возникают следующие трудности:

- учитывать сложность модернизируемого объекта (базовые станции представляют собой систему, состоящую из различных компонентов, на функционирование которых влияет множество факторов);
- определять необходимость модернизации и её эффективность (модернизация должна обеспечивать сохранение уровня качества связи при сокращении затрат и при сохранении максимальной прибыли);
- выделять основные показатели необходимости модернизации (для принятия адекватного решения анализ состояния базовых станций должен производиться с учетом различных показателей);
- учитывать неопределенности (на эффективность модернизации влияет учет множества факторов, но их невозможно учесть полностью).

На работу базовых станций оказывают влияние не только технические показатели, но и социально-экономические факторы, поэтому учет необходимости модернизации базовых станций при помощи одномерного показателя приведет к неполноте информации об их работоспособности и функционировании. Для комплексной оценки потребности в модернизации необходимо учитывать ряд показателей.

Решение задачи по определению необходимости модернизации базовых станций

Оборудование базовых станций подвергается не только физическому, но и моральному износу из-за отставания элементов оборудования от современных требований и изменения требований к качеству и составу целевых функций. Модернизация базовых станций позволяет улучшить их функциональные свойства и снизить эксплуатационные затраты, кроме того, модернизация позволяет отдалить стадию окончания жизненного цикла базовой станции. Ввиду сложности задачи модернизации базовых станций её декомпозируют на ряд отдельных задач, таких как анализ состояния базовых станций сотовой сети оператора; обоснование необходимости модернизации; выделение вариантов модернизации; формирование показателей необходимости модернизации; прогнозирование функционирования базовой станции после модернизации; прогнозирование затрат при модернизации и последующей эксплуатации; исследование возможности модернизации; выбор варианта модернизации; исследование по практическому внедрению модернизации (рис. 1).

При решении задачи модернизации рассматривают исходные данные: требования к базовым станциям; возможности и характеристики базовых станций; затраты на выполнение элементарных операций по модернизации; затраты на эксплуатацию модернизированных базовых станций; объем трудовых и материальных ресурсов, необходимых для модернизации [7].

Особенностью задачи по определению необходимости модернизации базовых станций является разработка метода обработки информации, который учитывает четыре показателя модернизации, выделенные на основе рекомендаций экспертов в области построения и эксплуатации систем связи. Это увеличение количества целевых задач, связанных с появлением новых стандартов и технологий, а также научно-техническим прогрессом (НТП) в области предоставления услуг связи; ужесточение требований к техническим показателям базовых станций; появление аварий и отказы элементов базовых станций; износ оборудования и отказы, приводящие к увеличению эксплуатационных затрат.



Рис. 1. Этапы решения задачи модернизации базовой станции (БС)

Суммарное действие деструктивных факторов приводит к моральному и физическому износу оборудования базовых станций. Увеличение количества целевых задач обусловлено расширением пакета услуг и совершенствованием технологий. Рост объема передаваемых данных, внедрение технологий мобильной связи 3G, 4G и даже 5G, рост скорости доступа в Интернет увеличивают, в свою очередь, нагрузку на мобильную сеть и требуют использования современных элементов [8]. Целевые задачи определяются НТП в области предоставления сотовых услуг. Появление морального износа связано с отставанием технических характеристик и показателей от предъявленных требований. Это также обусловлено НТП и развитием научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в сфере разработки новых поколений связи с высокими техническими возможностями. Технические параметры базовых станций определяют ключевые показатели эффективности сети (Key Performance Indicator – KPI). Они позволяют анализировать эффективность работы сети и уровень достижения целей по

