

Л. И. НЕФЕДОВ, М. В. ШЕВЧЕНКО

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВ КОММУТАЦИИ, СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РЕГИОНАЛЬНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Рассматривается четырехуровневая структура системы мониторинга регионального газоснабжения и особенности ее топологического синтеза. Результаты разработки и исследований могут быть использованы при структурно-топологическом синтезе системы мониторинга регионального газоснабжения, поскольку позволяют определить места размещения для устройств коммутации, сбора и передачи информации. Предложенные критерии и ограничения для реализации метода позволяют повысить эффективность принятия решений за счет снижения затрат на топологический синтез.

Ключевые слова: метод, топология, синтез, мониторинг, региональное газоснабжение.

Введение. В настоящий момент региональные системы газоснабжения отличаются большой рассредоточенностью, что позволяет их отнести к территориально – распределенным системам обслуживания. Соответственно, современные системы контроля, мониторинга и управления региональных систем газоснабжения также относятся к этому типу. Сейчас на первый план в проблематике газотранспортного комплекса выходят системы мониторинга, поскольку существующие системы автоматизированного контроля и управления устарели и не справляются со своими функциями в полной мере. Мониторинг сам по себе – это длительный процесс наблюдения за объектом, который включает в себя периодическое снятие интересующих параметров, их регистрацию, хранение и анализ [1, 2] и представляет собой комплекс мероприятий, который всегда растянут во времени и позволяет изучить свойства объекта в динамике, понять направления его развития, выявить скрытые проблемы. Другое определение говорит о том, что *мониторинг* – это постоянное наблюдение за каким-либо процессом с целью выявления его соответствия желаемому результату или первоначальным предположениям [3]. Можно утверждать, что системы мониторинга регионального газоснабжения в рамках газотранспортной системы Украины приобретают все большее значение.

Анализ последних исследований. Проблеме синтеза территориально распределенных систем обслуживания разной направленности посвящен ряд работ [4 – 6], и исследования продолжают проводиться. Все авторы сходятся на том, что в процессе синтеза следует выделить два основных этапа: структурно-топологической и параметрической синтез.

В связи с многоуровневостью структуры системы мониторинга регионального газоснабжения (СМРГ) является необходимость в определении мест возможного размещения средств сбора и передачи информации, а также определения топологий связей для присоединяемых средств измерений [7].

В работе [8] решается задача об оптимизация количества и местоположения распределительных центров транспортно-складской системы, которая также относится к территориально распределенным системам обслуживания, однако к совсем другому их типу [5].

Работа [9] посвящена решению однокритериальной минисуммной задаче размещения центра обслуживания, что не позволяет учесть все особенности структурно-топологического синтеза СМРГ [7], поскольку при решении этой задачи необходимо учитывать иерархичность системы.

Исследование [10] посвящено разработке модели определения мест возможного размещения коммутирующих устройств, однако для системы мониторинга они находятся на более высоком уровне иерархии, соответственно решение задачи будет иметь свои особенности, связанные с их территориальным размещением.

Учитывая сказанное выше, актуальной задачей является разработка метода определения мест возможного размещения устройств сбора и передачи информации и вариантов топологии при синтезе системы мониторинга регионального газоснабжения.

Постановка цели и задач. Целью статьи является повышение эффективности функционирования системы мониторинга регионального газоснабжения за счёт разработки метода определения мест размещения устройств коммутации, сбора и передачи информации и вариантов топологии, что позволит учитывать особенность СМРГ как четырехуровневой структуры и обеспечит снижение затрат на топологический синтез при присоединении средств измерений.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать метод определения мест возможного размещения устройств сбора и передачи информации и вариантов топологии;
- выбрать основные критерии и ограничения;
- реализовать метод определения мест возможного размещения устройств сбора и передачи информации и вариантов топологии на конкретном примере.

