

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. Седака; 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. Зеліман і 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](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

сторону звучащего громкоговорителя, позволяя человеку прослушивать при перемещении в комнате, где он прослушивает мультимедийный контент.

Позиционирование КИЗ при озвучивании пространства рассчитывается исходя из свойств человеческого слуха. При расположении слушателя напротив центра стереобазы, воспроизводимые сигналы с правого громкоговорителя и левого громкоговорителя не имеют различий по времени ( $\Delta t=0$ ) и по уровню ( $\Delta L=0$ ). При таком условии звучание обоих громкоговорителей сливается в единый звуковой образ, который соответствует изначально задуманному звукорежиссером звучанию [3].

Данный вариант коррекции КИЗ возможен и для перемещающегося слушателя в пространстве, либо для слушателя, который занял не идеальное местоположение между громкоговорителями стерео системы.

**Изложение основного материала исследования**

На рисунке 1 представлена структурная схема одного из каналов автоматизированной системы управления кажущимся источником звука для фазоинверсной акустической системы. Передаточная функция  $W_{\Sigma}(s)$  канала в общем виде имеет вид (1):

$$W_{\Sigma}(s) = (W_{НЧ}(s) + W_{ВЧ}(s) \cdot W_{\Delta t}(s) \cdot W_{\Delta L}(s)) \cdot W_{АС}(s). \quad (1)$$

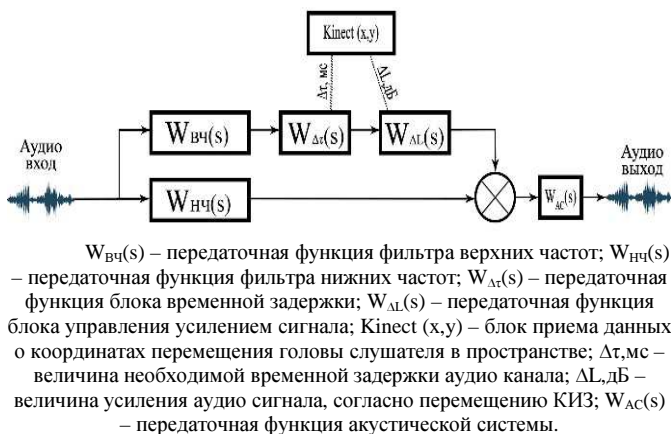


Рис. 1. Структурная схема канала автоматизированной системы управления КИЗ

Далее в статье схема маршрутизации обработки аудио сигнала (рис. 1) рассмотрена для левого каналов стерео сигнала. Для второго канала фильтрация, величины задержек во времени  $\Delta t$  и усиления амплитуды  $\Delta L$  выполняются аналогичным образом. Авторами ранее было уже установлено, что для управления перемещением КИЗ в пространстве, необходимо вносить временные и амплитудные корректировки в область верхних частот (300 – 20 000 Гц).

Предварительная фильтрация акустического сигнала выполняется фильтрами нижних и верхних частот Баттерворта второго порядка. Передаточная функция фильтра нижних частот имеет вид:

$$W_{НЧ}(s) = \frac{1}{B_1^2(s)}, \quad (2)$$

где  $B_1(s)=(1+s)$  – полином Баттерворта.

постоянно находится в оптимальной зоне

Передаточная функция фильтра верхних частот имеет вид:

$$W_{ВЧ}(s) = \frac{s^2}{B_1^2(s)}, \quad (3)$$

Передаточная функция блока временной задержки имеет вид:

$$W_{\Delta t}(s) = e^{-\tau s} \quad (4)$$

где  $\tau$  – величина задержки левого канала АС относительно правого в мс. На рисунке 2 указано схематическое расположение головы слушателя и отклонение его положения от центра базы АС.