предоставлению услуг связи. К техническим показателям качества относятся доля успешных и неуспешных вызовов, вызовы с преждевременным разъединением соединения, вызовы с неудовлетворительным качеством передачи речи в момент контроля вызовов при испытании и т. д. Эксплуатационные затраты в большей степени зависят от энергозатрат, которые обусловлены ростом стоимости электроэнергии. Существуют различные технологии, позволяющие уменьшить эксплуатационные затраты системы базовых станций, но они требуют проведения модернизации, кроме того, результат внедрения таких технологий не всегда очевиден [9]. При внедрении энергосберегающих технологий энергопотребление может зависеть от внешних факторов. Например, при динамических системах неиспользуемые блоки базовой станции можно отключить, и тогда потребление энергии будет зависеть от трафика (нагрузки). Если используется система охлаждения воздухом, то потребление энергии зависит от температуры воздуха снаружи контейнера. Затраты в процессе эксплуатации могут быть вызваны также обслуживанием базовых станций, объемы которого напрямую зависят от отказов, аварий и неисправностей оборудования [8]. Трудозатраты на обслуживание необходимы для регламентированного обслуживания оборудования. Часто различные виды работ разделяют (например, обслуживание оборудования в контейнерах, верхолазные работы на вышках).

Как отмечалось выше, на основе рекомендаций экспертов выделены четыре показателя необходимости модернизации, которые обобщены, расшифрованы и показаны на рис. 2.

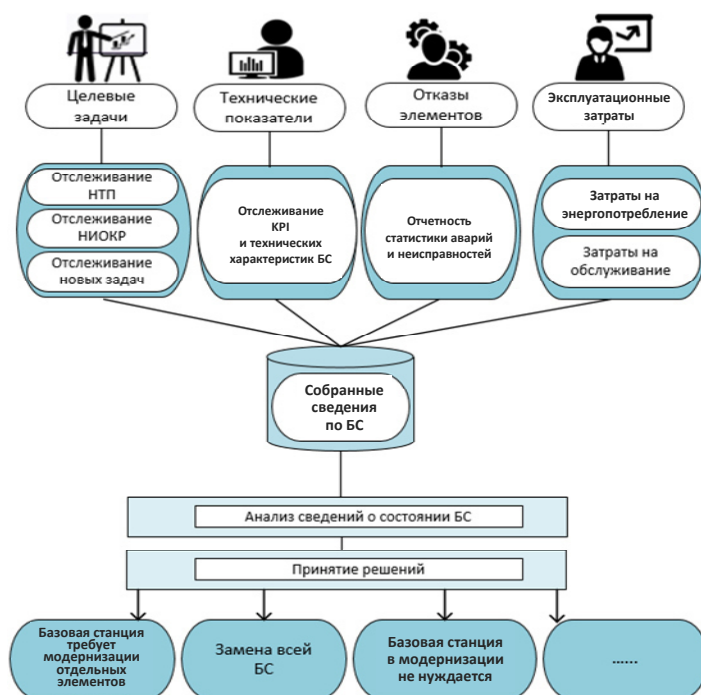


Рис. 2. Основные показатели для необходимости проведения модернизации базовой станции

Увеличение количества целевых задач, ужесточение требований к техническим показателям и характеристикам, частые отказы и аварии, а также рост затрат при эксплуатации в совокупности приводят к исчерпанию остаточного ресурса базовой станции по моральному и физическому износу. Разработка метода определения необходимости модернизации базовых станций основываться на методе теории нечетких множеств для создания систем принятия решений в условиях неопределенности [10]. Для определения необходимости модернизации применим математический аппарат теории нечетких множеств, что позволит обобщить и сформировать мнения и знания экспертов, т. к. принятие решений по модернизации должно опираться не только на числовые показатели сети и оборудования, но и на вербальную информацию и лингвистические суждения.

Предлагаемый метод решения задачи необходимости модернизации базовых станций

Степень необходимости модернизации рассмотрим в виде отдельных показателей, которые могут быть оценены экспертами: $K^{ц.з}$ – показатель необходимости модернизации по причине увеличения количества целевых задач; $K^{т.х}$ – показатель модернизации по причине ужесточения требований к техническим характеристикам; K^o – показатель модернизации по причине частых отказов, аварий и неисправностей; $K^{э.з}$ – показатель модернизации по причине больших эксплуатационных затрат.