Описание метода. Одним из параметров, который оптимизируется в задачах структурного синтеза, является

ся количество структурных элементов (СЭ), образующих СМРГ. Огибающая зависимости показателей эффективности или стоимости СМРГ являются, как правило, одноэкстремальной функцией на заданном интервале изменения количества СЭ, входящих в ее состав. Формально задача сводится к отысканию экстремума некоторой функции. Характерной чертой подобных задач является то, что трудоемкость определения значений функции в каждой из точек существенно различается [5]. Так, трудоемкость алгоритма направленного перебора локальных экстремумов функции цели пропорциональна числу мест возможного размещения устройств сбора и передачи информации (УСПИ) – I^* по m , где m – количество УСПИ. Максимум трудоемкости находится приблизительно при $m = I^* / 2$. Мощность современной вычислительной техники позволяет получать точные решения методом направленного перебора при $I^* = 25 - 30$ и $m = 5 - 8$. Расчеты показывают, что оптимальное значение числа УСПИ $m^0 \ll I^*$, а для радиально-узловых структур $m^0 \ll I^* / 2$. Это делает неэффективным использование для поиска экстремума методов направленного перебора, что не исключают поиск на участке с пиковой трудоемкостью. Малоэффективно и использование последовательного анализа, который предполагает определение значений функции для $m = 1, 2, \dots, m^0 + 1$.

Для повышения эффективности алгоритмов, использующих метод направленного перебора, где предлагается предварительно оценивать количество СЭ. Оценки позволят сократить область поиска решений путем задания некоторого интервала поиска [5, 10].

Оценки первого рода определяют нижнюю и верхнюю границы количества УСПИ. В простейшем случае такие оценки отражают соотношение между суммарным весом обслуживаемых объектов и минимально или максимально допустимой мощностью УСПИ (узлов, устройств):

$$m_{\text{inf}} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{e'} \right\rceil ; m_{\text{sup}} = \left\lfloor \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{e''} \right\rfloor, \tag{1}$$

где $\lceil \cdot \rceil$, $\lfloor \cdot \rfloor$ – соответственно операторы определения ближайшего целого, не менее заданного, и выделения целой части числа; e' , e'' – максимально и минимально допустимые мощности СЭ; e_i – вес i -го объекта.

Поиск экстремума на интервале $[m_{\text{inf}}, m_{\text{sup}}]$ может осуществляться известными методами с учетом их трудоемкости. При решении задачи структурно-топологической оптимизации, если нет дополнительной информации о значении m^0 , в качестве начального m_n целесообразно выбирать значения, которое находится внутри (в окрестностях середины) выделенного интервала. С ростом вычислительной сложности алгоритмов рациональное значение m_n будет смещаться к границам интервала. Если желанной целью является минимизация средней трудоемкости поиска m^0 , то сдвиг будет осуществляться в направлении m_{inf} . При использовании алгоритмов размещения УСПИ высокой вычислительной сложности (комбинаторного типа) в качестве m_n целесообразно выбирать m_{sup} . Примером может служить алгоритм размещения, для которого трудоемкость определения оптимального значения функции при некотором значении m существенно превосходит суммарную трудоемкость определения значений функции во всех предыдущих точках $m = m - 1, m - 2, \dots, m_{\text{inf}}$. Если же целью является минимизация максимальной трудоемкости поиска m^0 на выделенном интервале, то в качестве начального m_n стоит выбирать значения, при котором функция трудоемкости поиска решения достигает половины (с некоторой точностью) значения максимума. В этом случае m_n смещается в сторону m_{sup} тем больше, чем выше временная сложность используемого алгоритма. Предельное значение m_n при этом не превышает $m_{\text{sup}} - 1$ [10].

Оценки второго рода позволяют получать с некоторой точностью оптимальное количество УСПИ. В основе схем вычисления таких оценок лежит процедура определения оптимальных подмножеств обслуживаемых абонентов. Оптимальность подмножеств здесь понимается в том смысле, что для заданного местоположения УСПИ относительно пунктов контроля, с установленными в них коммутирующими устройствами (КУ) (рис. 1) и обслуживаемых абонентов, удельная стоимость обслуживания выделенных подмножеств абонентов минимальна. Такие подмножества формируются отдельно для каждого места возможного размещения УСПИ.

