

УДК 658.62.018:004.9

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТА ГАЗА

К.т.н. М.В. Шевченко, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Разработана обобщенная модель организации мониторинга транспорта газа в системе регионального газоснабжения, которая позволяет выбрать оптимальное решение с единых системных позиций. Предложены основные критерии и ограничения для решения задачи организации и планирования.

Розроблено узагальнену модель організації моніторингу транспорту газу в системі регіонального газопостачання, яка дозволяє обрати оптимальне рішення з єдиних системних позицій. Запропоновані основні критерії та обмеження для вирішення задачі організації та планування.

Generalized model of organization of the monitoring gas transport in regional system suppliers, which allows you to select the optimum solution with a unified system positions has been developed. Basic criteria and constraints to solve the problem of organization and planning have been proposed.

Ключевые слова: мониторинг, модель, газоснабжение, организация, транспорт газа.

Введение

В настоящий момент природный и сжиженный газ является одним из наиболее перспективных видов топлива, поскольку использование газа улучшает условия труда и способствует росту производительности, позволяет осуществить принципиально новые технологические процессы [1].

Газ употребляется как топливо в промышленности и в быту, таким образом, использование природных горючих газов имеет огромное значение для развития экономики Украины. Использование газа как топлива имеет большое санитарное значение – газ сгорает в воздухе без дыма, не дает копоти и не загрязняет атмосферу городов. Применение газа для технологических целей цементной, металлургической, стекльно-фарфоровой и других видов промышленности ведет к значительному повышению производительности труда и улучшению качества продукции. Для снабжения предприятий природным газом используется разветвленная сеть трубопроводов, которая используется для транспорта газа в рамках единой системы регионального газоснабжения.

Постановка проблемы

Современная система регионального газоснабжения (СРГ), включающая в себя как магистральные, так и городские газовые сети высокого, среднего и низкого давления, представляет собой сложную многоуровневую сеть, непрерывно развивающуюся как в пространстве, так и во времени [1] и обеспечивает транспорт газа от мест добычи до потребителей.

В [1,2] рассматриваются современные системы транспорта газа, обеспечивающие газоснабжение

природным газом городов, областей, поселков и промышленных предприятий, при этом сложный взаимосвязанный комплекс газопроводов разных давлений, газораспределительных станций (ГРС), промежуточных регуляторных пунктов (ПРП), газорегуляторных пунктов (ГРП) и газорегуляторных установок (ГРУ), оборудования сетей, систем очистки и одоризации газа, систем связи и телеуправления, приборов учета потребления природного газа и определяют структуру СРГ. Источником газоснабжения потребителей может быть магистральный газопровод от месторождения природного газа или газовый завод (при получении искусственных газов). Газопроводы, прокладываемые в городах и населенных пунктах, по давлению газа разделяют на газопроводы низкого, среднего и высокого давления [1].

В настоящий момент, как немаловажный этап в управлении и контроле систем, можно выделить мониторинг такого типа технологических процессов. Однако вопросы, связанные с синтезом систем мониторинга вообще, и их организации и планирования в частности, в применении к проблематике транспорта газа и использованию систем регионального газоснабжения, все еще находятся в стадии разработки и исследования.

Анализ последних исследований и публикаций и анализ нерешенных задач

В [2] приведено обоснование места предприятий региональной системы газоснабжения в структуре народного хозяйства Украины, определены особенности функционирования и сформулирована миссия таких предприятий, а также определены факторы, влияющие на затраты. В этой работе определены характеристики предприятий газоснабжения по признакам классификации.

В патентах [3,4] приведены изобретения, первое из которых может быть использовано для управления изменением свойств в результате старения трубопроводов, выполненных из железобетона, с доступной наружной поверхностью, при этом сам процесс мониторинга разделяют на статический и динамический. Второе изобретение относится к средствам диагностики трубопроводов и может быть использовано для комплексного непрерывного мониторинга технического состояния магистральных трубопроводов. Предложенные в этих работах способы, методы и системы мониторинга не отображают особенностей синтеза систем такого типа, а также не учитывают особенностей транспорта газа в региональной системе газоснабжения.