Известно значение τ – фактическая наработка базовой сети в момент определения необходимости в модернизации. С учетом работы [11] значение *показателя необходимости модернизации по целевым задачам* вычислим как результат деления значения фактической наработки на сумму фактической наработки и оценки остаточного ресурса по данному показателю:

$$K^{ц.з} = \frac{K_{нач}^{ц.з} - K_{ост}^{ц.з}}{K_{нач}^{ц.з}} \approx \frac{\tau}{\tau + K_{ост}^{ц.з}(\tau)}, \quad (1)$$

где $K_{нач}^{ц.з}$ – показатель необходимости модернизации по целевым задачам; $K_{нач}^{ц.з}$ – примерная оценка остаточного ресурса базовой станции по целевым задачам.

Значение *показателя необходимости модернизации по техническим характеристикам* вычисляется аналогичным образом:

$$K^{т.х} = \frac{K_{нач}^{т.х} - K_{ост}^{т.х}}{K_{нач}^{т.х}} \approx \frac{\tau}{\tau + K_{ост}^{т.х}(\tau)}, \quad (2)$$

где $K_{нач}^{т.х}$ – показатель необходимости модернизации по техническим характеристикам; $K_{ост}^{т.х}$ – примерная оценка остаточного ресурса базовой станции по техническим характеристикам.

Значение *показателя необходимости модернизации по неустранимым отказам* вычисляем как

$$K^o = \frac{K_{нач}^o - K_{ост}^o}{K_{нач}^o} \approx \frac{\tau}{\tau + K_{ост}^o(\tau)}, \quad (3)$$

где $K_{нач}^o$ – показатель необходимости модернизации по неустранимым отказам; $K_{ост}^o$ – примерная оценка остаточного ресурса базовой станции по неустранимым отказам, авариям и неисправностям.

Значение *показателя по необходимости модернизации по эксплуатационным затратам* вычисляется аналогично:

$$K^{э.з} = \frac{K_{нач}^{э.з} - K_{ост}^{э.з}}{K_{нач}^{э.з}} \approx \frac{\tau}{\tau + K_{ост}^{э.з}(\tau)}, \quad (4)$$

где $K_{нач}^{э.з}$ – начальный показатель необходимости модернизации по эксплуатационным затратам; $K_{ост}^{э.з}$ – примерная оценка остаточного ресурса базовой станции по эксплуатационным затратам.

При примерной оценке остаточного ресурса базовых станций по всем четырем показателям возникает неопределенность, и именно поэтому при оценивании остаточного ресурса базовых станций целесообразно перейти к нечетким оценкам.

Нечеткое множество $\tilde{K}(\tau)$ представляет собой множество упорядоченных пар вида $\{k(\tau), \varphi_{\tilde{K}(\tau)}(k)\}$, где k – элемент универсума K , $\varphi_{\tilde{K}(\tau)}(k)$ – функция принадлежности, которая определяет степень принадлежности элементов множества K к элементам множества лингвистических термов L . Представим универсальное множество K в следующем виде <показатель целевых задач, технический показатель, показатель по отказам, эксплуатационные затраты>. Множество лингвистических термов L представим в виде <NB, NM, Z, PM, PB>, где NB – низкий показатель, NM – скорее низкий, чем средний, Z – средний, PM – скорее высокий, чем низкий,

PВ – высокий показатель. Зададим треугольный тип функции принадлежности для четырех входных переменных и одной выходной переменной. График функции принадлежности выходной переменной одного из показателей модернизации приведен на рис. 3 (для всех остальных показателей график такой же).