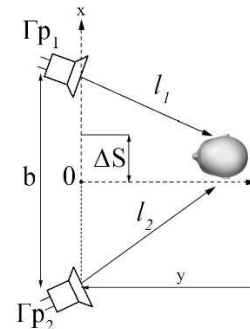


Рис. 2. Отклонение местоположения головы слушателя от центра стереобазы АС

Величина задержки сигнала определяется по формуле:

$$\tau = \frac{\Delta l_1}{c}, \quad (5)$$

где  $\Delta l_1$  – отклонение головы слушателя от центрального положения стереобазы АС,  $c$  – скорость звука равная 330 м/с.

Передаточная функция блока усиления (ослабления) сигнала представим в виде

$$W_{\Delta L}(s) = k \quad (6)$$

где  $k$  – величина усиления (ослабления) акустического сигнала левого канала относительно правого в дБ.

Данный вариант интенсивной стереофонии предлагается применять одновременно с временными задержками в тех случаях, когда величина  $\Delta t$  будет превышать значения 12 мс для возврата положения КИЗ в рекомендуемое пространство. Принцип работы состоит в усилении противоположного канала АС, в который не вносятся временные задержки  $\Delta t$  [2].

Для стереобаз, величина которых равна  $b=0,8...1,8$  метров, величина усиления сигнала  $k$  при отклонении от центра базы АС на  $S=0,5b$  равняется 5 дБ. Для стереобаз размером  $b=1,8...2,8$  метров, при отклонении головы слушателя от центра базы на  $0,5b$  величина  $k=5...8$  дБ, соответственно [3]. Координаты перемещения головы слушателя, а также детектирование образа человека в пространстве выполняется при помощи камеры Microsoft Kinect [6-7]. Авторами ранее было проведено экспериментальное подтверждение изменение позиционирования КИЗ в пространстве, а также предложена методика калибровки центрального местоположения КИЗ для громкоговорителей [8].

Нормированная передаточная функция акустической системы фазоинверсного типа имеет вид:

$$W_{AC}(s) = \frac{T_0^4 \cdot s^4}{T_0^4 \cdot s^4 + a_1 \cdot T_0^3 \cdot s^3 + a_2 \cdot T_0^2 \cdot s^2 + a_3 \cdot T_0 \cdot s + 1}, \quad (7)$$

где  $T_0 = \sqrt{T_B \cdot T_S}$ ,

где  $T_B = \frac{1}{f_b}$ ,  $f_b$  – частота настройки фазоинвертора;

$T_S = \frac{1}{f_s}$ ,  $f_s$  – резонансная частота головки

громкоговорителя;

$$a_1 = \frac{Q_L + h \cdot Q_{ts}}{\sqrt{h \cdot Q_L \cdot Q_{ts}}};$$

$$a_2 = \frac{h + (\alpha + 1 + h^2) \cdot Q_L \cdot Q_{ts}}{\sqrt{h \cdot Q_L \cdot Q_{ts}}};$$

$$a_3 = \frac{Q_L \cdot h + Q_{ts}}{\sqrt{h \cdot Q_L \cdot Q_{ts}}},$$

где  $\alpha$  – значение нормированных параметров элементов фильтров;

$$h = \frac{f_B}{f_s} = \frac{\varpi_B}{\varpi_S} = \frac{\tau_S}{\tau_B} \quad \text{– нормированная}$$

относительно частоты настройки фазоинвертора

$Q_{ts}$  – полная добротность громкоговорителя;

$$\alpha = \frac{C_{AS}}{C_{AH}} = \frac{L_{CES}}{L_{CEB}} \quad \text{– отношение гибкостей подвеса в}$$

воздухе и в корпусе;

$$Q_L = \varpi_B \cdot C_{AB} \cdot R_{AL} = \frac{1}{\varpi_B \cdot C_{MEP} \cdot R_{EL}} \quad \text{– добротность,}$$

характеризующая щелевые потери, где  $R_{AL}$  – акустическое сопротивление излучателя;  $C_{AB}$  – акустическая гибкость воздуха в корпусе АС;

$$\varpi_B = 2 \cdot \pi \cdot f_B = \frac{1}{\sqrt{C_{AB} \cdot M_{AP}}} = \frac{1}{\sqrt{C_{MEP} \cdot L_{CEB}}} \quad \text{–}$$

круговая частота настройки фазоинвертора,  $M_{AP}$  – акустическая масса пассивного излучателя или воздуха в трубе фазоинвертора.