Для решения задачи определения мест возможного размещения УСПИ введем следующие обозначения:

- подмножество точек возможного размещения УСПИ $T\text{SI}Uch = \{T\text{SI}Uch_i\}$, где $i = \overline{1, i'}$, i' – номер точки сбора и передачи информации каждого из участков системы мониторинга;
- подмножество точек контроля, в которых проводятся измерения $TKU\text{U}ch = \{TKU\text{U}ch_g\}$, $g = \overline{1, g^n}$; g^n – номер точки контроля (ТК) на n -ом участке региональной системы газоснабжения;
- подмножество средств измерений, установленных в точках контроля $SIU\text{ch} = \{SIU\text{ch}_s\}$, $s^* = \overline{1, s^g}$; s^g – номер средства измерений (СИ), установленного в точке g на n -ом участке региональной системы газоснабжения;
- подмножество путей соединения средств измерений с УСПИ, а УСПИ с КУ

$$I^{gi} = \{k; k = \overline{1, k^{gi}}\}; i \in TSIUch; g \in TKUUch.$$

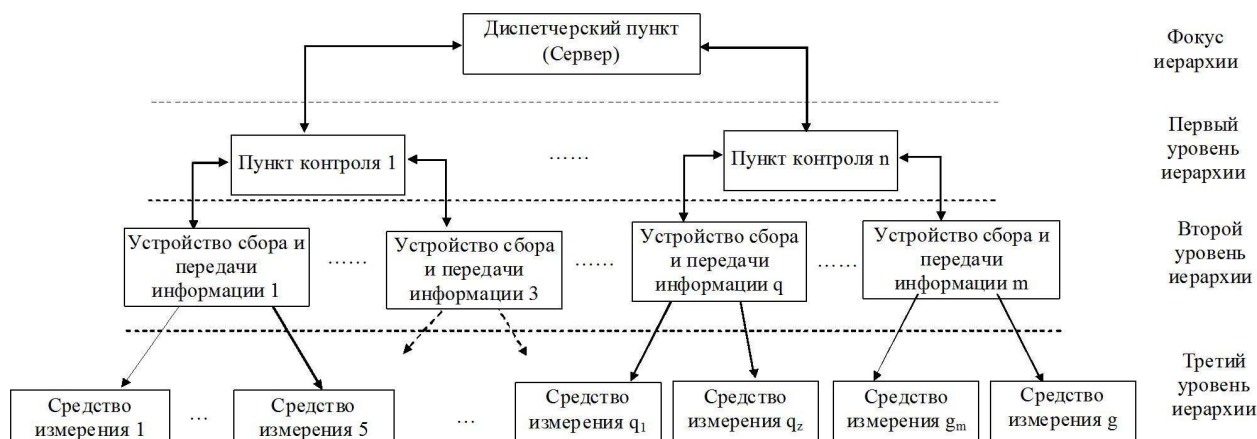


Рис. 1 – Иерархическая структура системы мониторинга.

При этом учитываем, что необходимо решать задачу на дискретной области решений, поскольку места установки средств измерений и точки контроля определены на этапе организации мониторинга [11].

Метод определения мест возможного размещения устройств сбора и передачи информации на фиксированном участке СМРГ может быть описан следующим образом.

1. В качестве начального значения количества УСПИ можно взять:

$$m_H = m_{inf} = \left\lceil \frac{s'+1}{r} \right\rceil, \tag{2}$$

где r – это количество портов УСПИ для подключения СИ.

2. В качестве конечного значения количества УСПИ можно взять

$$m_K = m_{sup} = \left\lfloor \frac{s'+1}{2} \right\rfloor. \tag{3}$$

3. Условно назначаем, что УСПИ устанавливается на месте одной из точек контроля (ТК) и для первой выбранной точки установки УСПИ рассчитываем величину

$$C_{m_H i} = \min \frac{C_i x_i + \sum_{s=1}^{s^g} \sum_{g=1}^{i'} \sum_{k=1}^{k^{gi}} C_{s g i}^k y_{s g i}^k}{\sum_{s=1}^{s^g} \sum_{g=1}^{i'} \sum_{k=1}^{k^{gi}} P_s y_{s g i}^k}, \tag{4}$$

где C_i – это интервальная оценка стоимости УСПИ, установленного в точке i ; $x_i = 1$, если в i -м пункте установлено УСПИ, $x_i = 0$ в противном случае; $C_{s g i}^k$ – интервальная оценка стоимости подключения s -го средства измерений, установленного в g -ой точке к УСПИ в i -ой точке, включая интервальные оценки стоимости линии связи по k -му пути; P_s – число измеряемых показателей s -м СИ, $P_s = \overline{1, 4}$; $y_{s g i}^k = 1$, если рассматриваем соединение линией связи средств измерений в точке g с i -ой точкой k -м путем, $y_{s g i}^k = 0$ в противном случае.