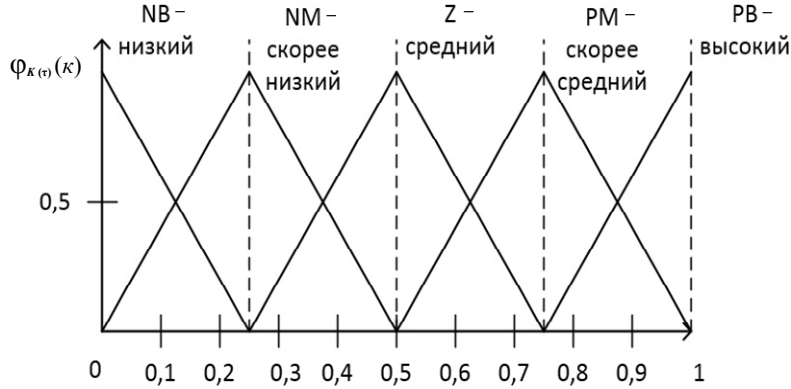


Рис. 3. График функции принадлежности выходной переменной одного из показателей модернизации

Нечеткие оценки остаточного ресурса базовой станции, задаваемые в виде нечетких множеств с функциями принадлежности, можно представить в следующем виде:

– нечеткие оценки по целевым задачам:

$$\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{ц.з}}(\tau) = \{ \kappa^{\text{ц.з}}(\tau), \varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{ц.з}}(\tau)}(\kappa^{\text{ц.з}}) \}; \quad (5)$$

– нечеткие оценки базовой станции по техническим характеристикам:

$$\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{т.х}}(\tau) = \{ \kappa^{\text{т.х}}(\tau), \varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{т.х}}(\tau)}(\kappa^{\text{т.х}}) \}; \quad (6)$$

– нечеткие оценки по отказам:

$$\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{o}}(\tau) = \{ \kappa^{\text{o}}(\tau), \varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{o}}(\tau)}(\kappa^{\text{o}}) \}; \quad (7)$$

– нечеткие оценки по эксплуатационным затратам:

$$\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{з.з}}(\tau) = \{ \kappa^{\text{з.з}}(\tau), \varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{з.з}}(\tau)}(\kappa^{\text{з.з}}) \}; \quad (8)$$

где $\varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{ц.з}}(\tau)}(\kappa^{\text{ц.з}})$, $\varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{т.х}}(\tau)}(\kappa^{\text{т.х}})$, $\varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{o}}(\tau)}(\kappa^{\text{o}})$, $\varphi_{\tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{з.з}}(\tau)}(\kappa^{\text{з.з}})$ – функции принадлежности четырех показателей необходимости модернизации. Подставляя выражения (5)–(8) в (1)–(4) соответственно, получим следующие нечеткие оценки показателей необходимости модернизации. Так как значение фактической наработки базовой станции есть величина постоянная, то нечеткие оценки можно записать в следующем виде:

$$\tilde{K}^{\text{ц.з}} \approx \tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{ц.з}}(\tau),$$

где $\tilde{K}^{\text{ц.з}}$ – нечеткая оценка показателя необходимости модернизации по целевым задачам;

$$\tilde{K}^{\text{т.х}} \approx \tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{т.х}}(\tau),$$

где $\tilde{K}^{\text{т.х}}$ – нечеткая оценка показателя необходимости модернизации по техническим характеристикам;

$$\tilde{K}^0 \approx \tilde{K}_{\text{ост}}^0(\tau),$$

где \tilde{K}^0 – нечеткая оценка показателя необходимости модернизации по отказам;

$$\tilde{K}^{\text{э.3}} \approx \tilde{K}_{\text{ост}}^{\text{э.3}}(\tau),$$

где $\tilde{K}^{\text{э.3}}$ – нечеткая оценка показателя необходимости модернизации по эксплуатационным затратам.