Следовательно, основное внимание в существующих на данный момент работах уделяется мониторингу состояния самого трубопровода, в частности, и системе регионального газоснабжения в общем, и оценке их с точки зрения подверженности коррозионным явлениям; а автоматизированному

проектированию и созданию информационных технологий систем мониторинга транспорта газа, в том числе и проблематике организации мониторинга, практически не уделяется внимание.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является повышение эффективности системы регионального газоснабжения за счет разработки обобщенной модели организации мониторинга транспорта газа и, в дальнейшем, синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- исследовать и проанализировать особенности системы регионального газоснабжения;
- определить исходные данные для организации системы мониторинга регионального газоснабжения (СМРГ);
- выделить множество возможных участков и точек контроля на каждом из участков СМРГ;
- определить множество возможных показателей мониторинга;
- определить методы и средства мониторинга.

Для решения поставленных задач предлагается разработать обобщенную модель организации мониторинга транспорта газа, которая будет охватывать весь спектр поставленных вопросов, и позволит принимать решения по организации процесса мониторинга транспорта газа комплексно.

Обобщенная модель организации

Добыча и транспорт газа по магистральным газопроводам не могут в точности соответствовать газопотреблению. Обычно максимальная пропускная способность газопровода должна обеспечивать среднегодовую потребность в газе [1].

Газ с промысла в магистральный газопровод подается в основном равномерно, в то время как газопотребление происходит неравномерно. Колебания расхода газа наблюдаются в течение суток, по дням недели, месяцам и сезонам года. Чередуются периоды минимального и максимального газопотребления: ночные часы с минимальным расходом газа и дневные часы с увеличением по сравнению со среднесуточным расходом (суточная неравномерность); воскресные дни с пониженным расходом против остальных дней недели (недельная неравномерность); летние месяцы с минимальным расходом и зимние месяцы с максимальным расходом (сезонная неравномерность) [1].

В общем случае можно отметить, что система газоснабжения представляет собой, многоступенчатую (иерархическую) структуру, имеющую распределительную сеть той или иной сложности на каждом уровне иерархии. Уровни связаны между собой регуляторами давления газа (ГРС, ПРП, ГРП), которые обеспечивают заданный режим в распределительной сети нижнего уровня [1].

Согласно ДБН В.2.5-20-2001 [5] газопроводы систем газоснабжения населенных пунктов в зависимости от давления газа, который транспортируется ими, делятся на:

- газопроводы высокого давления I категории – при рабочем давлении газа от 0,6 до 1,2 МПа для природного

газа и газозвоздушных смесей и до 1,6 МПа для систем измерений;

- газопроводы высокого давления II категории – при рабочем давлении газа от 0,3 до 0,6 МПа [5].

По газопроводам высокого давления газ поступает в местные ГРП крупных промышленных предприятий, а также предприятий, технологические процессы которых требуют применения газа высокого давления до 1,2 МПа (12 кгс/см^2), а также через ГРП и газопроводы среднего давления [1,5].

Газопроводы среднего давления через ГРП снабжают газом газопроводы низкого давления, а также газопроводы промышленных и коммунально-бытовых предприятий (через местные ГРП и ГРУ) [1]:

- газопроводы среднего давления – при рабочем давлении газа от 0,005 до 0,3 МПа;
- газопроводы низкого давления – при рабочем давлении газа до 0,005 МПа (5000 Па).

Анализ состава потребителей газа по их принадлежности к уровням иерархии показывает, что из распределительных сетей верхних уровней (первый – высокого давления, второй – среднего давления) потребляют газ наиболее крупные из них (промышленные предприятия, ТЭЦ и др.). Распределительные сети низкого давления (3-й уровень) питают в основном коммунально-бытовую группу потребителей и населения [1].

После того, как выделены и рассмотрены три основных уровня в системе газоснабжения, дадим определение мониторинга для систем такого типа.

Согласно [6], мониторинг это непрерывное комплексное наблюдение за объектами, измерение показателей и анализ их функционирования. Таким образом, реализация процесса мониторинга представляет собой решение двух задач: измерения показателей объекта и анализ его функционирования.