4. К УСПИ в i -й точке присоединяем ближайшего абонента с выбором кратчайшего пути соединения, затем следующего абонента с кратчайшим путем соединения, и так до тех пор, пока будет уменьшаться значение критерия (4). Минимальное значение критерия (4) определяет оптимальное подмножество абонентов и путей их соединения с УСПИ в точке i с учетом следующих ограничений:

– каждая линия связи должна быть обеспечена только одним вариантом пути соединения,

$$\sum_{k=1}^{k^{gi}} y_{s g i}^k = 1; g = \overline{1, g^n}; i = \overline{1, i'}; \tag{5}$$

– к каждому УСПИ должно быть присоединено не менее двух СИ и не более максимального количества портов УСПИ – r ,

$$2 \leq \sum_{s=1}^{s^g} \sum_{g=1}^{i'} \sum_{k=1}^{k^{gi}} y_{s g i}^k \leq r; i = \overline{1, i'}; \tag{6}$$

– каждое СИ в каждой точке контроля должно быть подключено только к одному УСПИ,

$$\sum_{i=1}^{i'} \sum_{k=1}^{k^{gi}} y_{gi}^k = 1; \quad g = \overline{1, i'}; \quad s = \overline{1, s^g}; \quad (7)$$

– длина каждой линии связи не должна превышать критической длины L_{KP} ,

$$L_{gi}^k x_{gi}^k < L_{KP}; \quad \forall y_{gi}^k = 1. \quad (8)$$

5. Затем из множества мест возможного размещения УСПИ изымается точка i , а также присоединенные к ней абоненты $TKUUCH_g$, то есть $I^{II} = TSIUCH_i \setminus TKUUCH_g$.

6. Затем определяется место размещения второго УСПИ на множестве I^{II} с выбором оптимального подмножества СИ и оптимальных путей их присоединения по критерию (4), и так делается до тех пор, пока не разместим УСПИ в m_H точках. Перебрав все соединения с i' по m_H выбирают вариант, дающий минимальное значение критерия:

$$C^0 = \min \sum_{i=1}^{i'} \left(\frac{C_i x_i + \sum_{s=1}^{s^g} \sum_{g=1}^{i'} \sum_{k=1}^{k^{gi}} C_{sgi}^k y_{sgi}^k}{\sum_{s=1}^{s^g} \sum_{g=1}^{i'} \sum_{k=1}^{k^{gi}} P_s y_{sgi}^k} \right). \quad (9)$$

7. Затем проводится размещения УСПИ в $m_H + 1$ точках, как описано выше. Это делается до тех пор, пока на каком-то шаге не получат увеличение критерия (9).

Тогда нужно вернуться к предыдущему варианту размещения УСПИ, но с количеством УСПИ на единицу меньше.

В результате решения этой задачи получаем:

– множество индексов размещения УСПИ $I^{II} = \{i; i = \overline{1, i'} \forall \bar{x}_i = 1\}$;

– подмножества СИ в точках контроля, присоединяемых к каждому УСПИ

$$G_g^{SI} = \{g; g = \overline{1, g^n}; i = \overline{1, i'}; g \neq i \forall y_{gi}^k = 1; s = \overline{1, s^g}\};$$

– пути соединения точек g и i $I^{gi} = \{k; k = \overline{1, k^{gi}}; i \in TSIUCH'; g \in TKUUCH_g^{SI}; g \neq i \forall y_{gi}^k = 1\}$.

Аналогично изложенному проводится размещение коммутирующих устройств в пунктах контроля на первом уровне приведенной на рис. 1 иерархии. Только здесь для размещения КУ необходимо учитывать интервальную оценку стоимости КУ, а также то, что все КУ присоединяются к серверу, который находится в фокусе иерархии.

Результаты применения метода. В качестве примера был рассмотрен и промоделирован участок региональной системы газоснабжения низкого давления (рис. 2), для которого был проведен синтез системы мониторинга и решалась задача о расположении УСПИ.