Суммарный показатель необходимости модернизации рассчитывается как сумма отдельных показателей необходимости модернизации:

$$\tilde{K}^{\text{мод}}(\tau) = \alpha_{\text{ц.3}} \tilde{K}^{\text{ц.3}}(\tau) + \alpha_{\text{т.х}} \tilde{K}^{\text{т.х}}(\tau) + \alpha_{\text{н.о}} \tilde{K}^{\text{н.о}}(\tau) + \alpha_{\text{э.3}} \tilde{K}^{\text{э.3}}(\tau), \quad (9)$$

где $\alpha_{\text{ц.3}}, \alpha_{\text{т.х}}, \alpha_{\text{н.о}}, \alpha_{\text{э.3}}$ – весовые коэффициенты, сумма которых равна 1. Выражение (9) можно переписать в виде

$$\tilde{K}^{\text{мод}}(\tau) = \{ \kappa(\tau), \varphi_{\tilde{K}^{\text{мод}}(\tau)}(\kappa) \}. \quad (10)$$

Запас остаточного ресурса базовой станции по четырём показателям должен быть больше продолжительности её модернизации, поэтому значение для обобщенного показателя необходимости модернизации рассчитывается как сумма граничных значений отдельных показателей умноженных на весовые коэффициенты.

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{ост}}^{\text{ц.3}} \geq \tau_{\text{мод}}^{\text{ц.3}} \Leftrightarrow K_{\text{гр}}^{\text{ц.3}} = \frac{\tau}{\tau + \tau_{\text{мод}}^{\text{ц.3}}}, \\ K_{\text{ост}}^{\text{т.х}} \geq \tau_{\text{мод}}^{\text{т.х}} \Leftrightarrow K_{\text{гр}}^{\text{т.х}} = \frac{\tau}{\tau + \tau_{\text{мод}}^{\text{т.х}}}, \\ K_{\text{ост}}^{\text{н.о}} \geq \tau_{\text{мод}}^{\text{н.о}} \Leftrightarrow K_{\text{гр}}^{\text{н.о}} = \frac{\tau}{\tau + \tau_{\text{мод}}^{\text{н.о}}}, \\ K_{\text{ост}}^{\text{э.3}} \geq \tau_{\text{мод}}^{\text{э.3}} \Leftrightarrow K_{\text{гр}}^{\text{э.3}} = \frac{\tau}{\tau + \tau_{\text{мод}}^{\text{э.3}}}, \end{array} \right. \Leftrightarrow K_{\text{гр}}^{\text{мод}} \approx \alpha_{\text{ц.3}} K_{\text{гр}}^{\text{ц.3}} + \alpha_{\text{т.х}} K_{\text{гр}}^{\text{т.х}} + \alpha_{\text{н.о}} K_{\text{гр}}^{\text{н.о}} + \alpha_{\text{э.3}} K_{\text{гр}}^{\text{э.3}} \quad (11)$$

где $K_{\text{гр}}^{\text{мод}}$ – граничные значения модернизации; $\alpha_{\text{ц.3}}, \alpha_{\text{т.х}}, \alpha_{\text{н.о}}, \alpha_{\text{э.3}}$ – весовые коэффициенты, сумма которых равна 1. Условием того, что модернизацию проводить необходимо, является выражение

$$\tau_i \geq \tau_i^{\text{н.м}} = \min_{\tau \in [0, T_i]} \tau \left| \tilde{K}_i^{\text{мод}}(\tau) \geq K_{\text{гр}i}^{\text{мод}} \right.,$$

где $\tau_i^{\text{н.м}}$ – момент начала модернизации i -го элемента базовой станции.

Продолжительность модернизации будет больше момента начала модернизации i -го элемента базовой станции, а следовательно, она целесообразна тогда, когда значение необходимости модернизации i -го элемента, полученное по формуле (10), больше граничных значений модернизации, рассчитанных по формуле (11).

Пример. Рассмотрим базовую станцию, для которой нужно определить необходимость проведения модернизации. Предположим, что базовая станция работает в сети примерно 5 лет, т. е. фактическая наработка в сети в момент определения необходимости модернизации приблизительно 8 760 часов. После экспертного согласования получаем следующие оценки для соответствующих показателей (значения показателей оцениваются в диапазоне $[0, 1]$):

- показатель необходимости модернизации $K^{ц.з} = 0,2$ (по причине увеличения количества целевых задач); весовой коэффициент $\alpha_{ц.з} = 0,2$;
- показатель модернизации $K^{т.х} = 0,4$ (по причине ужесточения требований к техническим характеристикам); весовой коэффициент $\alpha_{т.х} = 0,3$;
- показатель модернизации $K^o = 0,5$ (по причине частых отказов, аварий и неисправностей); весовой коэффициент $\alpha_o = 0,25$;
- показатель модернизации $K^{э.з} = 0,1$ (по причине больших эксплуатационных затрат); весовой коэффициент $\alpha_{э.з} = 0,25$.