Для выполнения задачи измерения в ходе организации мониторинга необходимо найти ответы на вопросы:

- Где измеряем? Определить участки и контрольные точки измерения на каждом из выделенных участков.
- Что измеряем? Определить показатели и единицы измерения.
- Как измеряем? Определить методики и средства измерения.
- Какова периодичность (шаг) измерений? Определить через какие промежутки времени (с каким шагом) необходимо проводить измерения.

Этап организации системы мониторинга является предварительным [7], и в общем случае его можно определить как процесс, который обеспечивает создание наиболее благоприятных условий для достижения поставленных целей в установившемся период времени при минимальных затратах ресурсов. [8].

Чтобы определить множество возможных типов средств измерений предлагается использовать следующую разработанную модель организации мониторинга оценки средств измерений для транспорта газа в СРГ.

В качестве исходных данных могут быть использованы следующие:

– множество уровней СРГ $Urv = \{Urv_E\}$, где $E = \overline{1,3}$, 3 – количество уровней, для которых необходимо проводить мониторинг;

– множество возможных участков СРГ $Uch = \{Uch_{En}\}$, где $n = \overline{1, n^E}$, n – номер участка каждого из трех уровней системы мониторинга регионального газоснабжения;

– множество возможных точек контроля $G = \{g : g = \overline{1, g^n}\}$; g^n – число точек контроля, в которых могут быть установлены средства измерений показателей мониторинга газа на каждом из участков;

– множество возможных показателей мониторинга $P^G = \{p : p = \overline{1, p^g}\}$; p^g – число показателей мониторинга в каждой из точек контроля;

– множество типов средств измерений $s = \overline{1, s^P}$, s^P – число типов средств измерений p -го показателя;

– коэффициент весомости s -го типа средства измерений γ_{Engps} E -го уровня СРГ на n -ом участке в g -ой точке при измерении p -го показателя, $\gamma_{Engps} \geq 0$.

Таким образом, частные критерии могут принять вид:

– максимум суммарного количества всех оценок со средств измерений:

$$M = \max \sum_{E=1}^3 \sum_{n=1}^{n^E} \sum_{g=1}^{g^n} \sum_{p=1}^{p^g} \sum_{s=1}^{s^p} \gamma_{Engps} x_{Engps}, \quad (1)$$

где x_{Engps} – принимает два значения $\{0,1\}$, $x_{Engps} = 1$, если в g -ой точке E -го уровня СРГ на n -ом участке производится измерение p -го показателя мониторинга s -м средством измерений, $x_{Engps} = 0$ в обратном случае.

– минимум суммарной стоимости проведения оценок всех типов средств измерений:

$$C = \min \sum_{E=1}^3 \sum_{n=1}^{n^E} \sum_{g=1}^{g^n} \sum_{p=1}^{p^g} \sum_{s=1}^{s^p} c_{Engps} x_{Engps}, \quad (2)$$

где c_{Engps} – стоимость s -го типа средств измерений E -го уровня СРГ на n -ом участке в g -ой точке для измерения p -го показателя;

– максимум эффективности проведения оценок с помощью выбранных типов средств измерений

$$R = \max \sum_{E=1}^3 \sum_{n=1}^{n^E} \sum_{g=1}^{g^n} \sum_{p=1}^{p^g} \sum_{s=1}^{s^p} r_{Engps} x_{Engps}, \quad (3)$$

где r_{Engps} – эффективность оценки измерения p -го показателя в g -ой точке на n -ом участке E -го уровня СРГ при помощи s -го типа средств измерений;

Основное ограничение введено на суммарные затраты по проведению мониторинга, которые не должны превышать заданные C^Z :

$$\sum_{E=1}^3 \sum_{n=1}^{n^E} \sum_{g=1}^{g^n} \sum_{p=1}^{p^g} \sum_{s=1}^{s^p} c_{Engps} x_{Engps} \leq C^Z. \quad (4)$$

Максимум эффективности проведения оценок с помощью выбранных типов средств измерений не должен быть меньше заданного R^Z :

$$\sum_{E=1}^3 \sum_{n=1}^{n^E} \sum_{g=1}^{g^n} \sum_{p=1}^{p^g} \sum_{s=1}^{s^p} r_{Engps} x_{Engps} \leq R^Z. \quad (5)$$

Математическая модель (1) – (5) относится к задачам линейного дискретного программирования с целочисленными и булевыми переменными по многим критериям. Для ее решения используют методы многокритериальной дискретной оптимизации [9].