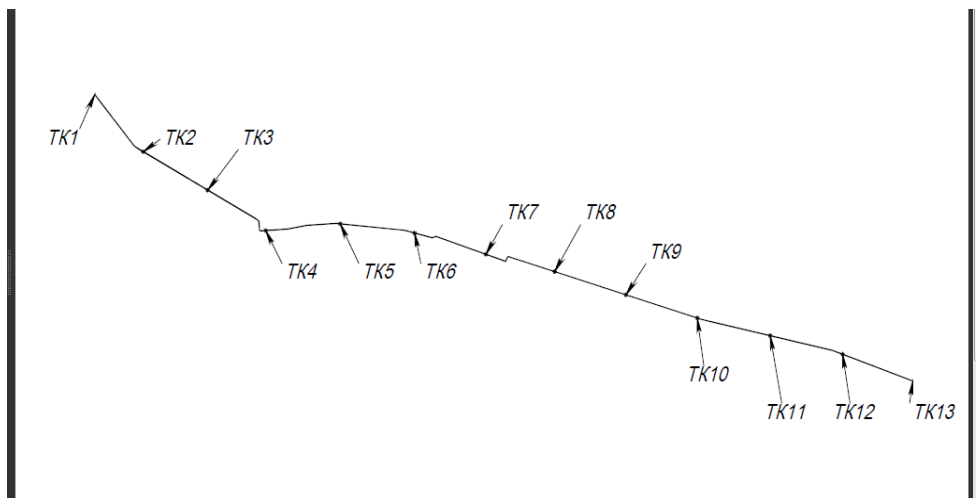


Рис. 2 – Пример участка региональной системы газоснабжения.

За счет использования представленного метода, критериев, ограничений и компьютерной технологии были

получены таблицы расстояний и определены места размещения и количество УСПИ для участка (табл. 1), где серым цветом выделен рациональный вариант количества УСПИ на участке (три), допустимые точки их размещения и списки подключаемых к ним средств измерений.

Таблица 1 – Сводная таблица расстояний для участка низкого давления

Количество УСПИ на участке низкого давления	Интервал допустимых точек установки УСПИ	Рациональные точки установки УСПИ	Суммарная длина линий связи, м
1	TK1-TK13	TK7	6931
2	1-ый вариант TK1-TK6; TK7-TK13	TK3, TK4+TK10	3467
	2-ой вариант TK1-TK7; TK8-TK13	TK4+TK10,TK11	3467
3	1-ый вариант TK1-TK4; TK5-TK8; TK9-TK13	TK2, TK3+TK6, TK7+TK11	2313
	2-ой вариант TK1-TK4; TK5-TK9; TK10-TK13	TK2, TK3+ TK7 + TK11,TK12	2313
	3-ий вариант TK1-TK5; TK6-TK9; TK10-TK13	TK3 +TK7, TK8+ TK11,TK12	2313

Для иллюстрации проведенных расчетов приведем графическую модель (рис. 3), на которой наглядно в виде графа показаны варианты места установки трех УСПИ на участке низкого давления.