По формуле (10) находим суммарный показатель необходимости модернизации $\tilde{K}^{мод}(\tau) = 0,31$. Далее находим граничные значения модернизации каждого из показателей по формуле (12), с учетом того, что $\tau_{мод}^{ц.з}$ и $\tau_{мод}^{э.з}$ примерно = 240 ч, а $\tau_{мод}^{т.х}$ и $\tau_{мод}^o = 10$ ч, и находим суммарный показатель как сумму граничных значений отдельных показателей умноженных на весовые коэффициенты $K_{гр}^{мод} = 0,99$. Сравниваем его с суммарным показателем необходимости модернизации $\tilde{K}^{мод}(\tau)$, получаем $\tilde{K}^{мод}(\tau) \leq K_{гр}^{мод}$. Следовательно, проведение модернизации на данном этапе оценивания состояния базовой станции нецелесообразно.

Данная систематизированная совокупность действий (привлечение экспертов, задание и согласование нечетких оценок и весовых коэффициентов по каждому показателю, а также вычисление суммарного показателя необходимости модернизации) позволяет оценить состояние базовой станции. Дальнейшее сравнение суммарного показателя модернизации с заранее вычисленным граничным показателем дает возможность применять такой метод при определении необходимости модернизации базовых станций с учетом фактической наработки в сотовой сети. В рамках предложенного метода используются опыт и знания экспертной группы [12], применение метода на практике может помочь в определении необходимости модернизации для последующего принятия решений о том, какая именно модернизация требуется.

Заключение

В ходе исследования получены следующие результаты:

- выявлены основные факторы, обуславливающие сложности в процессе принятия решений при модернизации базовых станций;
- определены этапы решения задачи модернизации базовых станций;
- по рекомендациям экспертов определены показатели необходимости модернизации;
- на основе математического аппарата теории нечетких множеств предложены выражения, позволяющие определить степень необходимости модернизации по таким показателям, как показатель необходимости модернизации вследствие увеличения количества целевых задач; показатель модернизации по причине ужесточения требований к техническим характеристикам; показатель модернизации по причине частых отказов, аварий и неисправностей; показатель модернизации по причине больших эксплуатационных затрат;
- показано, что при оценивании остаточного ресурса базовых станций по четырем показателям и для расчета отдельных показателей, вследствие неопределенности, нужно использовать экспертные оценки;
- получены выражения нечетких оценок остаточного ресурса базовых станций по каждому из показателей, задаваемые в виде нечетких множеств с функциями принадлежности;
- сформулированы нечеткие оценки показателей необходимости модернизации и их суммарный показатель как сумма отдельных показателей необходимости модернизации;
- рассчитано суммарное граничное значение модернизации для его сравнения с суммарным показателем необходимости модернизации.