Рассмотрим представленную оптимизационную модель на конкретном примере плана газификации села Петровка, который выполнен в программном обеспечении SolidWorks и представлен на рисунке 1, где индексами от $y1$ до $y8$ обозначены индексы начала и конца участков по результатам экспертного оценивания.

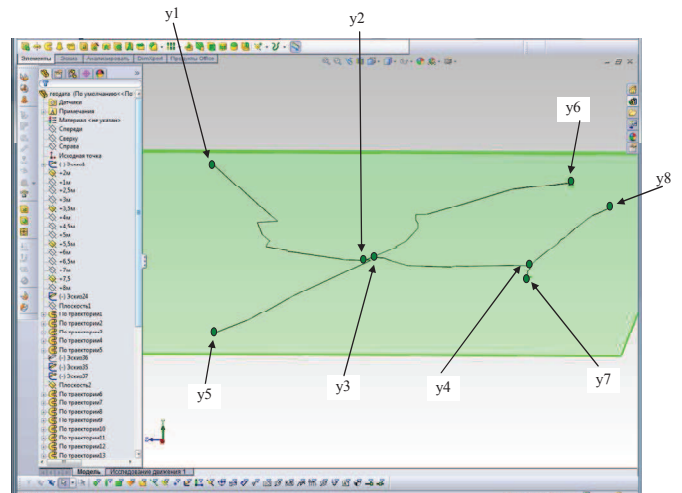


Рис. 1. План газификации с выделенными участками

В таблице 1 приведен перечень участков по итогам экспертного оценивания для системы мониторинга с присвоенным индексным обозначением и указанием длины каждого участка, и дополнительных сведений об установленном оборудовании.

Опираясь на предложенные исходные данные, можно провести организацию и планирования мониторинга. На первом этапе организации и планирования определим множество возможных точек контроля.

Исходя из предложенной схемы газификации и с учетом обязательного условия о проверке соединения труб, а также учитывая особенности транспортируемого продукта – газа, следует отметить следующие места расположения возможных точек контроля: начало и конец участка, места установки предохранительных клапанов, стыки труб.

Таблица 1

Перечень участков и их характеристика

№ п/п	Индекс участка	Длина участка, м	Дополнительные сведения	Количество поворотов (изгибов), шт	Количество стыков труб (с учетом поворотов), шт	Характеристика давления
1	y1-y2	1328.405	Содержит 1 задвижку, 12 предохранительных клапанов, точку подключения к магистральному газопроводу	7	19	Высокого давления
2	y3-y4	391.185	Содержит 4 предохранительных клапана	4	8	Низкого давления
3	y5-y6	1981.386	Содержит 2 заглушки, 20 предохранительных клапанов	2	20	Низкого давления
4	y7-y8	854.434	Содержит 2 заглушки, 12 предохранительных клапанов	-	7	Низкого давления

Указанные условия можно выразить следующей схемой для определения возможных точек контроля системы мониторинга (рис. 2), в которой указаны основные условия, которые следует учитывать при выделении возможных мест расположения точек контроля.



Рис. 2. Схема определения возможных точек контроля

При этом возможны совпадения места стыка труб и места установки предохранительного клапана. Таким образом, множество возможных точек контроля по итогам анализа схемы на рисунке 2, будет определяться интервалами (таблица 2), при этом подразумеваем, что начало интервала предполагает минимальное возможное количество точек – начало и конец участка газопровода, а конец интервала описывает максимальное количество возможных точек контроля на участке. Рассмотрим только участки низкого давления, что позволит упростить модель за счет уменьшения на один индекс при решении задач.