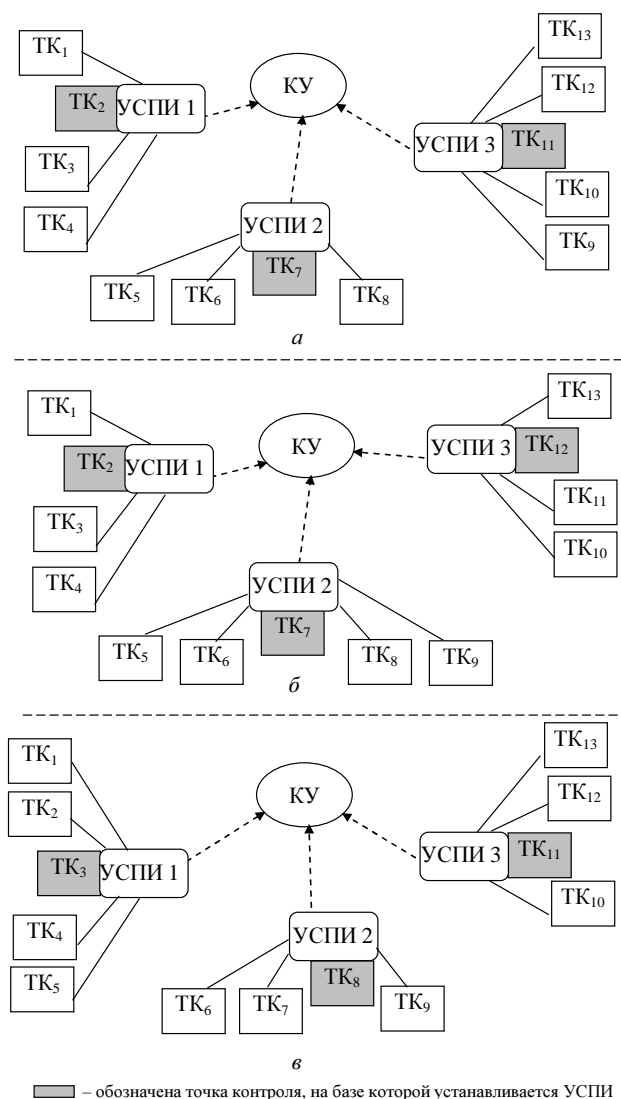


Рис. 3 – Графическое представление структурно-топологической организации СМРГ на участке низкого давления: а – 1-й вариант; б – 2-й вариант; в – 3-й вариант.

Поскольку расстояние между средствами измерений в одной точке контроля достаточно мало, при выборе места установки УСПИ рассматривалось расстояние от точки контроля до пункта с УСПИ, но с учетом ограничения (7). То есть средства измерений, которые находятся в одной точке контроля, не должны быть присоединены к разным пунктам i .

Стоимость самого УСПИ при использовании предложенного метода оценивать несколько сложно, и лицо, принимающее решения, оперирует, в этом случае, нечеткими исходными данными, поскольку ценовая политика привязана к курсу иностранной валюты, следовательно, возможны резкие изменения экономических условий. Однако для задач малой размерности (с количеством точек контроля до 8), когда затрачиваемое на решение время относительно мало, найденный результат действительно является оптимальным.

Для решения задач такого класса используют следующие методы: *метод направленного перебора* для задач небольшой размерности; *метод случайного поиска* для задач большой размерности. Для частных случаев, когда количество абонентов системы не превышает десяти, возможно использование *метода полного перебора*.

Перспективы дальнейших исследований. Авторы считают перспективными пути исследования, связанные с разработкой методов для синтеза СМРГ, должны быть направлены на применение и развитие модели приведенной в [10] для системы мониторинга регионального газоснабжения с учетом ее четырехуровневой структуры.

Следует также заметить, что разработанный метод, в отличие от существующих, позволяет учесть нечеткость исходных данных и получить оптимистическое и пессимистическое решения, а также и по критерию оптимизма-пессимизма Гурвица [1], и выбрать рациональный вариант в зависимости от конкретной ситуации.

Выводы. Таким образом, в данной работе предложен метод определения мест возможного размещения УСПИ и вариантов топологии присоединения средств измерений к УСПИ при синтезе системы мониторинга регионального газоснабжения. На основе проведенных расчетов с использованием предложенного метода можно отметить, что при размещении трёх УСПИ на участке низкого давления протяженность линий связи была уменьшена на 33,3% по сравнению с размещением двух УСПИ, что позволяет снизить затраты на линии связи.

Список литературы: 1. *Shevchenko M. V.* The generalized model of organization and planning of regional gas supply monitoring // *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi.* – 2015. – 3 (47). – P. 52 – 62. 2. Monitoring and Evaluation and Management Information Systems (MIS)/Module 4. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.pathfinder.org/publications-tools/pdfs/Strengthening-You-Organization-A-Series-of-Modules-and-Reference-Materials-for-NGO-and-CBO-Managers-and-Policy-Makers-Monitoring-and-Evaluation-and-MIS.pdf>. – Дата звертання: 24 березня 2016. 3. *Фатхутдинов Р. А.* Организация производства. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 672 с. 4. *Биньковская А. Б.* Информационное обеспечение синтеза компьютерной сети офисов транспортных систем // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – №1. – 2014. – С. 78–82. 5. *Петров Э. Г., Пискалова В. П., Бескоровайный В. В.* Территориально распределенные системы обслуживания. – К.: «Техніка», 1992. – 208 с. 6. *Бескоровайный В. В.* Синтез топологии территориально распределенных систем с кольцевыми структурами // Радиоэлектроника. Информатика. Управління. – №1 (11). – 2004. – С. 50 – 54. 7. *Нефедов Л. И., Шевченко М. В., Кудырко О. Н.* Модель структурно-топологического синтеза системы мониторинга качества добычи газа // Научный журнал «ScienceRise». – 2014. – №2 (2). – С. 61 – 67. 8. *Бескоровайный В. В., Имангулова З. А., Петрова А. И.* Оптимизация количества и местоположения распределительных центров транспортно-складской системы // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – №5/3 (59). – 2012. – С. 24 – 28. 9. *Розенберг И. Н.* Однокритериальная минисуммная задача размещения центра обслуживания с лингвистическими переменными // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – №2 (31). – 2003. – С. 56 – 63. 10. *Нефедов Л. И., Шевченко М. В., Петренко Ю. А., Биньковська А. Б.* Модель визначення місць розміщення комутуючих пристроїв та варіантів топології при синтезі КМ // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №5/2 (47). – С. 33 – 36. 11. *Шевченко М. В.* Частные модели организации мониторинга регионального газоснабжения // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 6/2 (26). – С. 40 – 46.