Предлагаемый метод и внедрение результатов исследований открывает возможности повышения эффективности управлением структурой и развитием сети оператора в процессе оказания услуг за счет более полного и точного учета сведений о состоянии отдельных элементов оборудования базовых станций и принятия решений по их модернизации. Привлекая к решению данного вопроса экспертов и используя теорию нечетких множеств, можно учесть как результаты точных измерений, так и нечеткие суждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микони С. В. Теория принятия управленческих решений. СПб.: Лань, 2015. 448 с.
2. *BigData*. Большие данные – большие возможности операторов связи. URL: <http://1234g.ru/novosti/bolshie-dannye-dlya-operatorov> (дата обращения: 4.04.2017).
3. Фомина Т. А. Анализ рынка операторов сотовой связи // Молодой ученый. 2014. № 18. С. 466–468.
4. Колоколов А. А., Леванова Т. В., Поздняков Ю. С. Разработка гибридного алгоритма дискретной оптимизации для решения задачи модернизации базовых станций // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 3. С. 74–90.
5. Витюк В. Л., Гузенко В. Л., Миронов Е. А., Севастьянов Д. А., Шестопалова О. Л. Модель для расчёта показателей качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сети связи // Фундаментальные исследования. 2015. № 5-3. С. 493–498.
6. Попов В. И., Скуднов В. А., Васильев А. С. Антенны базовых станций в сотовых сетях мобильной связи. Современное состояние и перспективы развития // Евразийский союз ученых. 2015. № 11-3 (20). С. 138–150.
7. Казаков Рус. Риф., Басотин Е. В., Миронов А. Н., Казаков Раф. Рам., Шестопалова О. Л. Анализ путей решения проблемы управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов // Фундаментальные исследования. 2016. № 6, ч. 2. С. 282–287.
8. Емельянов А. К. Оценка эффективности проектов развития инфраструктуры сетей сотовой связи // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 424.
9. Емельянов А. К. Пути повышения энергоэффективности подсистемы базовых станций сетей сотовой связи // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. № 4 (17). С. 1–12. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/30evn413.pdf>.
10. Ухоботов В. И. Избранные главы теории нечетких множеств. Челябинск: Изд-во Челябинск. гос. ун-та, 2011. 245 с.
11. Дорохов А. Н., Миронов А. Н., Шестопалова О. Л. Определение потребности в модернизации средств технического обеспечения распределенной системы сбора и обработки информации // Информация и космос. 2014. № 1. С. 9–12.
12. Сорокин А. А., Дмитриев В. Н., Ахмат Юссуф. Модель нечеткого вывода для поддержки и принятия решений в процессе формирования структуры инфокоммуникационной системы // Науч. вестн. Новосибирск. гос. техн. ун-та. 2016. Т. 62, № 1. С. 74–90. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-74-90.

Статья поступила в редакцию 16.05.2017

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шапошникова Наталья Ивановна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; магистрант кафедры связи; elvis-melvis@mail.ru.

Сорокин Александр Александрович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры связи; alsorokin2@list.ru.



N. I. Shaposhnikova, A. A. Sorokin

DEVELOPMENT OF VALUATION METHOD OF THE STATUS OF BASE STATIONS FOR DETERMINING THE NEED OF THEIR UPGRADING

Abstract. The article considers the problems of determining the need to modernize the base stations of the cellular network based on the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets. To improve the quality of telecommunications services the operators should send significant funding for upgrading the equipment of base stations. Modernization can improve and extend the functions of base stations to provide cellular communication, increase the reliability of the base station in operation and the functionality of its individual elements, and reduce the cost of maintenance and repair when working on a cellular network. The complexity in collecting information about the equipment condition is determined by a large number of factors that affect its operation, as well as the imperfection of obtaining and processing the information received. For a comprehensive assessment of the need for modernization, it is necessary to take into account a number of indicators. In the structure of indicators of the need for modernization, there were introduced the parameters reflecting both the degree of aging and obsolescence (the technical gap and the backlog in connection with the emergence of new technologies and standards). In the process of a problem solving, the basic stages of decision-making on modernization have been allocated. Decision-making on the need for modernization is based not only on measuring information that takes into account the decision-makers, but also on linguistic and verbal information. Therefore, to determine the need for upgrading the base stations, the theory of fuzzy sets is used, with the help of which experts can be attracted to this issue. They will be able to formulate additional fuzzy judgments that help to take into account not only measuring characteristics, but also poorly formalized fuzzy information. To do this, the main indicators of the modernization need have been defined, and fuzzy estimates of the need for modernization for all indicators and a set of indicators reflecting the need for upgrading the base stations have been formulated.

Key words: base stations, modernization, theory of fuzzy sets, experts, indicators of modernization, fuzzy information, fuzzy estimates, decision-making.

REFERENCES

1. Mikoni S. V. *Teoriia priniatiia upravlencheskikh reshenii* [Theory of management decisions making]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2015. 448 p.
2. *BigData. Bol'shie dannye – bol'shie vozmozhnosti operatorov svyazi* [BigData. Big data – big possibilities for telecommunication operators]. Available at: <http://1234g.ru/novosti/bolshie-dannye-dlya-operatorov> (accessed: 4.04.2017).
3. Fomina T. A. Analiz rynka operatorov sotovoi svyazi [Characteristics of the cellular operators market]. *Molodoi uchenyi*, 2014, no. 18, pp. 466-468.
4. Kolokolov A. A., Levanova T. V., Pozdnyakov Iu. S. Razrabotka gibridnogo algoritma diskretnoi optimizatsii dlia resheniia zadachi modernizatsii bazovykh stantsii [Development of a hybrid discrete optimization algorithm for solving the problem of the modernization of base stations]. *Dinamika sistem, mekhanizmov imashin*, 2014, no. 3, pp. 74-90.
5. Vitiuk V. L., Guzenko V. L., Mironov E. A., Sevast'ianov D. A., Shestopalova O. L. Model' dlia rascheta pokazatelei kachestva funktsionirovaniia sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniia i remonta seti svyazi [Model for calculating parameters of functioning quality of repair and maintenance of communications network]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2015, no. 5-3, pp. 493-498.
6. Popov V. I., Skudnov V. A., Vasil'ev A. S. Antenny bazovykh stantsii v sotovyykh setiakh mobil'noi svyazi. Sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia [Antennas of base stations in cellular networks of mobile communications]. *Evrasiiskii soiuz uchenykh*, 2015, no. 11-3 (20), pp. 138-150.
7. Kazakov Rus. Rif., Basotin E. V., Mironov A. N., Kazakov Raf. Ram., Shestopalova O. L. Analiz putei resheniia problemy upravleniia zhiznennym tsiklom nazemnogo oborudovaniia raketno-kosmicheskikh kompleksov [Analysis of ways of solving the problem of management space rocket complexes ground equipment life cycle]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2016, no. 6, part 2, pp. 282-287.
8. Emel'ianov A. K. Otsenka effektivnosti proektov razvitiia infrastruktury setei sotovoi svyazi [Effectiveness estimation of cellular network modernization and deployment projects]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2013, no. 5, p. 424.

9. Emel'ianov A. K. Puti povysheniia energoeffektivnosti podsystemy bazovykh stantsii setei sotovoi svyazi [Means of increasing power efficiency of the base stations subsystem in the mobile communications]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2013, no. 4 (17), pp. 1-12. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/30evn413.pdf>.
10. Ukhobotov V. I. *Izbrannye glavy teorii nechetkikh mnozhestv* [Favorite chapters of fuzzy theory]. Chelyabinsk, Izd-vo Cheliabinskogo gosudarstvennogo universiteta, 2011. 245 p.
11. Dorokhov A. N., Mironov A. N., Shestopalova O. L. Opredelenie potrebnosti v modernizatsii sredstv tekhnicheskogo obespecheniia raspredelennoi sistemy sbora i obrabotki informatsii [Determining the need in the hardware modernization of distributed system of data collecting and processing]. *Informatsiia i kosmos*, 2014, no. 1, pp. 9-12.
12. Sorokin A. A., Dmitriev V. N., Akhmat Iussuf. Model' nechetkogo vyvoda dlia podderzhki i priniatiia reshenii v protsesse formirovaniia struktury infokommunikatsionnoi sistemy [Fuzzy implication model for decision taking and support in the process of developing an info communication system structure]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, vol. 62, no. 1, pp. 74-90. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-74-90.

The article submitted to the editors 16.05.2017

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shaposhnikova Natalya Ivanovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Master's Degree Student of the Department of Communication; elvis-melvis@mail.ru.

Sorokin Alexandr Aleksandrovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Communication; alsorokin2@list.ru.