Пусть

$$A_0 = T_0^4;$$

$$A_1 = a_1 \cdot T_0^3;$$

$$A_2 = a_2 \cdot T_0^2;$$

$$A_3 = a_3 \cdot T_0.$$

С учетом введенных обозначений передаточная функция акустической системы будет иметь следующий вид

$$W_{AC}(s) = \frac{A_0 \cdot s^4}{A_0 \cdot s^4 + A_1 \cdot s^3 + A_2 \cdot s^2 + A_3 \cdot s + 1}. \quad (8)$$

В результате, итоговое выражение (1) получит вид

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{A_0 \cdot s^4 - A_0 \cdot k \cdot s^6 \cdot e^{-\alpha}}{(s^2 + 2s + 1) \cdot (A_0 \cdot s^4 + A_1 \cdot s^3 + A_2 \cdot s^2 + A_3 \cdot s + 1)}. \quad (9)$$

Обозначив  $k_1 = k \cdot A_0$ , получится выражение

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{-s^4 \cdot (k_1 \cdot e^{-\alpha} + A_0)}{(s^2 + 2s + 1) \cdot (A_0 \cdot s^4 + A_1 \cdot s^3 + A_2 \cdot s^2 + A_3 \cdot s + 1)}. \quad (10)$$

Полученное выражение передаточной функции канала будет использоваться для получения суммарной передаточной функции всей системы с целью дальнейшего ее анализа.

### Выводы

Автором ведется анализ полученной математической модели автоматизированной системы, исследование устойчивости системы при изменении временной задержки, вносимой в каждый из каналов аппаратной составляющей и устройством Kinect, а также влияние на устойчивость системы коэффициента усиления, получаемого за счет интенсивностной стереофонии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Порошин С.М. Разработка активной системы коррекции местоположения кажущегося источника звука в пространстве / С.М.Порошин, И.С.Беликов // Третья международная научно-техническая конференция «Информационные проблемы в теории акустических, радиоэлектронных и телекоммуникационных систем IPTS-2014» г. Харьков, 21-23 октября 2014 г.
2. Алдошина И.А. Высококачественные акустические системы и излучатели / И.А. Алдошина, А.Г. Войшвилло. – М.: Радио и связь, 1985. – 166 с.
3. Кононович Л. М. Стереофоническое восприятие звука / Л. М. Кононович, Ю. А. Ковалгин. – М.: Радио и связь, 1981. – 184 с.
4. Алябьев С. И. Радиовещание и электроакустика / С. И. Алябьев, А. В. Выходец, Р. Гермер и др. – М.: Радио и связь, 1998. – 783 с.
5. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике / П. Шкритек; пер. с нем. – М.: Мир, 1991. – 446 с.
6. Jana, A. Kinect for Windows SDK Programming Guide [Text] / A. Jana; Published by Packt Publishing Ltd. // Livery Place, 35 Livery Street, Birmingham B3 2PB, UK, 2012. – 392 p.
7. Miles, R. Start Here! Learn Microsoft Kinect API [Text] / R. Miles; O'Reilly Media, Inc. // Gravenstein Highway North Sebastopol, California 95472, 2012. – 272 p.
8. Порошин С. М. Влияние интенсивностной стереофонии на локализацию кажущегося источника звука. / С.М.Порошин, И.С.Беликов // Технология приборостроения, научно-технический журнал ХНАДУ, спецвыпуск осень 2014.