References: 1. *Shevchenko, M. V.* The generalized model of organization and planning of regional gas supply monitoring. *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi.* 2015, no. 3 (47), pp. 52–62. 2. Module 4. Monitoring and Evaluation and Management Information Systems (MIS). Available at: <http://www.pathfinder.org/publications-tools/pdfs/Strengthening-You-Organization-A-Series-of-Modules-and-Reference-Materials-for-NGO-and-CBO-Managers-and-Policy-Makers-Monitoring-and-Evaluation-and-MIS.pdf>. (accessed 24.03.2016). 3. *Fatkhutdinov, R. A.* Organizatsiya proizvodstva [Organization of production]. Moscow, INFRA-M. Publ., 2002. 672 p. 4. *Binkovskaya, A. B.* Informatsionnoe obespechenie sinteza kompyuternoy seti ofisov transportnykh sistem [Information support of synthesis of transport systems office computer network]. *Informatsiyno-keruyuchi sistemi na zaliznichnomu transporti* [Information-control systems for railway transport]. 2014, no. 1, pp. 78–82. 5. *Petrov, Je. G., Piskalova, V. P. and Beskorovajnyj, V. V.* Territorial'no raspredelennye sistemy obsluzhivaniya [Territorially distributed service systems]. Kiev, "Tehnika" Publ., 1992. 208 p. 6. *Beskorovajnyj, V. V.* Sintez topologii territorial'no raspredelennykh sistem s kol'cevymi strukturami [Synthesis of topology of territorially distributed systems with ring structures]. *Radioelektronika. Informatika. Upravlinnja* [Radioelectronics. Informatics. Control]. 2004, no. 1 (11), pp. 50–54. 7. *Nefedov, L. I., Shevchenko, M. V. and Kudyrko, O. N.* Model' strukturo-topologicheskogo sinteza sistemy monitoringa kachestva dobychi gaza [Model of structural and topological synthesis of gas extraction quality monitoring system]. *International scientific Journal "ScienceRise"*. 2014, no. 2 (2), pp. 61–67. 8. *Beskorovajnyj, V. V., Imangulova, Z. A., and Petrova, A. I.* Optimizatsiya kolichstva i mestopolozheniya raspredelitel'nykh centrov transportno-skladskoj sistemy [Optimization of amount and location of distributive centers of transport-warehouse system] *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij* [East European Journal of Advances Technologies]. 2012, no. 5/3 (59), pp. 24–28. 9. *Rozenberg, I. N.* Odnokriterial'naja minisummnaja zadacha razmeshheniya centra obsluzhivaniya s lingvisticheskimi peremennymi [One-criterion problem of sum minimization for placing service center with linguistic variables]. *Izvestiya Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki* [Communications of South Federal University. Engineering Sciences]. 2003, no. 2 (31), pp. 56–63. 10. *Nefodov, L. I., Shevchenko, M. V., Petrenko, Ju. A. and Bin'kovsk'ka, A. B.* Model' viznachennya mist' rozmischennya komutuyuchikh pristroyiv ta variantiv topologiyi pry sintezi KM [Model of placing commutation devices and determining topology options in the synthesis of CN]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij* [East European Journal of Advances Technologies]. 2010, no. 5/2 (47), pp. 33–36. 11. *Shevchenko, M. V.* Chastnye modeli organizatsii monitoringa regional'nogo gazosnabzheniya [Local models of organizing regional gas supply monitoring]. *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva* [Technological audit and production reserves]. 2015, no. 6/2 (26), pp. 40–46.