Таблица 2

Определение интервала возможного количества точек контроля для каждого участка

Уровень	№ п/п	Индекс участка	Количество возможных точек контроля, заданное интервалом	Общее количество точек на уровне
III (низкого давления)	2	y3-y4	2...10	[6...43]
	3	y5-y6	4...24	
	4	y7-y8	3...9	

Для того, чтобы определить допустимое множество точек контроля, заданных интервалом возможных, используем метод принятия решений в условиях интервальной неопределенности [9], поскольку априорная информация о характере группирования внутри интервала отсутствует, т.е. знания являются равновероятными. Воспользуемся критерием пессимизма-оптимизма Гурвица, который позволяет ввести оценочный коэффициент, называемый коэффициентом пессимизма α , выбирается в интервале $[0,1]$ и отражает промежуточную ситуацию между точками зрения крайнего оптимизма и крайнего пессимизма [9]. Поскольку на этапе организации мониторинга происходит грубое (предварительное) оценивание допустимого количества точек контроля, а значение α принимается на основе оценки сложившейся обстановки и личного опыта экспертов в принятии решений в схожих ситуациях, примем для расчетов значение α также интервальным и представленным следующими значениями $[0,4;0,6]$, где $\alpha=0,5$ указывает на равновесность критериев стоимости и эффективности, где $\alpha=0,4$ указывает на преобладание веса критерия эффективности, $\alpha=0,6$, при условии, что критерий стоимости обладает большим весом. Результат расчета допустимого множества точек контроля для каждого участка отображен в таблице 3.

Таблица 3

Допустимое множество точек контроля для каждого участка

Характеристика уровня	Оптимистическое количество возможных точек контроля	По критерию Гурвица*			Пессимистическое количество возможных точек контроля
		при $\alpha=0,4$	при $\alpha=0,5$	при $\alpha=0,6$	
Третий уровень СРГ, участки низкого давления	6	28	25	21	43

* поскольку количество точек контроля должно быть представлено целым числом, при расчете значений критерия бралась только целая часть

Таким образом, определены интервалы для допустимого множества точек контроля третьего уровня СРГ – низкого давления.

Для определения коэффициента весомости показателей на уровне с низким давлением использовали метод анализа иерархий. Результат попарного сравнения с точки зрения информативности каждого из показателей приведен в таблице 4, где k_1 – давление, k_2 – температура, k_3 – точка росы влаги газа, k_4 – теплота сгорания низшая, k_5 – число Воббе, k_6 – массовая концентрация сероводорода [10,11]. Полученное отношение согласованности составило 2,6 %, что является приемлемым результатом (менее 10%).

При этом среди типов средств измерений выделим следующие: аналоговые (ф4); цифровые, рассчитанные на измерение одного показателя мониторинга (ф3); измерительные комплексы, позволяющие измерять не более 2-х показателей мониторинга (ф2), измерительные комплексы, позволяющие измерять более 3 и более показателей мониторинга (ф1).

Таблица 4

Оценка показателей мониторинга*

	k1	k2	k3	k4	k5	k6	Компонента собственного вектора	Нормализованный вектор
k1	1	2	3	5	5	6	3,107233	0,39527228
k2	1/2	1	2	3	3	4	1,817121	0,23115663
k3	1/3	1/2	1	2	3	5	1,30766	0,16634801
k4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	0,764724	0,09728091
k5	1/5	1/3	1/3	1/2	1	2	0,53023	0,06745081
k6	1/6	14	1/5	1/3	1/2	1	0,334024	0,04249135

■ - рациональные показатели;
 ■ - допустимый показатель.

Для приведенного примера части газопровода, проведем оценку типов средств измерений для участка низкого давления. Найдем значения γ_{nps} по методу анализа иерархий (таблица 5) с точки зрения максимума суммарного количества всех оценок средств измерений.

Таблица 5

Значения коэффициента весомости средств измерений

	ф1	ф2	ф3	ф4	Компонента собственного вектора	Нормализованный вектор
ф1	1	2	4	6	2,632148	0,508903
ф2	1/2	1	2	4	1,414214	0,273426
ф3	1/4	1/2	1	3	0,782542	0,151298
ф4	1/6	1/4	1/3	1	0,343295	0,066373

Поскольку на этапе организации точные значения эффективности и стоимости неизвестны, воспользуемся теорией учета частных критериев, заданных нечеткими множествами, тогда результат расчета полезности частных альтернатив в фазифицированном виде (когда значения критериев заданы функциями принадлежности, т.е. в нечеткими числами) будет выглядеть следующим образом – таблица 6.

Конкретный тип (а затем и вид) средства измерений может быть выбран только после этапа синтеза системы мониторинга, на котором будет определяться организационная структура системы мониторинга.

Таблица 6

Результат определения типов средств измерений*

Типы средств измерений	Значения критериев							
	Функция принадлежности критерия стоимости	Функция полезности критерия стоимости	Максимум суммарного количества оценок средств измерений	Функция полезности оценок средств измерений	Функция принадлежности критерия эффективности	Функция полезности критерия эффективности	Обобщенная аддитивная полезность	
ф1	0,3	0,25	0,5089031	1	0,9	0,8888889	0,6555555	
ф2	0,5	0,5	0,2734260	0,467884	0,7	0,6666667	0,5602435	
ф3	0,8	0,875	0,1512978	0,191907	0,4	0,3333333	0,5217147	
ф4	0,9	1	0,0663730	0	0,2	0,1111111	0,4444444	

■ - рациональный тип средства измерений;
 ■ - допустимый тип средства измерений.

Для определения количества измерений по каждому из показателей в условиях нечеткости информации также воспользуемся критерием пессимизма-оптимизма Гурвица. Поскольку некоторое количество измерений должно быть проведено в течение определенного периода времени используем понятия смены (8 часов) и рассчитаем количество измерений за смену исходя из [9,10]. Получим таблицу 7.

Таблица 7

Допустимое количество измерений*

Показатели	Оптимистическое количество измерений для каждого из показателей за смену	По критерию Гурвица			Пессимистическое количество измерений для каждого из показателей за смену
		при $\alpha=0,4$	при $\alpha=0,5$	при $\alpha=0,6$	
Давление	37	28	27	24	16
Температура	37	28	27	24	16
Точка росы по влаге	16	10	9	7	1

*для рационального типа средств измерений;

Поскольку в таблице 7 количество точек контроля должно быть представлено целым числом, при расчете значений критерия велось по правилу для $\min = \lfloor y \rfloor$, $\max = \lceil y \rceil$, где $\lfloor y \rfloor$ и $\lceil y \rceil$ – соответственно наименьшее целое не меньше y и целая часть y .

Таким образом, по результатам проведенных расчетов на основании приведенной модели получим следующую характеристику рассматриваемого уровня (таблица 8).

Достоинством приведенной обобщенной модели является то, что она позволяет сразу, с единых системных позиций, принимать решения по организации системы мониторинга транспорта газа в СРГ и дает рекомендации для планирования в условиях многокритериальности и неопределенности исходных данных. Согласно [12], оперируя объемами информации о системе мониторинга в рамках 50-60 элементов, предполагается использование при решении обобщенной модели методов полного или направленного перебора вариантов.

В качестве недостатка можно отметить следующий: при обработке большого количества информации с каждого из уровней СРГ (более 100 элементов системы) необходимость проводить оценки показателей в каждой из точек контроля, приведет к резкому увеличению времени, затрачиваемому на принятие решений. В этом случае обобщенную модель необходимо будет декомпозировать на частные: модель организации мониторинга и модель планирования.

Таблица 8

Итоги организации мониторинга для третьего уровня СРГ

Характеристика	Значение характеристики
1	2
Допустимое множество точек контроля (задано интервалом)	[21...28]
Допустимые показатели мониторинга	Давление
	Температура
	Точка росы влаги
Допустимые типы средств измерений	Измерительные комплексы, позволяющие измерять более 2-х показателей мониторинга

Выводы

Таким образом, в статье предложена обобщенная модель организации мониторинга транспорта газа в системе регионального газоснабжения, которая позволяет

подойти к решению задач с единых системных позиций. В случае, когда рассматривается система мониторинга транспорта газа в системе регионального газоснабжения с большим количеством элементов, предлагается декомпозировать ее на ряд частных моделей:

- модели определения точек контроля на каждом участке,
- модель определения показателей мониторинга в точках контроля на каждом из участков;
- модель определения средств измерений в точках контроля на каждом из участков.

Разработанная обобщенная модель организации относится к задачам линейного дискретного программирования и позволяет, в отличие от существующих, организовать процесс оценки точек контроля, показателей мониторинга и качества средств измерений по многим критериям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Седак В. С. Надежность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения: монография / В. С. Седак, В. Н. Супонев, Н. Д. Каслин и др.; под общ. ред. В. С. Сedaка; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва – Х.: ХНАГХ, 2011. – 226 с.
2. Король Г. О. Проблеми обліку, аналізу і планування запобіжно-відновних заходів у регіональній системі газопостачання: монографія / Г.О. Король, Ю. Т. Труш, В. Д. Зелікман и др. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2008. – 300 с.
3. Способ и система мониторинга рабочих характеристик трубопровода, содержащего текучую среду под давлением [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/235/2351915.html#> – Загл. с экрана.

4. Способ мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода и система для его реализации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/245/2451874.html> – Загл. с экрана.

5. Государственные строительные нормы Украины ДБН В. 2.5-20-2001. Газоснабжение. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Госстрой Украины. – К., 2001.

6. Нефедов Л. И. Модели организации мониторинга оценки качества бизнес-процесса транспорта газа на компрессорной станции / Л. И. Нефедов, А. А. Шевченко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Информатика и моделирование. – 2008. – №24. – С. 94-98.

7. Шевченко М. В. Структурная модель управления качеством добычи, переработки и транспорта газа / М. В. Шевченко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2014. – №1(43). – С. 273-281.

8. Ребрин Ю. И. Основы экономики и управления производством [Электронный ресурс] / Ю. И. Ребрин – Режим доступа: <http://www.aip.ru/books/m47>.

9. Крючковский В. В. Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели: монография / В. В. Крючковский, Э. Г. Петров, Н. А. Соколова, В. Е. Ходаков; под ред. З. Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д. С., 2013. – 284 с. – ISBN 978-617-7123-23-0.

10. Нефедов Л. И. Обобщенная модель синтеза системы мониторинга качества добычи, переработки и транспорта газа / Л. И. Нефедов, М. В. Шевченко, О. Н. Кудырко // Международный научный журнал «ScienceRise». – 2014. – №1(1). – С. 7-18.

11. ГОСТ 5542-87 Газы горючие для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. [Электронный ресурс] / Дата введения: 1988-01-01. – Режим доступа: http://www.complexdoc.ru/pdf/ГОСТ%205542-87/gost_5542-87.pdf – Загл. с экрана.

12. Бескоровайный В. В. Модификация метода направленного перебора для оптимизации топологии систем с регулярным распределением элементов / В. В. Бескоровайный, Е. В. Соболева // Системи обробки інформації. – 2013. – №1 (108). – С. 12-16.

УДК 534.843.742

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОРРЕКЦИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КАЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА ЗВУКА В ПРОСТРАНСТВЕ

К. т. н. В. В. Усик, И. С. Беликов, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков

Предложена математическая модель автоматизированной системы управления перемещения кажущегося источника звука в пространстве. Рассматривается возможность расширения стереофонии согласно перемещению человека в зоне прослушивания.

Запропонована математична модель автоматизованої системи керування уявним джерелом звуку у просторі. Розглядається можливість розширення стереофонії згідно до переміщення людини у зоні прослуховування

This article discusses about math model automatic system of enhancing the interactivity of human involvement in forming apparent sound source in space in real time.

Ключевые слова: акустическая система, математическая модель стереофония, кажущийся источник звука, фильтр нижних частот.

Введение

Целью данного исследования является разработка математической модели правого и левого канала обработки акустического сигнала в автоматизированной системе позиционирования кажущегося источника звука (КИЗ).

При разработке автоматизированной системы позиционирования КИЗ предложена структурная схема системы, а также установлено, что изменение позиционирования КИЗ в пространстве зависит от внесения временных задержек в один из каналов стерео системы. Внесение задержки в несколько миллисекунд, например, в левый канал акустической системы (АС) приводит к ослаблению восприятия звука этого канала и смещает КИЗ в сторону правого громкоговорителя [1].

Смещение КИЗ возможно и при использовании интенсивностной стереофонии, усиление амплитуды сигнала одного из каналов, приводит к смещению КИЗ в