Поступила (received) 03.04.2016

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Нефьодов Леонід Іванович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, зав. каф. АКІТ, м. Харків; тел.: (057) 738-77-92; e-mail: nefedovli@rambler.ru.

Нефедов Леонид Иванович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, зав. каф. АКІТ, г. Харьков; тел.: (057) 738-77-92; e-mail: nefedovli@rambler.ru.

Nefedov Leonid Ivanovich – Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkov; tel.: (057) 738-77-92; e-mail: nefedovli@rambler.ru.

Шевченко Марія Валеріївна – Кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків; тел.: (057) 738-77-92; e-mail: BECHA_MV@mail.ru.

Шевченко Мария Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков; тел.: (057) 738-77-92; e-mail: BECHA_MV@mail.ru.

Shevchenko Mariia Valer'evna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkov; tel.: (057) 738-77-92; e-mail: BECHA_MV@mail.ru.

УДК 629.429.3:621.313

О. М. ПЕТРЕНКО, Б. Г. ЛЮБАРСЬКИЙ, М. Л. ГЛЄБОВА

АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ РІШЕННЯ РІВНЯННЯ ГАМІЛЬТОНА-ЯКОБІ-БЕЛЛМАНА

У даній роботі розроблено алгоритм рішення рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана для задачі руху електрорухомого складу на ділянці шляху із заданим профілем і графіком руху, що дозволяє створити експертну систему управління рухом. Особливостями цього алгоритму є застосування штрафних функцій для опису обмежень, що накладаються графіком руху: досягнення потягом кінцевого пункту за заданий час руху, обмеження швидкості на ділянках шляху.

Ключові слова: експертні системи ведення транспортного засобу, алгоритм рішення рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана, штрафні функції, опір руху, витрати енергії при русі електрорухомого складу.

Вступ. Для вирішення задачі оптимального руху нами пропонується будівництво експертної системи ведення електрорухомого складу (ЕРС) на ділянці шляху, яка дозволяє визначити оптимальний закон зміни режимів роботи рухомого складу на основі критерію витрати енергії при заданій середній швидкості руху.

На основі експертних систем ведення транспортного засобу на ділянці шляху при різних середніх швидкостях руху вибирається оптимальна середня швидкість руху на основі комплексного критерію ефективності, запропонованого і обґрунтованого в роботах [1 – 4].

Аналіз останніх досліджень. Теорія оптимального управління є в нашій країні галуззю науки, що розвивається не менш інтенсивно, ніж раніше. Оптимальне управління є потужним інструментом, який дає можливість вирішувати складні завдання управління, у тому числі й керування рухом РС на залізничному транспорті.

У роботах [5 – 9] автор стверджує, що хоча задачі у безперервній часовій області можуть бути вирішені за допомогою традиційних методів, таких як *метод Лагранжа* і *нелінійного програмування*, але, якщо проблеми, сформульовані в дискретній формі шляхом ділення часу (чи відстані) на кінцеве число інтервалів, моделі реального часу (чи простору) можливо використати в якості експертної системи управління рухом ЕРС. Для даного завдання, часова область розділена на кінцеве число інтервалів часу.

Загальною проблемою стохастичного управління є складність рішення і експоненціальна залежність зростання потреби у кількості пам'яті і обчислювального часу. Причина в тому, що стан об'єкту дослідження має бути представлений у вигляді дискретної області координат, що і призводить до експоненціального зростання кількості розрахункових точок, що вимагає експоненціально наростаючу кількість обчислень [6]. В цьому випадку *рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана*, а конкретніше – *зворотний підхід Беллмана*, дозволяє отримати рішення при прийнятній кількості обчислень. Зворотний підхід Беллмана є методом, який вирішує дискретне перетворення систем реального часу [8]. Оскільки вирішується задача у своїй основі представляє завдання оптимального управління у безперервній часовій області, необхідно представити формулювання загальної задачі оптимального управління в реальному часі.

Постановка завдання. Розробити алгоритм синтезу експертної системи управління рухом електрорухомого складу на основі вирішення рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана.