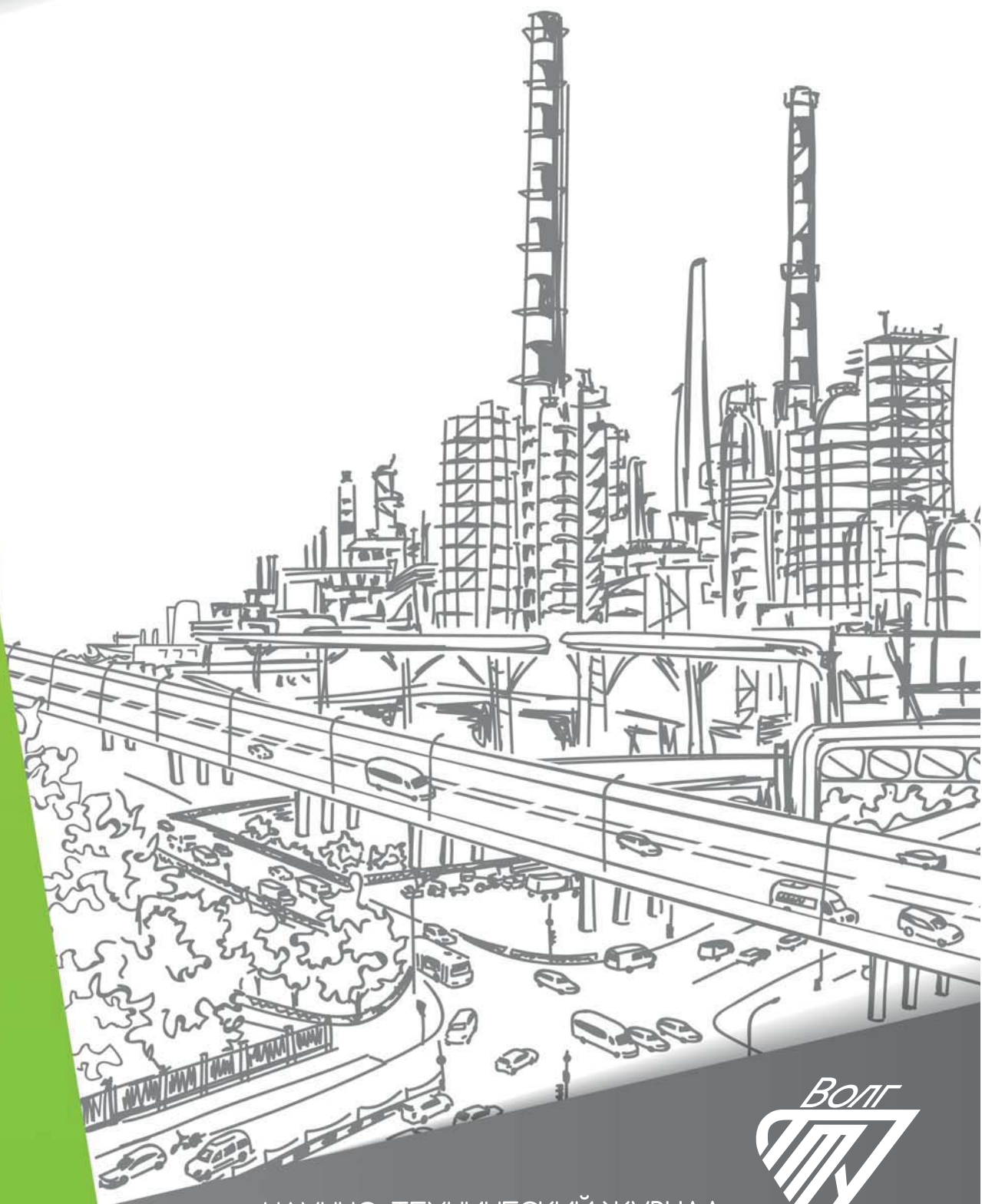


ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ:

промышленность и транспорт

№ 4 (37)
2021



16+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ





Издается
с января 2004 г.

ISSN 2500-0586

Главный редактор журнала
В. И. Лысак – академик РАН,
д-р техн. наук, профессор

Редакционная коллегия:

И. И. Артюхов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Е. В. Балакина – д.т.н., проф., ВолгГТУ
А. В. Баранов – д.ф.м.н., проф.,
РГУ нефти и газа, г. Москва
А. Б. Голованчиков – д.т.н., проф., ВолгГТУ
А. Е. Городецкий – д.т.н., проф., ИПМаш
РАН, г. Санкт-Петербург
А. П. Дармания – д.т.н., проф. ВГАУ,
г. Волгоград
А. М. Иванов – д.т.н., проф.,
МГТУ (МАДИ), г. Москва
А. В. Келлер – д.т.н., проф. НАМИ, г. Москва
В. В. Кортаев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
Г. О. Котиев – д.т.н., проф., МГТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д.т.н., проф., СГТУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Мертен Клеменс – д.т.н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д.т.н., проф., МГТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. Е. Новиков – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СНИУ
им. академика С. П. Королева, г. Самара
Е. А. Федянов – д.т.н., проф., ВолгГТУ
В. Т. Фомичев – д.т.н., проф., ВолгГТУ
А. Н. Шилин – д.т.н., проф., ВолгГТУ

Ответственный секретарь
П. С. Васильев – к.т.н., доц., ВолгГТУ

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
94193(ОК+ЭК).

Тел. издательства ВолгГТУ:
+7 (8442) 24-84-08
+7 (8442) 24-84-05
e-mail: zavrio@vstu.ru

Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт научно-технический журнал

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)
ПИ № ФС77-64543 от 22 января 2016 г.

№ 4 (37)
Декабрь
2021

УЧРЕДИТЕЛЬ:
ФГБОУ высшего образования
«Волгоградский государственный технический
университет»
Периодичность: четыре раза в год

Адрес редакции:
РФ, 400005, Волгоград, пр. В.И. Ленина, 28
Гл. редактор: телефон: +7 (8442) 23-00-76
e-mail: rector@vstu.ru

Отв. секретарь: телефон: +7 (8442) 24-84-31
e-mail: pahp@vstu.ru

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Авторское право на журнал в целом принадлежит
Учредителю, на отдельные статьи – сохраняется за авторами

*Перепечатка из журнала «Энерго- и ресурсосбережение:
промышленность и транспорт» категорически запрещена без
оформления договора в соответствии с действующим
законодательством РФ*

*При перепечатке материалов ссылка на журнал «Энерго-
и ресурсосбережение: промышленность и транспорт» обязательна*

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

V. I. Lysak – Academician of
RAS Academician of RAS,
D. Sc. (Technical), Professor

Editorial Board:

I. I. Artuchov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
E. V. Balakina – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. V. Baranov – D. Sc. (Physical and Math.),
Prof., Gubkin University, Moscow
A. B. Golovanchikov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. E. Gorodetskij – D. Sc. (Engineering),
Prof., IPME, St. Petersburg
A. P. Darmanyan – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSAU, Volgograd
A. M. Ivanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
MADI, Moscow
A. V. Keller – D. Sc. (Engineering), Prof.,
NAMI, Moscow
V. V. Korotaev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
ITMO University, St. Petersburg
G. O. Kotiev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. A. L'vov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
M. Clemens – D. Sc. (Engineering), Prof.,
University of Stuttgart, Germany
V. A. Markov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. E. Novikov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. T. Fomichev – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. N. Shilin – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd

Executive Secretary
P. S. Vasilyev – PhD, Associate Prof.

The journal is distributed by subscription.
Index of the journal in the catalogue
of the Agency «Rospechat» for the Russian
Federation – 94193(OK+ЭК).

VSTU Publisher tel.:

+7 (8442) 24-84-08

+7 (8442) 24-84-05

e-mail: zavrio@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,

«Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport», 2021

Energo- i resursosberezhenie:

Promyshlennost' i transport

(Energy and Resource Saving:
Industry and Transport)
science-technical journal

Journal is registered in the Federal Service for supervision
of communications, information technology and mass media
(Roscomnadzor) registration certificate:
ПН .N° (ФЦ77-64543, registration date: 22 January 2016

№ 4 (37)
December
2021

FOUNDER:

**Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Volgograd State Technical University»**

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

Russia, 400005, Volgograd, Lenin avenue, 28. Editor-In-Chief:
tel.: +7 (8442) 23-00-76 e-mail: rector @vstu.ru

Executive Secretary: +7 (8442) 24-84-31 e-mail:
pahp@vstu.ru

Official website: www.vstu.ru

Published by the decision of editorial review board of Volgograd State
Technical University

***The copyright for the journal in general belongs to the Founder, for separate
articles – retained by the authors.***

*Reprint from the journal «Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost'
i transport » is strongly forbidden -without conclusion of an agreement in accord-
ance with the current legislation of the Russia Federation.*

*When reprint the materials, the citation to the journal «Energo- i
resursosberezhenie: promyshlennost' i transport» is obligatory*

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Васильев П. С. 6, 10	Новиков В. В. 38
Голованчиков А. Б. 10	Поздеев А. В. 38
Дементьев С. С. 27	Полуэктов М. В. 44
Дугин Е. А. 6	Прохоренко Н. А. 10
Дудников Р. Д. 49	Савельев В. В. 44
Еронтаев В. В. 38	Самофалов И. В. 35
Кагочкин Т. А. 38	Скрибунова В. Е. 38
Коновалова Л. А. 12	Сомов А. В. 27, 35
Кузнецова Н. С. 12	Степанова С. В. 44
Левин Ю. В. 49	Тимошин Н. В. 38
Меренцов Н. А. 10	Федянов Е. А. 49
Нефедьев А. И. 35	Чернышов К. В. 38
Новиков А. Е. 6	Шилин А. А. 12

AUTHOR INDEX

Chernyshov K. V. 38	Novikov A. E. 6
Dement'ev S. S. 27	Novikov V. V. 38
Dudnikov R. D. 49	Poluektov M. V. 44
Dugin E. A. 6	Pozdeev A. V. 38
Erontaev V. V. 38	Prokhorenko N. A. 10
Fedyanov E. A. 49	Samofalov I. V. 35
Golovanchikov A. B. 10	Savelyev V. V. 44
Kagochkin T. A. 38	Shilin A. A. 13
Konovalova L. A. 13	Skribunova V. E. 38
Kuznetsova N. S. 13	Somov A. V. 27, 35
Levin Yu. V. 49	Stepanova S. V. 44
Merentsov N. A. 10	Timoshin N. V. 38
Nefed'ev A. I. 35	Vasiliev P. S. 6, 10

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Васильев П. С., Новиков А. Е., Дугин Е. А.</i> Сравнительный метод оценки надежности работы технологического оборудования.....	6
<i>Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Прохоренко Н. А., Васильев П. С.</i> Экспериментальное определение профиля скорости по паровой фазе в ректификационной колонне.....	10
<i>Шилин А. А., Кузнецова Н. С., Коновалова Л. А.</i> Надежность передачи информации при мониторинге состояния проводных систем транспортировки энергоносителей.....	12
<i>Сомов А. В., Дементьев С. С.</i> Система управления процессом дистилляции воды.....	27

ТРАНСПОРТ

<i>Нефедьев А. И., Сомов А. В., Самофалов И. В.</i> Система контроля состояния водителя.....	35
<i>Новиков В. В., Поздеев А. В., Чернышов К. В., Еронтаев В. В., Тимошин Н. В., Кагочкин Т. А., Скрибунова В. Е.</i> Основные направления развития конструкций колес с пневматическими шинами.....	38
<i>Степанова С. В., Полуэктов М. В., Савельев В. В.</i> Анализ факторов, влияющих на характеристики предприятий автосервиса.....	44
<i>Дудников Р. Д., Левин Ю. В., Федянов Е. А.</i> Математическая модель процесса сгорания углеводородного топлива с добавками синтез-газа в роторно-поршневом двигателе.....	49

CONTENTS

INDUSTRY

<i>Vasiliev P. S., Novikov A. E., Dugin E. A.</i> COMPARATIVE METHOD FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT.....	6
<i>Golovanchikov A. B., Merentsov N. A., Prokhorenko N. A., Vasiliev P. S.</i> EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STEAM PHASE VELOCITY PROFILE IN RECTIFICATION COLUMN.....	10
<i>Shilin A. A., Kuznetsova N. S., Konovalova L. A.</i> RELIABILITY OF INFORMATION TRANSMISSION WHEN MONITORING THE STATE OF WIRED POWER TRANSPORTATION SYSTEMS.....	13
<i>Somov A. V., Dement'ev S. S.</i> WATER DISTILLATION CONTROL SYSTEM.....	27

TRANSPORT

<i>Nefed'ev A. I., Somov A. V., Samofalov I. V.</i> CONTROL SYSTEM OF THE DRIVER'S CONDITION.....	35
<i>Novikov V. V., Pozdeev A. V., Chernyshov K. V., Erontaev V. V., Timoshin N. V., Kagochkin T. A., Skribunova V. E.</i> THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF WHEEL STRUCTURES WITH PNEUMATIC TIRES.....	38
<i>Stepanova S. V., Poluektov M. V., Savelyev V. V.</i> ANALYSIS OF THE FACTORS AFFECTING THE CAR SERVICE COMPANIES CHARACTERISTICS.....	44
<i>Dudnikov R. D., Levin Yu. V., Fedyanov E. A.</i> MATHEMATICAL MODEL OF THE COMBUSTION PROCESS HYDROCARBON FUEL WITH SYNTHESIS GAS ADDITIVES IN ROTARY PISTON ENGINE.....	49

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 628.334.51

П. С. Васильев¹, А. Е. Новиков^{1,2}, Е. А. Дугин²

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

¹Волгоградский государственный технический университет

²Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия

e-mail: nestorvv@mail.ru

Предложен простой и эффективный метод сравнительной оценки надежности работы технических систем. Выполнено сравнение надежности работы двух малогабаритных станций биологической очистки сточных вод.

Ключевые слова: метод сравнения, надежность, эффективность работы.

P. S. Vasilyev¹, A. E. Novikov^{1,2}, E. A. Dugin²

COMPARATIVE METHOD FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

¹Volgograd State Technical University

²Federal State Budgetary Institution All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture

A simple and effective method for comparative assessment of the reliability of technical systems operation is proposed. Comparison of the reliability of operation of two small-sized biological wastewater treatment plants is carried out.

Keywords: comparison method, reliability, efficiency.

Вопросы энерго- и ресурсосбережения тесно связаны с понятием надежности промышленного технологического оборудования. При разработке новых конструкций машин и аппаратов одной из главных задач является повышение эффективности и надежности их работы, в том числе устойчивости к изменению технологического режима [1, 2].

Проведение всесторонней оценки надежности по параметрам производительности оборудования регламентируется действующим государственным стандартом [3] и сопряжено с громоздкими вычислениями значительного количества специфических показателей, определяемых с помощью математической обработки больших массивов экспериментальных данных. Однако несмотря на то, что изложенная в стандарте [3] методика обеспечивает максимально качественную оценку эффективности и надежности работы технологического оборудования, квалифици-

рованно произвести все расчеты согласно ей весьма непросто. Кроме того, часто в этом нет большой практической необходимости.

Поэтому разработка относительно простого метода оценки надежности работы новых конструкций технологических машин и аппаратов является актуальной задачей и представляет собой цель настоящей работы.

Разработанный метод основан на сравнении параметров двух аналогичных технических систем: действующей и предлагаемой – и базируется на отдельных положениях корреляционного и регрессионного анализа [4].

Последовательность реализации метода для наглядности рассмотрим на примере сравнения двух малогабаритных станций биологической очистки сточных вод: действующей – «Евробион» [5] и предлагаемой – экспериментальной [6].

Оценка эффективности работы станций биологической очистки проводилась на основа-

нии анализа кинетических данных процесса отстаивания активного ила при различных значениях илового индекса. На рис. 1 точками обозначены экспериментальные данные, а линиями показаны теоретические значения, рассчитанные с помощью регрессионного уравнения вида [7]:

$$V = A \cdot \tau^b \cdot I^c, \quad (1)$$

где V – объем, занимаемый активным илом при его отстаивании в мерном цилиндре объемом 1 дм³, см³; τ – время отстаивания, мин; I – иловый индекс, см³/г.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов регрессии и коэффициента корреляции уравнения (1) и его средняя относительная ошибка.

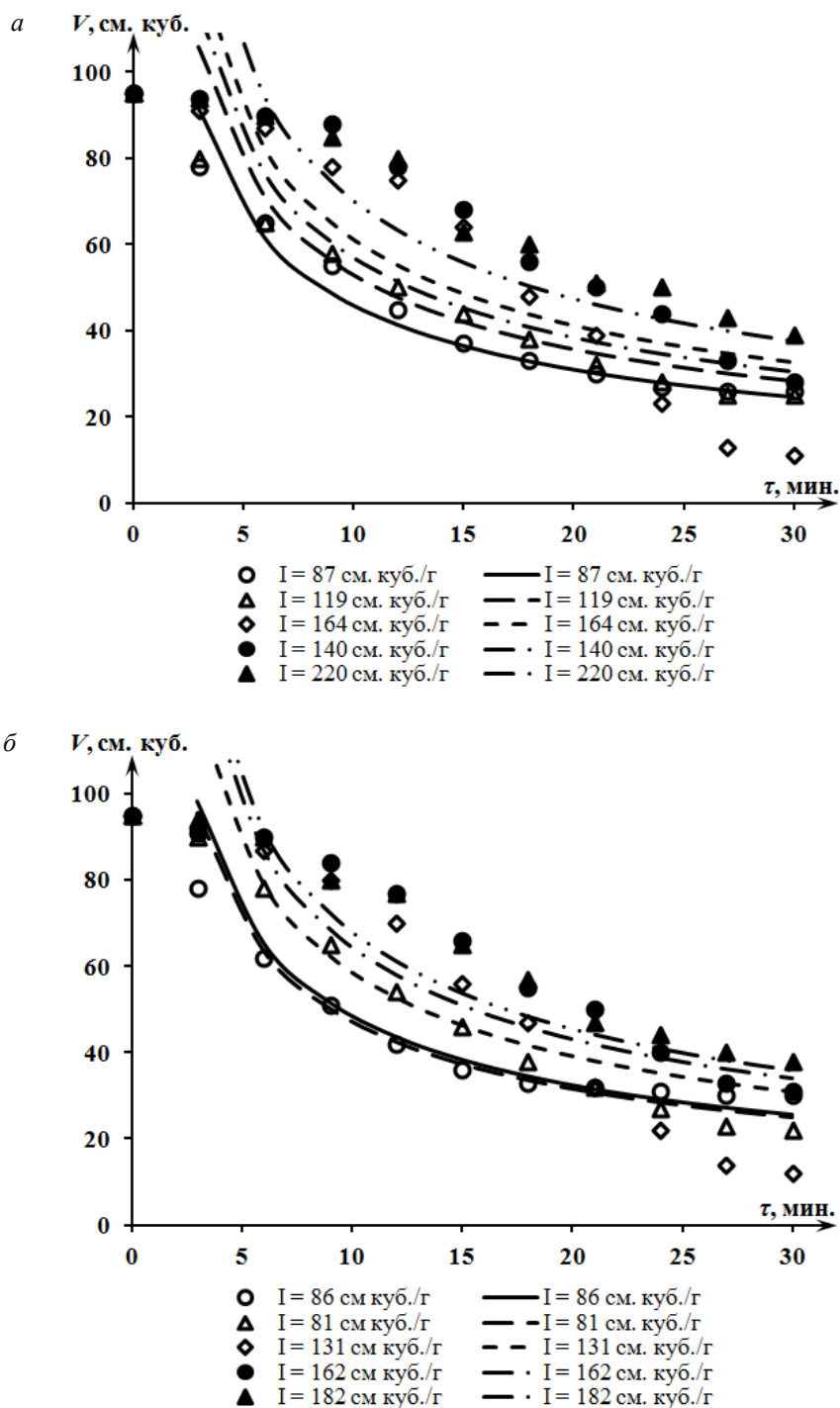


Рис. 1. Данные по кинетике отстаивания активного ила, полученные на малогабаритной станции биологической очистки «Евробион» (а) и экспериментальной станции (б) [7]

Таблица 1

Основные результаты корреляционного и регрессионного анализа [7]

Параметр	Значение	
	станция «Евробийон»	экспериментальная станция
Коэффициент регрессии A	21,930	24,875
Коэффициент регрессии b	-0,574	-0,585
Коэффициент регрессии c	0,461	0,453
Средняя относительная ошибка уравнения (1) δ_{cp} , %	21,57	20,05
Коэффициент линейной множественной корреляции $r_{y,12}$	0,831	0,864

Как видно из рис. 1 и табл. 1, параметры математической модели для двух станций весьма схожи. Так как расхождение между значениями средней относительной ошибки составляет всего 1,5 %, то с некоторым допущением можно сказать, что обе станции обладают одинаковой эффективностью.

Для сравнительной оценки надежности работы двух станций воспользуемся критерием Фишера, используемым при проведении корреляционного и регрессионного анализа для доказательства статистической гипотезы об адекватности полученной математической модели – регрессионного уравнения (1).

Классическое выражение для определения расчетного значения критерия Фишера имеет вид [8, 9]:

$$F_p = \frac{\sigma_{ad}^2}{\Delta_{max}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{ad}^2 = \frac{k}{n-l} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{Ti} - Y_{\mathcal{E}i})^2$ – дисперсия адекватности; n – объем выборки случайной величины; k – число параллельных опытов; l – число значимых коэффициентов регрессии; $Y_{\mathcal{E}i}$ – линеаризованные экспериментальные значения случайной величины; Y_{Ti} – линеаризованные теоретические значения случайной величины;

$\Delta_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{ei}^2}{n}$ – стандартная ошибка

параллельных опытов; $\sigma_{ei}^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (Y_j - \bar{Y}_j)^2}{k-1}$ –

дисперсии воспроизводимости в параллельных опытах; Y_j – линеаризованные экспериментальные значения случайной величины в параллельных опытах; $\bar{Y}_j$ – среднее арифметическое линеаризованных значений случайной

величины в каждой серии из k параллельных опытов.

Доверительная вероятность p совокупного влияния объясняющих переменных τ и I на зависимую переменную V для двух станций в статистически значимых диапазонах разброса значений случайной величины в параллельных опытах δ_k определим с помощью статистики Фишера [9] с учетом выполнения условия [8]:

$$1 < F_p < F_T = f[q, n-l, n \cdot (k-1)], \quad (3)$$

где F_T – табличное (критическое) значение критерия Фишера; $q = \frac{\sigma}{\bar{V} \cdot \sqrt{n}}$ – действительный уровень значимости; σ – стандартное отклонение случайной величины; $\bar{V}$ – среднее арифметическое случайной величины.

В табл. 2 приведены значения статистических параметров, необходимых для определения доверительной вероятности p совокупного влияния объясняющих переменных τ и I на зависимую переменную V для двух малогабаритных станций биологической очистки сточных вод.

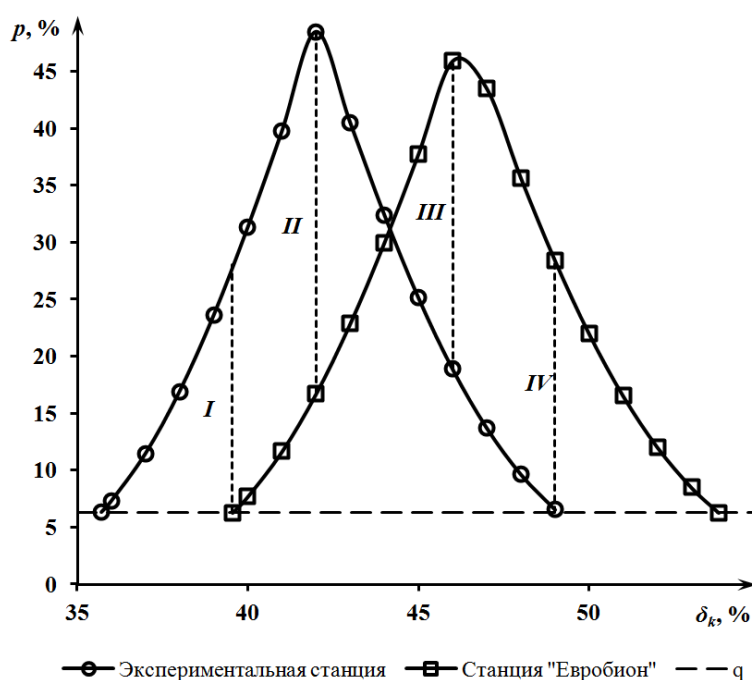
На рис. 2 приведен график зависимости доверительной вероятности p , вычисленной на основании данных табл. 2 с помощью табличного процессора MS Excel, от процентного разброса значений случайной величины в параллельных опытах δ_k .

Из рис. 2 следует, что при одинаковом разбросе δ_k доверительная вероятность p для экспериментальной станции на 26,9 % выше, чем для станции «Евробийон»: среднее значение для положительных разностей ординат в диапазоне границ I-II и отрицательных разностей ординат в диапазоне границ III-IV (функция распределения меняет знак на противоположный).

Таблица 2

Значения статистических параметров,
необходимых для определения доверительной вероятности p

Параметр	Значение	
	станция «Евробийон»	экспериментальная станция
Объем выборки случайной величины n	50	50
Число параллельных опытов k	3	3
Число значимых коэффициентов регрессии l	3	3
Разброс значений случайной величины в параллельных опытах δ_k , %	39,55 ÷ 53,80	35,72 ÷ 49,00
Действительный уровень значимости q , %	6,3	6,3
Расчетное значение критерия Фишера F_p	1,001 ÷ 1,445	1,001 ÷ 1,445
Табличное (критическое) значение критерия Фишера F_T	1,446	1,446

Рис. 2. Зависимость $p = f(\delta_{cp})$ для оценки надежности работы
двух малогабаритных станций биологической очистки сточных вод

Полученный математический результат с физической точки зрения означает следующее. При одних и тех же условиях и одинаковой эффективности, надежность работы экспериментальной станции биологической очистки сточных вод на 26,9 % выше, чем для станции «Евробийон». В связи с этим экспериментальная станция обладает значительно большей устойчивостью к изменению технологического режима работы.

Таким образом, разработанный метод позволяет достаточно просто и эффективно, с точки зрения инженерной практики, выполнить сравнительную оценку надежности работы любого технологического оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машиностроение: энциклопедия. Т. IV-3. Надежность машин / В. В. Клюев [и др.]; под ред. К. В. Фролов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 592 с.
2. Надежность в машиностроении: справочник; под общ. ред. В. В. Шашкина, Г. П. Карзова. – СПб.: Политехника, 1992. – 719 с.
3. ГОСТ 27.204-83 «Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности». – М.: Издательство стандартов, 1984.
4. Фёрстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Фёрстер, Б. Ренц. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 303 с.
5. Пат. № 2455239 РФ, МПК C02F3/02, C02F3/12. Способ эффективной очистки сточных вод и устройство для эффективной очистки сточных вод / Бобылёв Ю. О. – заявл. 03.12.2010; опубл. 10.07.2012.

6. П. м. № 173044 РФ, МПК C02F3/30, C02F3/12, C02F3/22 / Ясакин В. В., Дугин Е. А., Новиков А. Е., Пын-
дак В. И. – заявл. 23.08.2016; опублик. 08.08.2017.

7. Оценка работоспособности малогабаритных стан-
ций биологической очистки коммунальных стоков при
переменных нагрузках / А. Е. Новиков, П. С. Васильев,
Е. А. Дугин, М. И. Филимонов // Известия Нижневолж-
ского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее

профессиональное образование. – 2021. – № 3 (63). –
С. 344–355.

8. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента в хими-
ческой технологии: учеб. пособие / А. Г. Бондарь, Г. А. Ста-
тюха. – К.: Высшая школа, 1976. – 186 с.

9. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая стати-
стика для инженеров и научных работников / А. И. Коб-
зарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

УДК 66.048.3

А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, Н. А. Прохоренко, П. С. Васильев
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ
ПО ПАРОВОЙ ФАЗЕ В РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЕ*

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: pahp@vstu.ru

Показано, что известный метод определения локальной скорости пара в сечении ректификационной ко-
лонны с помощью трубки Пито-Прандтля по высоте столба манометрической жидкости может приводить
к значительным погрешностям из-за неучета влажности паровой фазы и, соответственно, ее плотности. Вы-
ведены формулы для расчета влажности пара исходя из теплового баланса ректификационной колонны для
насыщенного пара и реальной тепловой мощности. Приведены результаты расчетов локальных плотностей
пара, его влажности, высоты столба манометрической жидкости и скорости как функции радиуса.

Ключевые слова: структура потока, гидродинамика, газодинамика, скорость потока, профиль скорости,
массообмен, тепломассообмен, ректификация.

A. B. Golovanchikov, N. A. Merentsov, N. A. Prokhorenko, P. S. Vasiliev
EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STEAM PHASE VELOCITY
PROFILE IN RECTIFICATION COLUMN

Volgograd State Technical University

It is shown that the known method of determining the local steam velocity in the section of the rectification col-
umn using the Pitot-Prandtl tube by the height of the column of the manometric liquid can lead to significant errors
due to the absence of accounting for the humidity of the vapor phase and its density, respectively. Equations for cal-
culation of steam humidity based on thermal balance of rectification column for saturated steam and actual thermal
power are derived. The results of calculations of local densities of steam, its humidity, height of column of
manometric liquid and velocity as a function of radius are given.

Keywords: flow structure, hydrodynamics, gas dynamics, flow rate, velocity profile, mass exchange, heat and
mass exchange, rectification.

Известный и хорошо зарекомендовавший
себя метод определения профиля скорости га-
зовой и жидкой фаз основан на измерении вы-
соты h столба манометрической жидкости как
функции радиуса аппарата и определении ло-
кальной скорости w по формуле [1]:

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_m \cdot g \cdot h}{\rho}}, \quad (1)$$

где ρ_m и ρ – соответственно плотности мано-
метрической жидкости и газовой (паровой) фа-
зы в аппарате.

В литературе [2–5] приводятся примеры
расчетов профиля скорости газов и жидкостей

как функции радиуса в трубах, тарельчатых
и насадочных цилиндрических колонных аппа-
ратах, определяемого с помощью трубки Пито-
Прандтля по формуле (1) при различных режи-
мах течения. Однако такой экспериментальный
метод определения профиля скорости сопряжен
с весьма большими неточностями, связанными
со значительными колебаниями высоты столба
манометрической жидкости.

На рисунке приведен график зависимости
высоты водяного столба жидкости в манометре
как функции времени в лабораторной ректифи-
кационной колонне с кольцевой насадкой Ра-
шига, уложенной внавал [6].

© Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Прохоренко Н. А., Васильев П. С., 2021.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-1287.2020.8 и гранта РФФИ №19-38-90002.

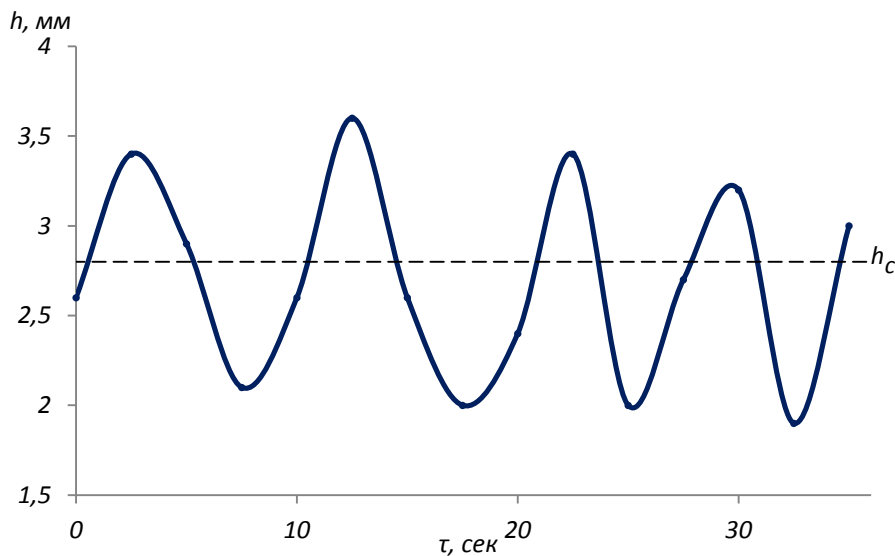


График амплитуды колебаний высоты столба манометрической жидкости по оси насадочной ректификационной колонны для паровой фазы (h_c – среднее значение)

Как видно из рисунка, амплитуда колебаний h относительно среднего значения $h_c = 2,8$ мм составляет более 28 %. Это обстоятельство, вероятнее всего, связано с пульсационным режимом обтекания паром уложенных внавал колец Рашига.

Другой проблемой экспериментального метода определения профиля скорости в ректификационных колоннах на основе измерения высоты столба манометрической жидкости является сложность определения истинной плотно-

сти паровой фазы ρ , создающей динамическое давление в дифференциальном манометре и входящей в знаменатель формулы (1).

Например, при кипении и конденсации воды в лабораторной ректификационной колонне при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (плотность насыщенного водяного пара равна $\rho = 0,59\text{ кг/м}^3$ [7], плотность манометрической жидкости – воды равна $\rho_m = 1000\text{ кг/м}^3$) средняя скорость паровой фазы, рассчитанная по формуле (1) для $h_c = 2,80$ мм (см. рисунок) составит:

$$w_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_m \cdot g \cdot h}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3}}{0,59}} \approx 9,7\text{ м/с}.$$

При этом массовый расход насыщенного водяного пара в лабораторной колонне диаметром $D = 33$ мм составлял бы:

$$q_m = w_c \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho = 9,7 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,033^2}{4} \cdot 0,59 \approx 4,89 \cdot 10^{-3}\text{ кг/с}.$$

Для обеспечения такой производительности по насыщенному водяному пару при флегмовом числе $R \rightarrow \infty$ (колонна работает «сама на себя») и удельной теплоте конденсации $r = 2260\text{ кДж/кг}$ [7] тепловая мощность лабораторной ректификационной колонны должна быть равной:

$$Q = q_m \cdot r = 4,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2260 \cdot 10^3 \approx 11\text{ кВт}, \quad (2)$$

в то время как ее реальная тепловая мощность по паспорту [6] составляет $N = 1,3\text{ кВт}$, т. е. в 8,5 раз меньше.

По всей видимости, это обстоятельство объясняется тем, что в ректификационных ко-

лоннах (а также в выпарных аппаратах и парогенераторах) динамическое давление паровой фазы $\rho \cdot w^2/2$, которое в дифференциальном манометре определяет изменение высоты столба манометрической жидкости, создается влажным, а не сухим насыщенным паром, требующим для своего образования меньших затрат тепловой энергии. В связи с этим определение скорости паровой фазы по формуле (1) при подстановке табличного значения плотности насыщенного водяного пара приводит к более чем 8-кратному увеличению ее расчетных локальных значений.

Для устранения этого противоречия необходимо учесть влажность пара (долю содержащихся в нем капелек воды), для образования которого в лабораторной ректификационной колонне потребляется тепловая мощность 1,3 кВт (такой пар обладает пропорционально своей влажности и меньшим теплосодержанием – энтальпией):

$$N = q_m \cdot (1 - \phi) \cdot r, \quad (3)$$

где ϕ – влажность пара при температуре кипения.

Из последнего выражения получим:

$$\phi = 1 - \frac{N}{Q}. \quad (4)$$

Тогда плотность влажного пара будет равна:

$$\rho_n = (1 - \phi) \cdot \rho + \phi \cdot \rho_s, \quad (5)$$

где ρ_s – плотность воды при температуре кипения.

Для рассмотренного выше примера:

$$\phi = 1 - \frac{1,3}{11} \approx 0,882,$$

$$\rho_n = (1 - 0,882) \cdot 0,59 + 0,882 \cdot 958 \approx 845 \text{ кг/м}^3.$$

Средняя скорость паровой фазы с учетом формулы (5) для $h_c = 2,80$ мм составит:

$$w_c = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3}}{845}} \approx 0,255 \text{ м/с}.$$

Действительный массовый расход влажного пара, исходя из формулы (3), составит:

$$q_m = \frac{N}{(1 - \phi) \cdot r} = \frac{1,3}{(1 - 0,882) \cdot 2260} \approx 4,88 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Таким образом, для определения профиля скорости по паровой фазе в ректификационной колонне с использованием трубки Пито-Прандтля необходимо учитывать реальную влажность пара. Значения локальных скоростей паровой фазы рассчитываются по формуле (1), при этом плотность паровой фазы определяется с учетом действительной потребляемой тепловой мощности N и рассчитанной по формуле (4) влажности пара ϕ , а действительный расход влажного пара – по формуле (3).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / под ред. П. Г. Романкова; 5-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1979. – 256 с.
2. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969. – 621 с.
3. Романков, П. Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.
4. Модели и эффективность процессов межфазного переноса. Часть 1. Гидромеханические процессы / А. Г. Лаптев [и др.]. – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 392 с.
5. Лаптева, Е. А. Гидродинамика барботажных аппаратов / Е. А. Лаптева, А. Г. Лаптев. – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 190 с.
6. Прохоренко, Н. А. Экспериментальное исследование профиля скорости в процессах ректификации: метод. указания / Н. А. Прохоренко. – Волгоград: ВолгГТУ, 2021. – 16 с.
7. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков; под ред. П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

УДК 621.396

А. А. Шилин, Н. С. Кузнецова, Л. А. Коновалова

НАДЕЖНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: eltech@vstu.ru

В статье проведен анализ средств передачи информации, которые можно использовать при мониторинге состояния проводных распределенных систем транспортировки энергоносителей. На основе проведенного анализа обоснованно выбрана сеть GSM со службой GPRS (GSM/GPRS). Рассмотрены вопросы качества и надежности связи. Приведены факторы, влияющие на потери радиосигнала сотовой связи и соответственно на надежность передачи информации. Проведен анализ существующих моделей потерь радиосигнала сотовой связи. Для экспериментального исследования надежности связи разработано устройство и программное обеспечение. Это устройство может быть использовано для определения координат установки датчиков аварийных режимов в системах мониторинга проводных распределенных систем. В качестве примера приведена методика оценки надежности воздушных линий электропередачи с помощью информационно-измерительной системы. Эта методика позволяет обоснованно параметры системы передачи информации для обеспечения необходимой надежности мониторинга.

Ключевые слова: радиосвязь, сотовая связь, качество и надежность сотовой связи, потери радиосигнала при распространении, модели потерь радиосигнала.

A. A. Shilin, N. S. Kuznetsova, L. A. Konovalova

RELIABILITY OF INFORMATION TRANSMISSION WHEN MONITORING THE STATE OF WIRED POWER TRANSPORTATION SYSTEMS

Volgograd State Technical University

The article analyzes the means of information transmission that can be used to monitor the state of wired distributed systems for the transportation of energy carriers. Based on the analysis carried out, a GSM network with a GPRS service (GSM / GPRS) was reasonably selected. The issues of quality and reliability of communication are considered. The factors influencing the loss of the cellular radio signal and, accordingly, the reliability of information transmission are given. The analysis of existing models of cellular radio signal losses is carried out. A device and software have been developed for an experimental study of the reliability of communication. This device can be used to determine the coordinates of the installation of emergency mode sensors in monitoring systems for wired distributed systems. As an example, a methodology for assessing the reliability of overhead power lines using an information-measuring system is given. This technique allows reasonably parameters of the information transmission system to ensure the required reliability of monitoring.

Keywords: radio communication, cellular communication, quality and reliability of cellular communication, radio signal losses during propagation, models of radio signal losses.

Актуальность

В настоящее время в России для передачи энергоносителей от источников к потребителям на большие расстояния используются различные проводные системы: в электроэнергетике это воздушные и кабельные линии электропередачи, а в нефтяной и газовой промышленности трубопроводы. Особенностью таких проводных систем в России является их большая протяженность в сравнении с другими странами. Кроме того, территория России отличается по географическим и климатическим условиям. В различных регионах России на воздушные линии электропередачи могут воздействовать ветровые и гололедные нагрузки, землетрясения, геомагнитные поля и т. д. На газонефтепроводы отрицательное воздействие оказывают землетрясения, просадка грунта, блуждающие токи, химический состав грунта, не санкционированные врезки и т. д. Все эти внешние факторы могут являться причиной серьезных аварий. Так, например, в Волгоградской области сильные ветра вызывали обрыв проводов линии электропередачи, и вследствие короткого замыкания возникали пожары, в результате которых почти полностью сгорело несколько поселков. Кроме того, эти поселки не были покрыты сотовой связью, что не позволило оперативно сообщить в МЧС. Аварии и катастрофы техногенного характера связаны не только с материальными и финансовыми потерями, но с отрицательным воздействием на экологическую обстановку местности. Необходимо отметить, что обеспечение надежной работы проводных систем транспортировки энергоносителей в дальнейшем будет все более усложняться, что связано со старением технических систем. Так, например, в электроэнергетике системы

электроснабжения с помощью воздушных линий электропередачи уже исчерпали свой ресурс. Но в электроэнергетике выбрана стратегия развития.

Единая энергетическая система России характеризуется высокой степенью морального и физического износа, высокими потерями и пониженным уровнем надежности. Поэтому вопрос о создании сети нового поколения, основанной на последних достижениях отечественной и мировой науки и техники, стоит особенно остро.

В настоящее время во многих странах мира ведутся работы по созданию интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid, «умных», в России – активно-адаптивных сетей). Интеллектуальные сети (ИС) – это комплекс технических средств, которые в автоматическом режиме выявляют наиболее слабые и аварийно-опасные участки сети, а затем изменяют характеристики и схему сети с целью предотвращения аварии и снижения потерь. Из вышеперечисленных определений и решаемых задач следует, что основным техническим средством интеллектуальных сетей являются информационно-измерительные системы (ИИС), осуществляющие контроль, управление и решение задач искусственного интеллекта.

По мнению многих экспертов, в умных сетях заложен потенциал, подобный тому, какой имел Интернет в начале цифровой революции в 1996 году. Американская консалтинговая фирма Cisco прогнозирует, что потенциальный рынок «умных» сетей должен быть в 100–1000 раз больше, чем Интернета, а уровень будущих инвестиций в него составит более 100 млрд долларов. Поэтому американское правительство выбрало тему «умных» сетей одним из цен-

тров тяжести государственной инвестиционной политики. В Европе «умными» сетями активно занимается компания «Сименс». Пилотные проекты по использованию «интеллектуальных сетей» появились в США, Китае, Европе, а в последнее время и в РФ. Очевидно, что на первом этапе внедрения интеллектуальных сетей в РФ необходимо оснастить электрические сети информационно-измерительными системами.

Основным критерием, по которому осуществляется управление в интеллектуальных системах, является оценка надежности всех элементов системы. Достоверная информация о надежности участков энергосетей позволяет обоснованно выбирать мероприятия по модернизации этих участков, что особенно важно при ограниченных ресурсах.

В настоящее время надежность систем электроснабжения рассчитывают по упрощенной модели и являются усредненными для всей территории России. Однако уровень аварийности существенно различается по регионам, поэтому все данные необходимо привязывать к определенной территории.

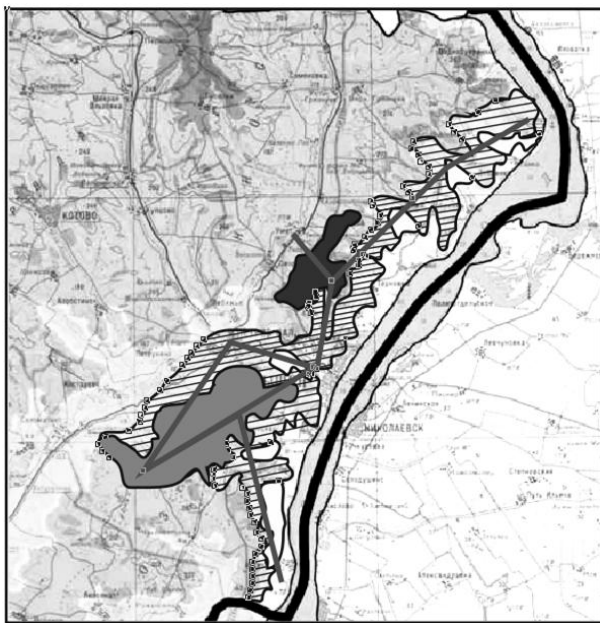


Рис. 1. Региональная карта нормативных районов гололедно-ветровых нагрузок

Наиболее слабым звеном энергосистемы по надежности являются линии электропередач. Традиционно интенсивность отказов рассматривается как постоянная величина для каждого

компонента сети. На практике оказывается, что эксплуатационные нагрузки, условия окружающей среды и срок службы оказывают индивидуальное влияние на частоту отключений каждого компонента сети. Например, частота отключений воздушной линии существенно зависит от проложенного маршрута, так, например, вероятность выхода из строя линии в лесной зоне значительно выше, чем в поле.

Существуют региональные карты нормативных районов по ветровым, гололедно-ветровым нагрузкам и по толщине стенки гололеда. В качестве примера на рис. 1 приведена региональная карта нормативных районов гололедно-ветровых нагрузок для Камышинского района Волгоградской области.

На карте изображены линии электропередачи 110 кВ.

Предлагается дифференциация линии по времени и пространству. Линия разбивается на зоны по гололедным, гололедно-ветровым и ветровым нагрузкам. Каждой зоне присваивается свой коэффициент парциальности (рис. 2). Например, зона S_1 имеет IV район по ветру, II район по гололедно-ветровым нагрузкам, II район по толщине стенки гололеда, зона S_2 имеет IV район по ветру, II район по гололедно-ветровым нагрузкам, IV район по толщине стенки гололеда и т. д.

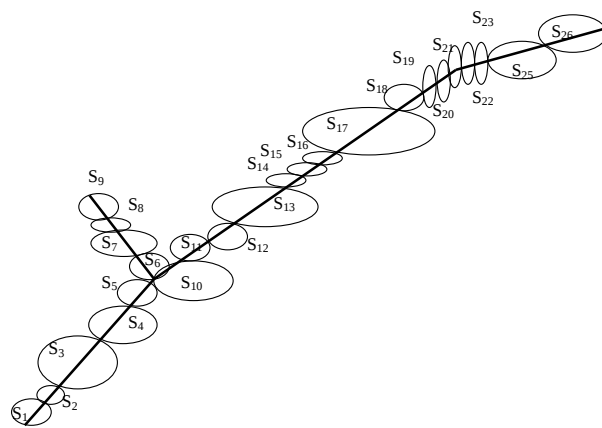


Рис. 2. Разбиение линии электропередачи на участки

Также учитывается время года, когда произошла авария (зима, лето, осень и весна). В модели корректируются коэффициенты в зависимости от времени года и тех нагрузок, которые испытывает линия (табл. 1).

Таблица 1

Весовые коэффициенты отключений линии электропередачи

Время года	Климатические нагрузки	Веса парциальных коэффициентов для зон				
		w(S ₁)	w(S ₂)	w(S ₃)	...	w(S _n)
весна, лето, осень	Ветровые	w _{1_1}	w _{2_1}	w _{3_1}	...	w _{n_1}
зима	Ветровые	w _{1_1}	w _{2_1}	w _{3_1}	...	w _{n_1}
	Гололедно-ветровые	w _{1_2}	w _{2_2}	w _{3_2}	...	w _{n_2}
	гололед	w _{1_3}	w _{2_3}	w _{3_3}	...	w _{n_3}

Интенсивность отказов для ключевых объектов сети можно представить в виде суммы нескольких парциальных коэффициентов отключений, которые определяются различными весовыми коэффициентами. Интенсивность отказов определяют индивидуально для каждого

компонента, основываясь на факторах окружающей среды и данных о надежности участка сети. Общая интенсивность отказов рассчитывается как сумма парциальных весовых коэффициентов отключений [1].

$$\lambda = w_{1_1} \cdot \dots \cdot w_{n_1} \cdot \lambda_1 + w_{1_2} \cdot \dots \cdot w_{n_2} \cdot \lambda_2 + \dots + w_{1_n} \cdot \dots \cdot w_{n_n} \cdot \lambda_n, \quad (1)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ – парциальные коэффициенты отключений компонентов, 1/год; $w_{1_i}, w_{2_i}, w_{n_i}$ – веса i -тых парциальных коэффициентов отключений; λ – общая интенсивность отказов моделируемого компонента, 1/год.

Парциальные коэффициенты вычисляются в зависимости от длины участка линии электропередачи, от интенсивности отказа на этом участке и от срока эксплуатации линии.

Анализ систем передачи информации

Для регистрации аварий и накопления статистики по участкам необходимо оснащение воздушных линий электропередачи датчиками аварийных режимов. Необходимо отметить, что для контроля режимов работы воздушных линий разработаны и выпускаются различные датчики аварийных режимов, оснащенные модемами для беспроводной передачи информации на центральный диспетчерский пункт. Очевидно, что по экономическим соображениям пространственная плотность установки датчиков по длине линии должна учитывать интенсивность отказов участков линии.

Несколько сложнее ситуация в газонефтепроводах, для контроля которых используются визуальные методы с помощью вертолетов и беспилотных аппаратов, а для передачи информации с датчиков в основном используются проводные системы.

Одной из основных задач проектирования информационно-измерительных систем контроля транспортирования проводных энергоносителей является обоснованный выбор каналов связи.

В настоящее время существующие каналы связи можно разделить на две группы: проводные и беспроводные

Проводные каналы в свою очередь разделяются на три подгруппы:

- медные провода;
- сетевые провода высоковольтной линии электропередачи (технология PLC);
- волоконно-оптические линии.

Беспроводные системы большого радиуса действия разделяются на три подгруппы:

- радиоканальные системы;
- GSM системы;
- спутниковые системы.

В энергетике для передачи информации в основном используются следующие каналы передачи информации: высокочастотная связь по высоковольтным линиям электропередачи (технология PLC), УКВ-оптоволоконные линии, радиосвязь и GSM-связь.

Проведем сравнительный анализ этих каналов.

Медные провода. Эта система передачи информации широко применялась и применяется в настоящее время в различных областях и является основной проводной системой.

Технология PLC. Технология Power Line Communication (PLC) разработана для силовых сетей низкого (180–400 В) и среднего (4–60 кВ) напряжения.

Основными преимуществами технологии PCL являются:

- экономия кабеля для передачи информационных сигналов;

– для подключения этой системы не требуется согласований с контролирующими инстанциями;

– электрическая сеть – идеальная среда передачи управляющих сигналов с датчиков охранной сигнализации.

Основными недостатками технологии PCL являются:

– высокий коэффициент затухания сигналов в алюминиевых проводах;

– влияние сетевых помех на работу PLC-сети;

– электрическая сеть при передаче сигналов является источником помех;

– возможность работы только в одной фазе сети;

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

При использовании волоконно-оптические линии связи обеспечивается высокое качество и скорость передачи информации. Волоконно-оптический кабель позволяет увеличить пропускную способность сети и сделать ее максимально «прозрачной» для различных протоколов. Однако высокая стоимость его прокладки ограничивает использование ВОЛС. Кроме того, для передачи информации с датчиков контролируемой линии необходимы устройства сопряжения датчиков с волоконно-оптической линией.

Радиосвязь. В настоящее время для беспроводного обмена информацией широко применяются радиорелейные линии. Предельный радиус действия беспроводных радиоканалов – 80 км (без использования ретрансляторов). Однако при передаче информации с помощью радиорелейных линий возникает проблема, связанная с искажением или даже потерей сигнала из-за засоренности радиоэфира. К тому же само радиооборудование является источником помех. Кроме того, для радиосвязи необходимо получение лицензии на использование радиоканала.

Сотовая связь. В современном мире наиболее быстрыми темпами развивается сотовая мобильная связь, которая решает проблему роста числа абонентов в условиях ограниченного частотного ресурса. В сотовой связи реализована идея разбиения обслуживаемой территории на небольшие участки – соты, а каждая сота обслуживается передатчиком с ограниченным радиусом действия на фиксированной частоте. Такое техническое решение позволяло использовать ту же самую частоту повторно одновременно в нескольких сотах, находящихся

ся на удалении не менее одного защитного интервала. Кроме того, в сотовой связи реализованы алгоритмы цифровой обработки шумоподобных сигналов и защиты информации. В качестве способа передачи информации в GSM-системах используются SMS-сообщения, модемное соединение, передача тоновых посылок и режим пакетной передачи сообщений GPRS. Появление режима GPRS позволило существенно снизить затраты на эксплуатацию систем безопасности. На сегодняшний день беспроводные системы безопасности на базе GSM получили достаточно широкое распространение благодаря их относительно невысокой стоимости и простоте установки и эксплуатации. Однако существенным недостатком подобных систем является низкий уровень помехозащищенности и надежности передачи информации. Поэтому GSM-системы имеют ограниченное применение, но они применяются в качестве резервных каналов связи проводных каналов связи.

Необходимо отметить, что в энергетике уже широко используется сотовая связь для передачи информации в автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). В отечественных системах мониторинга воздушных линий – индикаторах короткого замыкания (ИКЗ) фирмы «АНТРАКС» для передачи информации используется GPRS-канал. Датчики аварийных режимов с модемами устанавливаются на опорах линий электропередач.

Спутниковые системы. Эти системы используют в качестве каналов связи спутниковую связь («ГлобалСтар», «Иномарсат», «Гурайя»). Спутниковые системы применяются для контроля и охраны удаленных объектов, в местах, где отсутствует мобильная и проводная связь. Главным недостатком этих систем является высокая стоимость как абонентского оборудования, так и затрат на эксплуатацию. С другой стороны, для решения задач охраны удаленных одиночных объектов данные системы не имеют другой альтернативы.

Из проведенного анализа следует, что для передачи информации о режимах работы распределенных и протяженных систем транспортирования энергоносителей с экономической точки зрения целесообразно использовать беспроводные системы, среди которых наибольшим преимуществом обладает сотовая связь GSM/GPRS.

При проектировании таких информационно-измерительных систем с целью обеспечения высокой надежности передачи информации необходимо обоснование выбора координаты установки датчиков с модемами на опорах и высоты опор. Для решения этой задачи необходимо провести анализ энергетических потерь сигнала на трассе. Проведем анализ основных моделей потерь сигнала, с целью их использования в проектировании систем мониторинга на примере систем мониторинга воздушных линий электропередачи.

Радиосигнал сотовой связи, который передается от передающей антенны базовой станции (БС) к приемной мобильной станции (МС), на своем пути встречает различные препятствия, которые уменьшают его уровень. Потери в большей степени зависят от частоты сигнала [2]. К настоящему времени зарубежными учеными разработано большое число моделей распространения радиоволн и оценки потерь, которые являются функцией расстояния, несущей частоты и других параметров [3]. Величина потерь на трассе между парой антенн определяется отношением от передаваемой мощности к принимаемой мощности обычно выражается в децибелах [4]. Причинами потерь уровня сигнала сотовой связи являются следующие факторы: отражение, дифракция и рассеяние [5].

– отражение происходит при взаимодействии электромагнитной волны с гладкой поверхностью, размеры которой во много раз больше длины волны сигнала;

– дифракция возникает при взаимодействии электромагнитной волны с поверхностью, размеры которой больше длины волны сигнала, в этом случае генерируются новые вторичные волны;

– рассеяние происходит при взаимодействии электромагнитной волны с неровной поверхностью, размеры которой равны или меньше, чем длина волны сигнала.

Модели прогнозирования потерь сигнала на трассе условно подразделяются на два типа: эмпирические и теоретические. Эмпирические модели обычно представляют собой набор уравнений, полученных в результате обширных полевых измерений. Эмпирические модели являются простыми и эффективными в использовании, однако они точны для сред с характеристиками, идентичными характеристикам сред, где проводились измерения. Входные параметры для эмпирических моделей, как правило,

качественные и не очень конкретные, например, плотная городская площадь, сельская местность, и так далее. Одним из главных недостатков эмпирических моделей является то, что они не могут быть использованы для различных сред без изменений. Теоретические модели строятся на основе предположения некоторых идеальных условий. Теоретические модели более эффективны, чем эмпирические модели [3].

Для решения конкретной задачи, а именно выбора опоры для установки датчика с радиопередающим устройством и координат установки антенны относительно опоры проведем анализ различных моделей распространения радиосигнала.

Модели потерь

при распространении радиосигнала

Модель Хата. Модель Хата (англ. Hata) возникла в результате адаптации эмпирических формул к графикам, составленным Окамурай с соавторами на основе результатов полевых испытаний.

Модель Хата широко используется в разных странах. Модель в качестве основы рассматривает городской район, а для другого беспорядка (пригородных или сельских районов и открытых площадок) вводится коррекция факторов. Эта модель имеет четыре входных параметра:

Передающая частота (f_c), значения которой должны быть в пределах между 150 МГц и 1500 МГц.

Высота передающей антенны (h_{BTS}) значение должно находиться в диапазоне 30–200 метров.

Высота приемной антенны (h_{MS}) – в пределах от 1 до 10 метров.

Расстояние между БС и МС (R) должно принимать значения от 1 км до 10 км. Хата предложил следующие эмпирические формулы.

Городской район: застроенный город или большой город с большими домами и зданиями с двух или более этажами, большие села с близко построенными домами и высотными зданиями с густо выращенными деревьями.

$$L_{dB} = A + B \lg R - E, \quad (2)$$

где $A = 69,55 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_{BC}$;

$$B = 44,9 - 6,55 \lg h_{BC};$$

$$C = 4,78(\lg f_c)^2 - 18,33 \lg f_c + 40,94;$$

$$D = 2(\lg(f_c / 28))^2 + 5,4;$$

для больших городов $f_c \geq 400$ МГц

$$E = 3,2(\lg(11,7554 \cdot h_{MC}))^2 - 4,97;$$

для больших городов $f_c \leq 400$ МГц

$$E = 8.29 \left(\lg(1.54 h_{MC}) \right)^2 - 1.1;$$

для средних и малых городов

$$E = (1.1 \lg f_c - 0.7) h_{MC} - (1.56 \lg f_c - 0.8).$$

Открытая площадь: открытое пространство, нет высоких деревьев или зданий в пути, земельный участок очищен на 300–400 м вперед, например, поля.

$$L_{dB} = A + B \lg R - E - C. \quad (3)$$

Пригородный район: деревня или шоссе с разбросанными деревьями и домами, некоторые препятствия вблизи мобильного приемника.

$$L_{dB} = A + B \lg R - E - D. \quad (4)$$

Модель Хата дает хорошие результаты для систем сотовой связи первого поколения, но не

$$L_{dB} = 46.3 + 33.9 \lg f - 13.82 \lg h_b - a h_m + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \cdot \lg d + C_m, \quad (5)$$

где $a h_m = (1.1 \lg f - 0.7) h_m - (1.56 \lg f - 0.8)$; C_m – постоянная величина: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью $C_m = 0$ и для центров крупных городов $C_m = 3$.

Формально модели Окамуры, Хата и COST-231-Хата можно использовать только для высоты антенны базовой станции, превышающей 30 м, однако их применение возможно и для более низких высот при условии, что соседние строения значительно ниже антенны.

Модель COST#231-Хата не подходит для оценки затухания сигнала при расстояниях между подвижной и базовой станциями менее 1 км. В этом случае затухание сильно зависит от топографии местности, в которой происходит распространение сигнала. Эту модель также нельзя использовать для оценки распространения сигнала по улицам с высокими строениями (по так называемым уличным каньонам) [8].

Модель Ли. Ли (англ. W.C.Y. Lee) предложил очень простую модель распространения сигнала, основанную на серии проведенных в США измерений на несущей частоте $f_c = 900$ МГц. Эта статистическая модель состоит из двух частей. Первая часть используется для предсказания потерь при распространении радиоволн над относительно плоской поверхностью, без принятия во внимание территориаль-

ных особенностей. Эта модель не позволяет учитывать любые факторы с помощью коррекции параметров, как в модели Окамура [7].

Модель COST-231-Хата. Могенсен (англ. Mogenssen) с соавторами предложил расширить модели Окамуры и Хата на частотный диапазон от 1,5 до 2 ГГц. В этом диапазоне использование упомянутых моделей приводит к недооценке затухания сигнала. Модель COST-231-Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2 ГГц, высоте антенны базовой станции от 30 до 200 м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10 м и расстоянию между ними от 1 до 20 км. Модель позволяет оценивать затухание по формуле

ных особенностей. Во второй части в качестве основы используется результат, полученный в первой части, но выполняется более точное предсказание с учетом влияния окружающей среды. При прямой видимости между приемником и передатчиком учитывается только влияние отраженных радиоволн. Если условие прямой видимости не выполняется, то моделируется дифракция радиоволн на препятствиях вдоль пути распространения сигнала. Согласно модели Ли, основная часть потерь при распространении определяется выражением

$$P_r = P_{r0} \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\gamma} \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-n} \cdot \alpha_0, \quad (6)$$

где P_r – мощность сигнала в ваттах на расстоянии r от передатчика; f – частота сигнала; P_{r0} – мощность сигнала в точке пересечения линии распространения с препятствием на расстоянии $r_0 = 1,6$ км от передатчика; γ – параметр, учитывающий степень кривизны поверхности; n – степень частотной зависимости; α_0 – поправочный коэффициент, зависящий от высоты установки антенн, мощности передатчика, коэффициентов усиления передающей и приемной антенн.

Модель позволяет также определить мощность принимаемого сигнала в дБ:

$$P_r \text{ (дБм)} = P_{r0} - 10 \cdot \gamma \cdot \lg \left(\frac{r}{1.6} \right) - 10 \cdot n \cdot \lg \left(\frac{f}{900} \right) + 10 \cdot \lg(\alpha_0) \quad (7)$$

Модель Ли может быть применена для более общего случая, когда радиоволны рас-

пространяются в различных условиях. В этом случае должны быть известны коэффициенты

кривизны поверхностей γ областей и их границы.

Параметры P_{r0} и γ зависят от характеристик

окружающей среды и были определены статистически на основе измерений в ряде городов (табл. 2).

Таблица 2

Значения P_{r0} и γ для различных типов окружающей среды

Тип среды	P_{r0} , дБ	γ , дБ на декаду
Свободное пространство	–41	20,0
Сельская местность, редкая застройка	–40	43,5
Пригород, небольшой город	–54	38,4
Филадельфия	–62,5	36,8
Нью-Йорк	–55	43,1
Токио	–78	30,5

Множитель n принимает следующие значения: $n = 2$ для пригородов и диапазона $f < 450$ МГц, $n = 3$ для городов и $f > 450$ МГц. Параметр α вычисляется по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{h_B^2 \cdot h_M^m \cdot P_{\text{прд}} \cdot G_{\text{прд}} \cdot G_{\text{прм}}}{37161,3^m} \quad (8)$$

где $P_{\text{прд}}$ – мощность передатчика БС, Вт; $G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$ – коэффициенты усиления антенн; h_B и h_M – высоты антенн базовой и мобильной станций; $m = 1$ при $h_M < 3$ м и $m = 2$ при $h_M > 10$ м.

Модель Д. Бертони-Уолфиш. Компактная модель Бертони-Уолфиш прекрасно решает задачи расчета потерь радиосигнала в различных городских районах. Эта модель позволяет рассчитывать потери не только на трассе свободного пространства, но и потери, учитывающие влияние крыш и высоты зданий. Частотный

диапазон модели в городской среде составляет 800 МГц ÷ 2000 МГц.

В этой модели кроме основных параметров, таких как частота связи (f), расстояние между передатчиком и приемником (D), высоты передающей и приемных антенн h , h_m , есть еще два других ключевых параметра: высота здания (h_b) и расстояние между зданиями (d_b). Эффективность модели Бертони-Уолфиш выше, чем других, поскольку она использует как экспериментальные и так и теоретические подходы. Однако модель расчета потерь Бертони-Уолфиш подходит не для каждого городского района, из-за различия параметров h_b и d_b . Поэтому при применении этой модели необходимо учитывать конкретные значения этих двух параметров. Потери на трассе по модели Бертони-Уолфиш определяются с помощью выражения:

$$L = L_0 + 57.1 + \lg(f) + 18\lg(D) - 18\lg(h - h_b) + A - 18\lg\left(1 - \frac{D^2}{17(h - h_b)}\right), \quad (9)$$

где L_0 – потеря на трассе в свободном пространстве; f – частота (МГц); A – член, учитывающий

воздействие здания, и который определяется с помощью выражения:

$$A = 5\lg\left[\left(\frac{d_b}{2}\right)^2 + (h_b - h_m)^2\right] - 9\lg(d_b) + 20\lg\left[\tan^{-1}\left(\frac{2(h_b - h_m)}{d_b}\right)\right], \quad (10)$$

где d_b – расстояние между рядами зданий (по центрам) в метрах; h_b – средняя высота здания в метрах; h_m – высота мобильной антенны в

метрах; h – высота антенны передатчика базовой станции в метрах.

Бертони-Уолфиш модель показана на рис. 3.

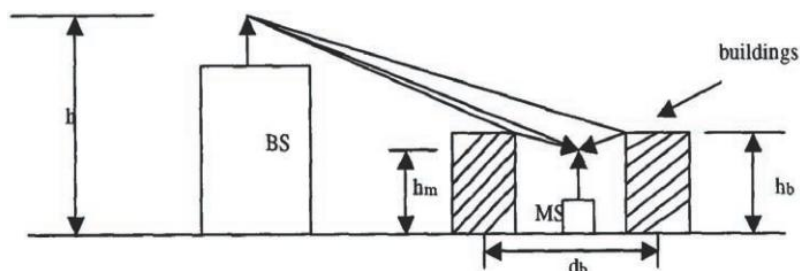


Рис. 3. Схема модели распространения Бертони-Уолфиш

Для модели Бертони-Уолфиш рекомендуются следующие условия: диапазон частот $f - 800 \text{ МГц} \div 2000 \text{ МГц}$; диапазон расстояний $D - 0.2 \div 5 \text{ км}$. Параметры h_b и d_b очень важны для расчета потерь на трассе по модели Бертони-Уолфиш и они могут варьироваться для конкретной городской среды. Поэтому при использовании модели Бертони-Уолфиш эти параметры должны быть обобщены.

Анализ потерь радиосигнала

На основе проведенного анализа моделей, которые наиболее применимы для решения за-

дачи передачи информации об аварийных режимах воздушных линий электропередач, разработана компьютерная программа [9]. Эта программа позволяет для конкретных условий выбрать модель и по заданным параметрам вычислить потери сигнала и, соответственно, выбрать опору для установки датчиков и координаты установки их на опорах. Интерфейс программы показан на рис. 4, в окнах которого указаны модели и параметры расчета: расстояние станциями БС и МС; частота сигнала; высоты антенн.

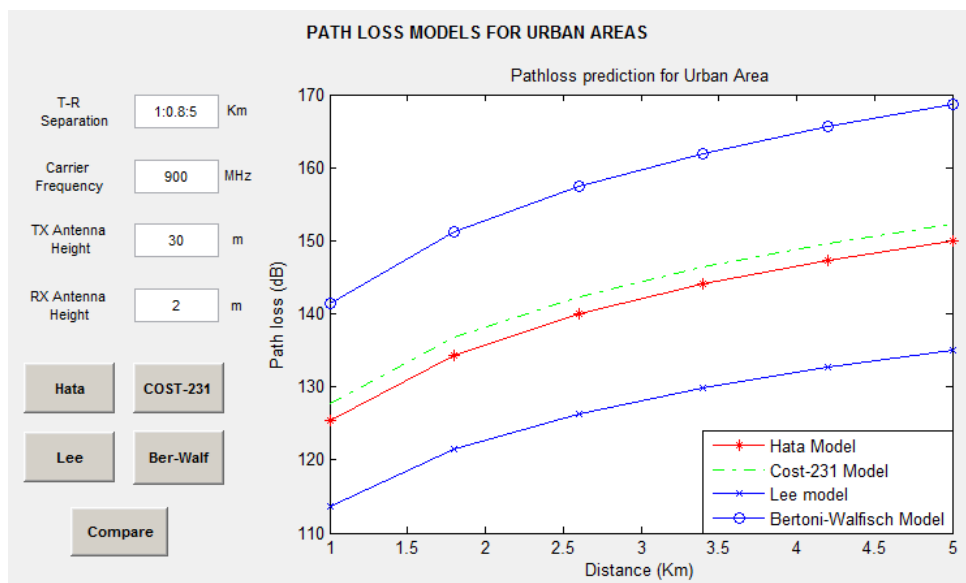


Рис. 4. Интерфейс программы для анализа потерь

Таблица 3

Основные параметры моделирования

Параметры	Значения
Передаваемая мощность БС	10Вт
Коэффициент усиления антенны БС	6 дБ
Коэффициент усиления антенны МС	0 дБ
Высота антенны базовой станции	30 м
Высота антенны МС	2 м
Несущая частота	900 МГц

Для сравнения точности моделей распространения были проведены исследования [3, 6, 7], которые показали, что модель Окамура-Хата позволяет получать результаты близкие к реальным результатам. Поскольку потери радиосигнала зависят от частоты сигнала, высоты антенны мобильной станции и различных рельефов местности, то проведем анализ потерь в зависимости от этих параметров и факторов по модели Хата. Результаты моделирования потерь показаны на рис. 5, 6 и 7, соответственно.

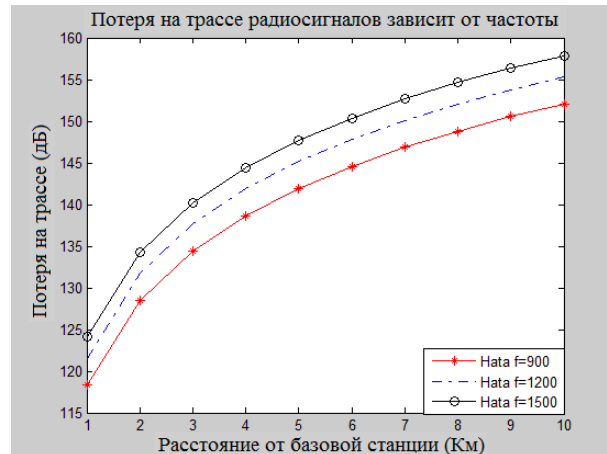


Рис. 5. Зависимости потерь на трассе от расстояния при различных частотах радиосигнала

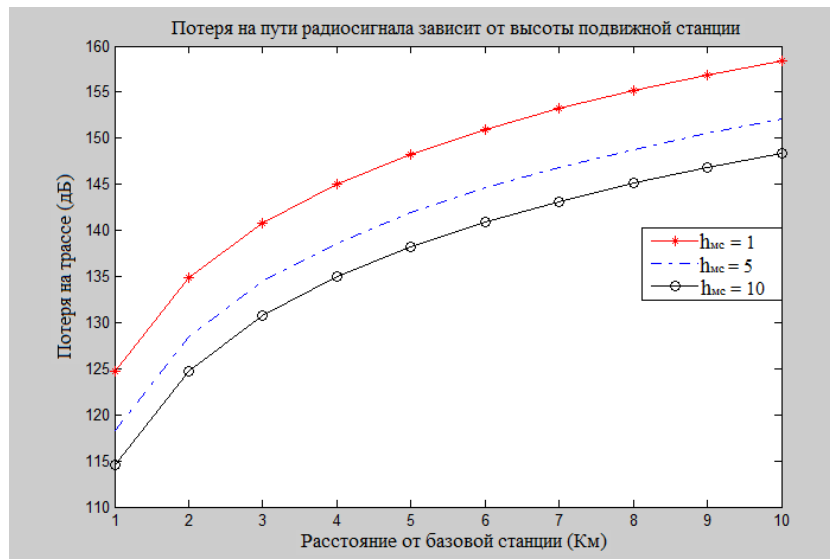


Рис. 6. Зависимости потерь на трассе от расстояния для различных высот мобильной антенны

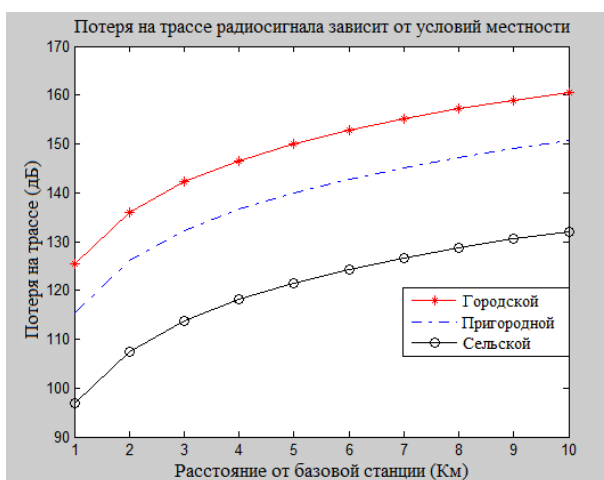


Рис. 7. Зависимости потерь на трассе от расстояния для различных рельефов местности

Из проведенного анализа следует следующие выводы:

- при расчете в окружающей среде города по модели Бертони-Уолфиш получаются максимальные потери, по модели Ли – минимальные потери;
- с увеличением частоты потери радиосигнала на трассе увеличиваются;
- с увеличением высоты мобильных станций потери радиосигнала на трассе уменьшаются;
- потери радиосигнала в городской местности выше, чем потери в пригородной местности, а потери в пригородной местности выше, чем, потери в сельской местности.

Выводы. Приведенная методика анализа потерь позволяет обоснованно выбирать координаты установки (опоры линий электропередачи) мобильной станции, высоту антенны и частоту сигнала для обеспечения высокой надежности

передачи информации в информационно-измерительных системах мониторинга воздушных линий электропередачи и, соответственно, надежности регистрации аварийного режима.

Оценка надежности передачи данных связи

В рекомендациях Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии различные приложения, которые могут использовать передачу данных через сети GSM со службой GPRS (GSM/GPRS), характеризуются профилем качества обслуживания QoS. Значения параметров качества QoS определяются следующими показателями[10]:

- приоритетом;
- задержкой;
- надежностью;
- пиковой пропускной способностью;
- средней пропускной способностью.

В теории надежности технических систем используется несколько показателей надежно-

сти. В системах мобильной связи для оценки надежности используется показатель надежности – вероятность надежной или безотказной работы [10]:

$$P_d = \frac{\text{Число успешных попыток соединения}}{\text{Число попыток соединения}}, \quad (11)$$

В GSM/GPRS обеспечивается пять классов надежности. Каждый класс определяет вероятность потери, дублирования или ошибочного изменения последовательности пакетов. Путем комбинации режимов GTP (GPRS Tunneling Protocol), LLC (Logical Link Control) и RLC (Radio Link Control) устанавливаются параметры производительности для каждого класса надежности. Фактически GSM/GPRS позволяет выбирать нужные характеристики надежности в очень широком диапазоне возможностей.

Классы надежности и их характеристики приведены в табл. 4 [10].

Таблица 4

Уровни надежности

Класс	Режим GTP	Режим кадров LLC	Режим защиты данных LLC	Режим блоков RLC	Тип трафика
1	СП	СП	З	СП	Не в реальном времени (приложения чувствительны к ошибкам), не способен справиться с потерей данных
2	БП	СП	З	СП	Не в реальном времени (приложения чувствительны к ошибкам), способен справиться с редкими случаями потери данных
3	БП	БП	З	СП	Не в реальном времени (приложения чувствительны к ошибкам), способен справиться с потерей данных GMM/SM и SMS
4	БП	БП	З	БП	В реальном времени (приложения чувствительны к ошибкам), способен справиться с потерей данных
5	БП	БП	НЗ	БП	В реальном времени (приложения нечувствительны к ошибкам), неспособен справиться с потерей данных

Примечание. СП – с подтверждением; БП – без подтверждения;
З – защищенный; Н – незащищенный

Для трафика не в реальном времени требуется самая высокая надежность, потому что класс приложения не может обработать поврежденные данные и потери. Если трафик в режиме реального времени, то класс приложения может управлять повторной передачей и, таким образом, нижние классы требуют меньшую надежность.

Обычно классы надежности 2–4 предпочтительны, в этом случае 2-й класс является идеальным. Причина такого предпочтения в том, что в этом случае можно управлять надежно-

стью физической линии (качеством) на интерфейсе Gn, и поэтому они обеспечивают надежность на GTP интерфейсе, который обычно в UDP (User Datagram Protocol)-режиме. В этом случае не возникает повторных передач и, следовательно, обеспечивается лучшая пропускная способность.

Передача данных в режиме LLC проходит через радио интерфейс, как в режиме RLC. Вероятность повреждения данных мала в режиме LLC, если RLC является надежным, но вероятность нарушения порядка высока, так как в LLC

и *RLC* классах происходит высокая степень сегментации.

Классы приложения с различными уровнями надежности должны иметь возможность обнаруживать ошибки, при работе на более высоком классе надежности. Если ошибки не исправляются *GPRS* классами, то они должны быть на классе приложения. Для тестовых целей не может быть обеспечена защита на классе приложения, и поэтому невозможно выполнять соответствующие измерения появления ошибок на этом классе, а ошибки должны быть измеряться с помощью *UDP* на *IP* (*Internet Protocol*) классе на полученных и генерационных концах данных [11].

Теоретически технология *GPRS* обеспечивает требования разработчиков к *QoS*, но на практике это выполняется не всегда. Причиной этому является то, что трафик услуг передачи данных, обрабатываемый с использованием технологии *GPRS* в сети *GSM*, всегда имеет вторичный приоритет по сравнению с речевыми услугами, т. е. для его передачи используется, как правило, незадействованный ресурс радио интерфейса *Um*. Поскольку этот незадействованный ресурс вносит временную неоднородность и не всегда точно известен, то нельзя гарантировать изначально его полное использование для услуг *GPRS* и, следовательно, гарантировать качество услуг *QoS*. Кроме того, на транспортных уровнях (интерфейс *Gb*) невозможно осуществить разделение потоков данных разных пользователей и придать им отдельно соответствующие (требуемые) атрибуты качества *QoS*.

На основе спецификаций технологии *GPRS*, разработанных *ETSI*, определены показатели *QoS*, которые, в свою очередь, определяют классы надежности и требования к потерям данных при передаче пакетов с учетом вероятности их потери, вероятности повторной пере-

дачи пакетов, вероятности нарушения порядка приема пакетов и вероятности нарушения структуры пакетов. Надежность передачи данных характеризует допустимый процент ошибок в канале, а также требования к нему конкретного приложения сети [10]. Например, протокол *TCP* (*Transmission Control Protocol*) в *TCP/IP* управляет потоком данных очень тщательно и в случае потери пакетов начинает повторную передачу. Таким образом, приложения поверх *TCP/IP* классов, таких, как *HTTP* или *FTP*, могут рассчитывать на идеальную передачу независимо от того, происходит потеря пакетов или нет. С другой стороны, приложения на основе *UDP* в значительной степени зависят от правильной передачи и должны (в идеале) работать только через надежные соединения. Необходимо отметить, что сложно определить разные уровни надежности, так как передача либо надежна или нет. Однако при статистическом подходе относительная надежность может быть определена в течение нескольких передач. Так, например, *GPRS* предлагает гибкое решение для различных потребителей путем введения трех различных классов надежности.

В табл. 5 [12, 13] приведены три класса надежности вместе с максимальными вероятностями для различных вариантов: потерянного *SDU*, повторной *SDU*, нарушения порядка приема *SDU* и нарушения структуры *SDU*.

Введенные обозначения:

а) – для защиты от переполнения буфера или неисправности протокола, существует максимальное время удержания для каждого *SDU* в *GPRS* сети, после чего *SDU* отбрасывается. Максимальное время удержания зависит от используемых протоколов (например, *TCP/IP*);

б) – вероятность нарушения *SDU* является вероятностью того, что *SDU* будет доставлен пользователю с необнаруженной ошибкой.

Таблица 5

Классы надежности

Класс надежности	Вероятность потерянного <i>SDU</i> (а)	Вероятность повторной <i>SDU</i>	Вероятность нарушения порядка приема <i>SDU</i>	Вероятность нарушения структуры <i>SDU</i> (б)	Пример характеристики приложений
1	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	Чувствительность к ошибкам, нет возможности исправления ошибок, ограничен допуск к ошибкам.
2	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	Чувствительность к ошибкам, ограничена возможность исправления ошибок, хороший допуск к ошибкам.
3	10^{-2}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-2}	Не чувствительность к ошибкам, возможность исправления ошибок, очень хороший допуск к ошибкам.

Для конкретной задачи выбирается и необходимый класс надежности.

Сеть может быть не в состоянии предоставить требуемый класс надежности. Если в случае высокой загрузки системы требуемый класс надежности не может быть реализован (например, ранние *GPRS* сети работают на основе «максимальное усилие»), то запрос должен быть пересмотрен [12].

Класс надежности сотовой связи определяет вероятность потери, дублирования, неправильной последовательности или повреждения сервисных блоков данных *SDUs* [13].

Сервисные блоки данных *SDUs*, которые получают повреждения на интерфейсах, могут быть доставлены до конечного применения. В связи с проблемами на интерфейсах и в процессе повторной передачи, *SDUs* также могут быть дублированы и прибыть в конечный узел. *GPRS* не оказывает услуги «хранения-и-переадресация». Клиентам в режиме реального времени данных *GPRS* обеспечивает буферами для хранения информации по маршруту, чтобы компенсировать дефицит ресурсов. Задержки в получении ресурсов или транспортировки информации далее зависят от протоколов и используемого оборудования. Если срок хранения *SDUs* в буфере истекает, то они могут быть отброшены с помощью *GPRS* узла и эти *SDU* будут потеряны [11].

Надежность передачи данных характеризуется вероятностью следующих событий:

1. Передача терминальным устройством *DTE* абонента необходимой команды для получения IP-соединения.
2. Получение необходимого ответа от шлюзового узла поддержки *GGSN* базовой инфраструктуры *GPRS*.
3. Передача необходимой команды конечному серверу передачи данных.
4. Получение необходимого ответа от конечного сервера передачи данных.

Таким образом, вероятность доступа к услугам определяются по формуле (11).

Соединение считается успешным, когда терминальное устройство абонента получает от сервера передачи данных необходимый ответ [10].

Например, для услуги передачи голоса, вероятность успешного выполнения вызовов определяется по формуле:

$$P_{\text{вызов}} = \frac{\text{Число успешных попыток вызовов}}{\text{Число попыток соединения}}. \quad (12)$$

Вызов считается успешным – вызовы, закончившиеся ответом станции вызываемого абонента, включая не ответ, занятость вызываемого абонента, либо вызовы, закончившиеся ответом оператора о том, что абонент находится вне зоны обслуживания или его аппарат выключен.

Экспериментальное определение надежности передачи данных

Fastrack M1306B является полнофункциональным сотовым модемом промышленного исполнения, предназначенным для использования в сетях *GSM/GPRS* для применения в machine-to-machine (промышленных) приложениях. Он имеет меньшие размеры по сравнению с предыдущим поколением и новые функции – 2 доступных входа/выхода общего назначения, последовательное автоотключение, позволяющее уменьшить потребление энергии. Fastrack M1306B двух диапазонный модем 900/1800 МГц, имеющий все необходимые сертификаты, гарантирует совместимость *GPRS* класс 10 и поддерживает мощную открытую платформу Open AT, позволяющую создавать пользовательское программное обеспечение, совместимое с любыми промышленным или IT протоколами.

Некоторые важные характеристики и архитектура модема Fastrack M1306B следующим образом (рис. 8):

Частотные диапазоны

Характеристика	E-GSM 900	DCS 1800
Частота TX	от 880 до 915 МГц	от 1710 до 1785 МГц
Частота RX	от 925 до 960 МГц	от 1805 до 1880 МГц

Рис. 8. Уровни частот

Радиочастотные характеристики соответствуют рекомендациям ESTIGSM 05.05. Радио-

частотные характеристики для приемника и передатчика указаны в приведенной ниже рис. 9.

Приемник	
E-GSM900 Относительная чувствительность	-104 dBm Статический & TU High
DCS1800 Относительная чувствительность	-102 dBm Статический & TU High
Избирательность @ 200 кГц	> +9 dBc
Избирательность @ 400 кГц	> +41 dBc
Линейный динамический уровень	63 dB
Межканальное подавление	>= 9 dBc
Передатчик	
Максимальная выходная мощность (E-GSM 900) при температуре окружающей среды	33 dBm +/- 2 dB
Максимальная выходная мощность (DCS1800) при температуре окружающей среды	30 dBm +/- 2 dB
Минимальная выходная мощность (E-GSM 900) при температуре окружающей среды	5 dBm +/- 5 dB
Минимальная выходная мощность (DCS1800) при температуре окружающей среды	0 dBm +/- 5 dB

Рис. 9. Радиочастотные характеристики приемника и передатчика

Внешняя антенна. при помощи SMA разъема. Параметры внешней антенны приведены на рис. 10.

Внешняя антенна подключается к модему

Частотный диапазон антенны	Двухдиапазонный GSM 900/DCS 1800 МГц
Импеданс	50 Ом номинальное значение
DC импеданс	0 Ом
Усиление (антенна + кабель)	0 dBi
VSWR (антенна + кабель)	-10 дБ

Рис. 10. Характеристики внешней антенны

На рис. 11 изображена функциональная блок схема модема

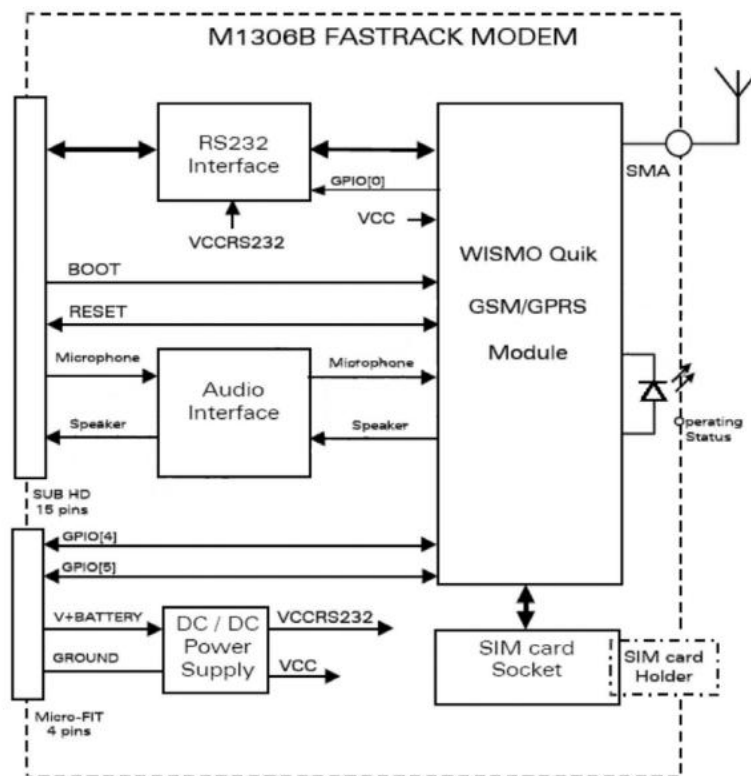


Рис. 11. Функциональная блок-схема модема

Для экспериментального исследования надежности сотовой связи с помощью GSM модема была разработана компьютерная программа управления экспериментом [9]. С помощью программы управления подается 1000 звонков на три различных телефонных номера. После окончания вызова, время ожидания до последующего звонка 1 минута. Вызывающая

программа посылает команды *AT* к модему, а затем получает обратно ответ (табл. 6), который базовая станция посылает в модем. Затем анализируются ответы – успех или неуспех, как показано на рис. 9. Команда *ATD* используется для установления голосового вызова, вызова в режиме данных или факсового вызова. Ответ на *ATD* команду будет один из следующих [15]:

Таблица 6

Варианты ответов от базовой станции

Обозначение	Результирующий код (буквенный)	Описание
St1	BUSY	Если вызываемая сторона уже проводит сеанс связи
St2	NO ANSWER	Если вызов не принят в течение определенного времени ожидания.
St3	NO CARRIER	Соединение вызова не удалось или вызываемая сторона дала отказ. Команда AT+CEER позволяет узнать причину неудачи.
St4	OK	Если соединение успешно установлено, только для голосовых вызовов.

	Номер телефона	Статус 1	Статус 2	Статус 3	Длительность 1, с	Длительность 2, с	Длительность 3, с	Время
1	89178365985	St1	St2	St2	45	49	47	06.11.2015 11:16:40
2	89616742472	St2	St1	St1	96	5	3	06.11.2015 11:19:18
3	89608816817	St2	St2	St2	95	96	95	06.11.2015 11:22:42
4	89178365985	St3	St4	St2	6	39	14	06.11.2015 11:25:13
5	89616742472	St3	St2	St2	5	23	96	06.11.2015 11:26:05
6	89608816817	St2	St4	St2	97	92	95	06.11.2015 11:31:00
7	89178365985	St2	St2	St2	50	48	48	06.11.2015 11:34:24
8	89616742472	St2	St2	St2	96	96	95	06.11.2015 11:38:35
9	89608816817	St2	Набор но...		96			06.11.2015 11:41:53
10	89178365985							
11	89616742472							

Рис. 12. Окно результатов эксперимента

Обработка результатов эксперимента, а именно определение отношения количества успешных звонков к общему количеству звонков (12) позволяет определить надежность. Так, например, в эксперименте с общим объемом 1000 звонков, из них пять звонков не были ус-

пешными, и вероятность надежной работы составила 0,995 %.

Выводы. Поскольку надежность сотовой связи зависит от различных факторов и аналитически рассчитать ее точно практически невозможно, то для решения этой задачи целесо-

образно использовать экспериментальные методы исследования. Для экспериментального исследования надежности сотовой связи было разработано устройство с программным обеспечением на базе компьютера и модема Fastrack M1306B. Это компактное устройство малой мощности может найти широкое применение в промышленных приложениях. Так, например, это устройство может быть использовано для определения координат установки датчиков аварийных режимов в ИИС мониторинга воздушных линий электропередачи для обеспечения надежной связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Режим доступа: <http://market.elec.ru/nomer/20/analiz-nadezhnosti-kak-element/>
2. Mishra A.R. Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G. Evolution to 4G / Wiley-Interscience, 2004. 304 p.
3. Singh V. Signal strength estimation of wireless communication system. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). Volume 3. Issue 8, August 2014. 2612 -2612 p.
4. Saunders S. R. Antennas and propagation for wireless communication systems.- Wiley, New York, 1999. 409 p.
5. Saveeda P. Received Signal Strength (RSS) Calculation for GSM Cellular System at BSNL Pondicherry using Modified HATA Model. Vinothini E.; Vardhi S.; Ayyappan K.- International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Volume 2, Issue 1, January 2013, pp 43-48.
6. Dotche K. A. Effect of path loss model on received signal: Using Greater Accra, Ghana as case study. Diawuo, K.; Ofori, W. K.-Wireless Telecommunications Symposium (WTS), 2012, vol., no., pp.1,6, 18-20 April 2012.
7. Tilotma Y. Signal Strength Estimation and Comparison with Measured Signal Strength for Mobile Cellular Communication. Partha P, Bhattacharya.- International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 2, Issue 6, June 2013, pp 2098-2101.
8. Печаткин, А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. Принципы организации, функционирования и частотного планирования систем мобильной связи. Рыбинск: РГАТА, 2008. 122 с.
9. Шилин, А. А. Оценка надежности передачи данных в сотовой связи. Информатизация и связь / А. А. Шилин, Ле Фу. –2016. – № 2. – 7–15.
10. Бабков, В. Ю. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль, управление: Горячая линия-Телеком / В. Ю. Бабков, П. В. Полынцев, В. И. Устюжанин. – 2005. – 160 с.
11. Agilent General Packet Radio Service (GPRS) Network Optimization Measurement Challenges Using Drive Testing Application Note 1377-2.
12. Geoff S., Lionel T., Manfred R., Oliver R., Stefan D. GprsNetworks. Germany: Wiley, 2004. 304с.
13. ETSI EN 301 113 V6.3.1 (2000-11). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 1. European Standard (Telecommunicationsseries), 1997. 32с.
14. GPRS пакетная радиопередача данных. – Режим доступа : <http://www.sbi-telecom.ru/gprs-paketnaya-radioperedacha-dannyh.html>
15. Руководство по использованию АТ-команд для разработчиков телекоммуникационного оборудования. – Режим доступа : http://www.ivtechno.ru/files/at_com.pdf
16. Ле Суан Фу. Система передачи информации о режимах работы воздушных линий электропередачи: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16 / Ле Суан Фу. – ВолгГТУ, Волгоград, 2016 – 152 с.

УДК 222.111

А. В. Сомов, С. С. Дементьев

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДИСТИЛЛЯЦИИ ВОДЫ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: direktor7033@mail.ru

В статье приведена аналитическая информация о качестве воды и существующих проблемах в этой сфере и в частности Волгоградской области. Предложен один из способов как в современных условиях изготовить дистиллятор и пользоваться им, а так же для конкретного случая в сельских районах области обоснованно выбирать метод использования питьевой воды.

Ключевые слова: качество воды, РН воды и методы очистки воды.

A. V. Somov, S. S. Dement'ev

WATER DISTILLATION CONTROL SYSTEM

Volgograd State Technical University

The article provides analytical information about water quality and existing problems in this area and in particular the Volgograd region. One of the ways to make a distiller and use it in modern conditions is proposed, as well as for a specific case in rural areas of the region, it is reasonable to choose a method of using drinking water.

Keywords: water quality, water PH and water treatment methods.

По аналитическим оценкам автора Юлии Лыновой, водоснабжение области осуществляется за счет как поверхностных, так и подземных вод.

Большинство населения области обеспечивается водой из поверхностных источников.

Подземные воды являются важным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения, хотя по качественным показателям они не всегда соответствуют предъявляемым требованиям.

На территории области используются преимущественно пресные воды с минерализацией до одного грамма на кубический дециметр, на юге (Котельниковский, Октябрьский районы) и в Заволжье, где пресные воды встречаются редко, используются воды с минерализацией до трех граммов на один кубический дециметр.

Эксплуатация водоносных горизонтов производится большей частью с использованием одиночных скважин, реже – групповых водозаборов, при этом преобладает автономное водоснабжение отдельных объектов (предприятий, ферм и др.), даже если они располагаются в пределах одного и того же населенного пункта. Центральные усадьбы сельских хозяйств, как правило, снабжаются водой из групповых водозаборов с количеством скважин от 2–3 до 5–7 и более.

Качество подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, в отдельных случаях не соответствует предъявляемым требованиям для питьевой воды в частности по содержанию железа, солей жесткости и некоторых других компонентов. В основном это связано с отсутствием вод лучшего качества. Перспективы улучшения водоснабжения имеются на значительной части территории области. При отсутствии кондиционных вод непосредственно на объектах потребителей в ряде мест имеется потенциальная возможность получить такие воды на некотором удалении от этих объектов путем создания групповых водозаборов на участках с более благоприятными гидрогеологическими условиями.

Гидрогеологические условия большей части северных и центральных районов области по долинам рек Дон, Иловля, Медведица, Хопер, междуречью Волги и Иловли, левобережью Волги благоприятны для полного удовлетворения потребностей народного хозяйства в воде на ближайшее будущее.

Неблагоприятными гидрогеологическими условиями характеризуются восточные районы

Заволжья, где по имеющимся сведениям пресные подземные воды встречаются редко в виде небольших линз, приуроченных к отрицательным формам рельефа. Водоснабжение этой части территории области возможно только за счет поверхностных вод Волгоградского водохранилища или опреснения солоноватых и соленых вод хазарского горизонта.

Следует отметить, что обеспечение населения водой требуемого качества носит особый социальный характер.

Так, при употреблении более двух лет высокоминерализованной воды (высокое общее содержание солей или минерализация) с сухим остатком на уровне 3000 мг/л, как правило, отмечается склонность к гипертензивным состояниям, появлению реактивности сосудов, а также изменениям в водно-солевом равновесии. Потребление воды с высокой степенью минерализации до 2000 мг/л ускоряет процессы старения организма.

Высокое содержание сульфатов, даже на уровне допустимых 500 мг/л, может оказывать неблагоприятное влияние на функцию желудочно-кишечного тракта, что проявляется снижением кислотности желудочного сока и диареей.

Установлено, что употребление для питьевых целей вод с содержанием хлоридов от 1,5 до 3 предельно-допустимых концентраций может оказывать неблагоприятное действие на здоровье населения, проявляющееся повышением как общей, так и онкологической смертности, заболеваниями органов кровообращения, пищеварения, мочеполовой системы.

Превышение содержания жесткости в питьевой воде, т. е. совокупности свойств, обусловленных содержанием в воде ионов кальция, магния повышает распространенность язвенной болезни, увеличивает возможность развития патологических эффектов в виде отложения солей в мочевыводящих путях, гиперкальциурия, изменения водно-солевого и белково-липидного обмена.

Повышенное содержание нитратов может превращаться в организме в нитрозамины с выраженным канцерогенным действием, вызывать нитратную метгемоглобинемию, оказывать токсическое действие на печень. (Превышение содержания нитратов обычно выявляется в источниках децентрализованного водоснабжения).

Избыток железа в воде в первую очередь может оказывать токсическое влияние на печень, селезенку, головной мозг, усиливать вос-

палительные процессы в организме человека, приводить к кожным высыпаниям и повышению аллергизации.

Повышенное содержание кремния может приводить к мочекаменной болезни.

Превышение допустимых концентраций по хлороформу, образуемому в процессе хлорирования воды, может оказывать неблагоприятное влияние на генетический аппарат соматических и половых клеток, вызывая развитие злокачественных новообразований и цитогенетических нарушений у населения.

На сегодняшний день около 38 процентов населения, проживающего в сельской местности региона, не обеспечены услугами централизованного водоснабжения и использует в хозяйственно-питьевых целях воду из родников, общественных колодцев, а также индивидуальных скважин, в некоторых селах жителям осуществляется подвоз воды.

Централизованные системы водоснабжения имеются в 799 сельских населенных пунктах области.

Наибольший дефицит в питьевой воде наблюдается в сельских населенных пунктах Калачевского, Светлоярского Ленинского, Быковского, Палласовского, Старополтавского, районов.

Водозаборные и очистные сооружения в большинстве населенных пунктов области выработали свой ресурс, а выделяемых финансовых средств недостаточно для их модернизации и внедрения новых водоочистных технологий.

Негативно влияет на качество питьевой воды отсутствие обеззараживающих установок на водозаборах.

В Волгоградской области в течение последних лет большинство ведомственных водопроводов, ранее принадлежавших сельским хозяйствам (многие из которых признаны банкротами), переданы на балансы администраций сельских поселений, не имеющих средств и материальной базы для осуществления их эксплуатации и проведения планово-профилактических ремонтов.

Водопроводные коммуникации выполнены в основном из стали и эксплуатируются длительное время. Водопроводные трубы в результате нарушения целостности перестают выполнять функцию защиты питьевой воды.

На сегодняшний день в Волгоградской области можно выделить ряд вопросов, требующих незамедлительного решения в целях обес-

печения стабильности и качества предоставления услуг по водоснабжению, а также развития водопроводно-канализационного хозяйства, а именно:

1) существенный износ основных фондов водопроводно-канализационного хозяйства, в том числе сетей;

2) отсутствие в ряде сел сооружений для очистки и обеззараживания питьевой воды до требуемых нормативов;

3) дефицит питьевой воды в отдельных городах и в ряде сельских населенных пунктов;

4) технологическая сложность в осуществлении приготовления и подачи воды соответствующего качества жителям ряда населенных пунктов области;

5) несоответствие проб воды источников водоснабжения требуемым нормативам (в ряде населенных пунктов области вода из подземных источников характеризуется повышенными значениями соединений железа – до 2–10 ПДК, высокими показателями жесткости – более 10 мг-экв/дм³);

6) необходимость строительства канализационных очистных сооружений, либо проведения реконструкции существующих, направленной на совершенствование очистки, с целью предотвращения сбросов не нормативно очищенных сточных вод в водные объекты, являющиеся источниками питьевого водоснабжения;

7) необходимость внедрения нового экологически безопасного метода очистки воды непосредственно в водоеме;

8) низкий уровень тарифов на водоснабжение и водоотведение, сдерживаемый предельными индексами, и не позволяющий зачастую покрыть затраты предприятий на основную деятельность (при этом для обеспечения инвестиционной привлекательности отрасли необходимо действие экономически обоснованных тарифов);

9) отсутствие в поселениях производственных баз, квалифицированных специалистов для производства работ по эксплуатации и модернизации объектов водопроводного хозяйства, а также финансовых возможностей на покрытие разницы в тарифах.

В г. Волгограде за последние 10–15 лет не построено ни одного сооружения, улучшающего технологию очистки и подготовки воды. Все станции очистки воды работают по технологии 50–60 годов прошлого века. Оборудование для обеззараживания питьевой воды на некоторых

ВОС соответствует стандартам безопасности сорокалетней давности, автоматизация контроля и дозирования реагентов отсутствует, износ разводящих сетей составляет 80–90 %, что приводит к частым порывам в течение года при эксплуатации.

В сравнительном анализе отбора проб по микробиологическим показателям качества питьевого водоснабжения из разводящей сети в Волгограде составляет :

- по санитарно-химическим показателям из разводящей сети нестандартных проб составило:
 - 2018 год – 4,0 %;
 - 2019 год 5,8 %.
- из подземных источников:
 - 2018 год – 11,6 %;
 - 2019 год – 8,7 %.
- из поверхностных источников нестандартных проб:
 - 2018 году – 1,3 %;
 - 2019 году – 2,3 %.
- из подземных источников нестандартных проб:
 - в 2018 году составило – 30,1 %;
 - в 2019 году – 39,6 %.

По мнению Волгоградского аналитика Геннадия Бисенова, мы узнали, что в крупных городах области ржавые и старые сети еще проходят этап обновления, то в сельской местности ситуация, сложная и во много раз хуже. С 2010 года началась реализация региональной программы «Чистая питьевая вода». Речь шла о дополнительной доставке питьевой воды в те сельские поселения, где ее дефицит: ряд мест юго-запада области, Октябрьский, Паласовский районы. Но проект не был реализован полностью.

XXI век, а мы постоянно возвращаемся к тому, что вода в наших кранах не отвечает всем требованиям безопасности. Получается, круговой комплекс, система контроля качества воды безнадежно застряли в прошлом и требуют новых стандартов и вложений на современные системы контроля.

Сам собой напрашивается вопрос, а чем потенциально опасна вода из Волги?

Во первых в волжской воде выше всяких норм содержание природной органики, а также продуктов деятельности предприятий в бассейне реки. Наибольшую опасность для здоровья человека несут устойчивые соединения хлора и органических примесей.

Угроза номер один – диоксины – сложные соединения с «вкраплением» молекулярного

хлора, которых раньше в природе не существовало. Но с появлением заводов, а в нашем регионе много производств, где используется хлор, диоксины попали в реку, их обнаруживают в почве и даже в молоке кормящих матерей.

Диоксины опасны для человека, они ломают внутриклеточный генетический механизм, отключают иммунитет, даже мизерное количество диоксинов в организме опасно!

Это своего рода химический СПИД, горькая плата за «химизацию» нашей жизни.

Так в США с диоксиновым синдромом столкнулись лет 40 назад. В семьях военных, вернувшихся с войны во Вьетнаме с ее «химатаками», стали рождаться дети с врожденными уродствами, нарушениями ЦНС.

При достижении нейтральных показателей организм способен к самоизлечению.

Ниже приведены некоторые показатели измерений параметров известных нам жидкостей

- Талая вода: ОВП = +95, pH = 7.0.
- Вода, настоянная на шунгите: ОВП = +250, pH = 6.0.
- Вода из водопровода: ОВП = +160 (чаще ОВП больше, до +600), pH = 4.0.
- Вода кипяченая: ОВП = +218, pH = 4.5, спустя 3 часа: ОВП = +465, pH = 3.7.
- Вода минеральная: ОВП = +250, pH = 4.6.
- Чай черный: ОВП = +83, pH = 3.5
- Чай зеленый: ОВП = +55, pH = 4.5.
- Coca-Cola: ОВП = +320, pH = 2.7.
- Кофе: ОВП = +70, pH = 5.0.
- Вода Coral Main: ОВП = -150/-200, pH = = 7.5/8.3.
- Микрогидрин, Н-500: ОВП = -200/-300, pH = 7.5/8.5.
- Архыз: ОВП = +60, pH = 6,5.

В сегодняшнем мире у большинства людей pH меньше 7.0, что говорит о закисленном состоянии организма.

Это обычно связывают с экологией и несбалансированным питанием. Большая часть жидкостей, которые мы привыкли пить, и продуктов, попадающих в наш организм, имеют повышенный уровень кислотности. Так, например, сахар, мучные изделия (хлеб в/с), газировка имеют pH = 3.

Строительный клеточный материал не поступает в клетки в условиях повышенной кислотности, *поэтому происходит разрушение мембраны*. Ученый в области биохимии Отто Варбург из Германии, обладатель Нобелевской премии в 1931 пришел к выводу, что нехватка

кислорода в клетках ($pH < 7.0$) провоцирует переход здоровых клеток в раковые. Он выявил, что раковые опухоли не разрастаются в среде, обогащенной кислородом с уровнем $pH = 7,5$ и больше. Это наблюдение говорит, что рак развивается, когда повышается кислотность жидкости. Его приемники в 60-х годах XX века доказали, что при уровне $pH = 7,5$ и больше любая болезнетворная флора не может размножаться, и при таком pH наш иммунитет без труда борется с неблагоприятными для организма явлениями.

Ответ на вопрос, какую воду необходимо пить – щелочную (pH не менее 7,5). Слабощелочная реакция характерна для всех основных жизненных сред (pH крови = 7.43, даже незначительное уменьшение pH до 7.1 приводит к гибели).

Для решения этой проблемы, как изготовление собственного аппарата и автоматики для дистилляции жидкости и последующее применение этого аппарата для самостоятельного изготовления необходимой чистой воды путем смешивания слабощелочной среды и получения воды близкой к (pH крови = 7.43,).

По нашему мнению нам необходим аппарат с автоматическим процессом управления перегонки осуществляется «по жидкости», а наблюдение за температурой «по пару» (или наоборот, на выбор).

Принципиальная схема (управление ТЭНом).

ТЭН подключается к розетке (к второму выходу розетки подключается лампа накаливания в качестве индикатора), расположенному на выходе блока управления.

Питания устройства осуществляется от сети 220 вольт, но при острой необходимости, возможны варианты от 24–127 вольт. В разрыв одной линии сети включается электронный регулятор мощности, управляемый переменным сопротивлением. В разрыв другой линии сети включаются контакты силового реле, обмотка которого питается от сети и управляется вручную или автоматически по командам от электронного цифрового термостата. Таким образом, включение/выключение нагрузки и управление мощностью осуществляются одновременно и параллельно. Необходимая мощность подбирается в процессе работы.

Выбор режима осуществляется переключателем Ручной-Автоматический. В ручном режиме силовое реле включается/выключается тумблером. В автоматическом режиме – кон-

тактами внутреннего (маломощного) реле в составе платы термостата.

Индикаторный светодиод на выход подключается через резистор 33 кОм. Другой светодиод – установлен из платы терморегулятора.

Установка температуры срабатывания реле осуществляется по инструкции от терморегулятора.

Термометр установлен для дополнительной индикации.

Оба датчика температуры одинаковы и взаимозаменяемы (в том числе «на горячую», т. е. в процессе работы).

Все питается от импульсного источника питания AC/DC 220/12 на 1,2А.

Регулятор ВМ071 на 3 кВт Регулятор штатный переменный резистор 68 кОм тип А, симистор посажен на термопасту.

Для лучшего охлаждения был установлен кулер на 12 вольт размером 40×40 мм.

Электронное цифровое термореле МР8030.

Теоретически можно применить термостат МР8037R.

Температурные датчики Dallas DS18B20.

Электрическое силовое реле РП21-003 УХЛ4. Три контакта на 5А включены параллельно.

Необходимо установить электронное реле sharp S216S02F, но возможна замена схемы, так, как это реле управляется постоянным током 50 мА. Таким образом, без учета внутреннего сопротивления, возможно подключение на управление 12 вольт от источника питания через резистор 200 Ом или он должен иметь меньшие параметры.

Электронный цифровой термометр STH0014UY желтого свечения (для различия с красным свечением индикатора термореле).

Блок питания импульсный PW 12125 PS. Лучше использовать сборку в корпусе PW1221B.

Разъемы под датчики – акустические на три провода, достаточно надежные, в том числе и с механической фиксацией.

Все монтируется в пластиковом корпусе.

Расположение следующее (справа налево, сверху вниз).

Разъемы под датчики, вентилятор (кулер) 12 вольт 40×40 мм.

Тумблеры выбора ручной/автоматический и ручного включения/выключения, плата термостата, плата термометра, резистор регулятора мощности, индикаторные светодиоды крас-

ного свечения на отдельных держателях, кнопки управления термостатом.

Плата регулятора мощности, силовое реле, блок питания.

Розетка подключения ТЭНа и внешней лампы накаливания 40 Вт для дистанционной индика-

ции, тумблеры управления, дисплеи термореле и термометра, светодиодные индикаторы, движок управления регулятором мощности (отградуировано в единицах мощности, что соответствует напряжениям 230 В – 1, 190 В – 0,75, 160 В – 0,5, 110 – 0,25), кнопки управления термореле.

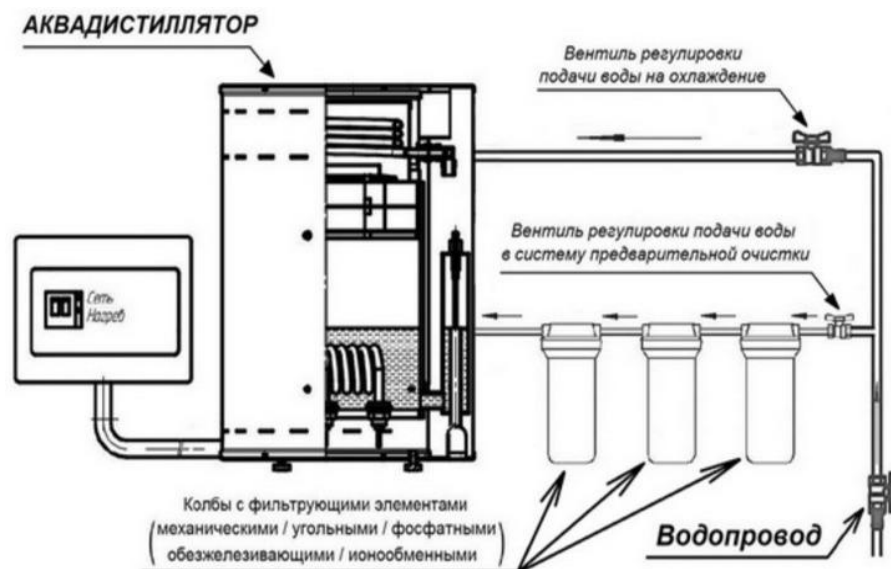


Рис. 1. Схема бытового дистиллятора для воды

Для установки датчиков используют стандартную водопроводную арматуру.

В зависимости от объема куба используют любой дистиллятор.

Автоматика облегчает управление и наблюдение за процессом дистилляции. На сам процесс дистилляции, конечно, это радикальным образом не влияет и, в принципе, можно обойтись без лишних электрических схем.

Наиболее полезен регулятор мощности.

Термостат работает по температуре жидкости и используется для автоматического конечного отключения установки по окончании процесса (в целях безопасности). Настройка отключения при $T_2 = 99$ град., настройка включения $T_1 = 45$ град (для надежного включения). T_2 подобрано экспериментальным путем, хотя теоретически должно быть 98,9 град. Видимо, сказываются теплопотери и атмосферное давление.

Опыт работы.

Конечно, есть соблазн не собирать аппарат самостоятельно, а приобрести в специализированном магазине и потратить определенную сумму.

В нашем случае мы предлагаем собрать аппарат самостоятельно, значительно снизив финансовые затраты.

Новое в управлении ТЭНом то, что сигнал на включение и отключение симистору ВТА41-800В дает не реле, а оптопара со встроенной микросхемой, которая отслеживает прохождение переменного тока через ноль, и в этот момент происходит переключение [4].

Контроллер запитывается от блока питания на 12В и от него же берется питание для вентилятора, с понижением через автомобильный юсб-адаптер до 5 вольт, для снижения оборотов вентилятора.

Индикаторы температуры очень удобны для наблюдения за процессом. Но, на «физику» процесса не влияют.

Итак, после заливки 20–25 л простой воды из любого источника (общий объем 30–35л, бак укрыт теплоизоляцией джермофлекс металлизированной), герметизации, установки термодатчика пара, ректификационной колонны (сантиметров 15) в режиме дефлегматора, подключения дистиллятора к холодной воде и подключения электрики и электроники, включаем термостат в автоматическом режиме.

Срабатывает реле и ТЭН (1,5 кВт) подключается на нагрев. Регулятором мощности есть возможность выставить полную мощность. Установленная параллельно ТЭНу, тогда лампа

накаливания светится на полную яркость. Реализуемый процесс называется фракционная перегонка. Наличие дефлегматора позволяет лучше разделить фракции и получить наиболее чистую воду [5].

Температура жидкости (воды) начинает плавно расти. Температура пара практически не растет.

Затем, при начале «процесса» начинает бодро расти температура пара. Это собственно важный сигнал начала процесса (в принципе, холодную воду до этого можно не включать или включить минимально) получается при $T_2 = 95\text{--}97$ град. После этого увеличиваю поток холодной воды и уменьшаю мощность на ТЭНе до 70 % полной мощности. Идет начало процесса – дистилляции воды. Регулятор мощности необходимо установить так, чтобы скорость

подачи была примерно (285 мл за 10 с) получается около 50 % мощности, контрольная лампа светится в четверть накала. Температура растет при $T_2 =$ примерно 96–98 град.

С помощью дистилляторов можно получать воду, не содержащую солей, стерильную по составу и для использования в детских и лечебных учреждениях.

Существуют дистилляторы различного типа. У каждого из них имеются свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе аппаратов.

В качестве бытовых приборов чаще всего используют дистилляторы, с помощью которых можно получить около 4 л очищенной воды за 4–5 часов. Очищенную воду хранят в герметичной таре, не допуская попадания в нее пыли и других посторонних веществ.

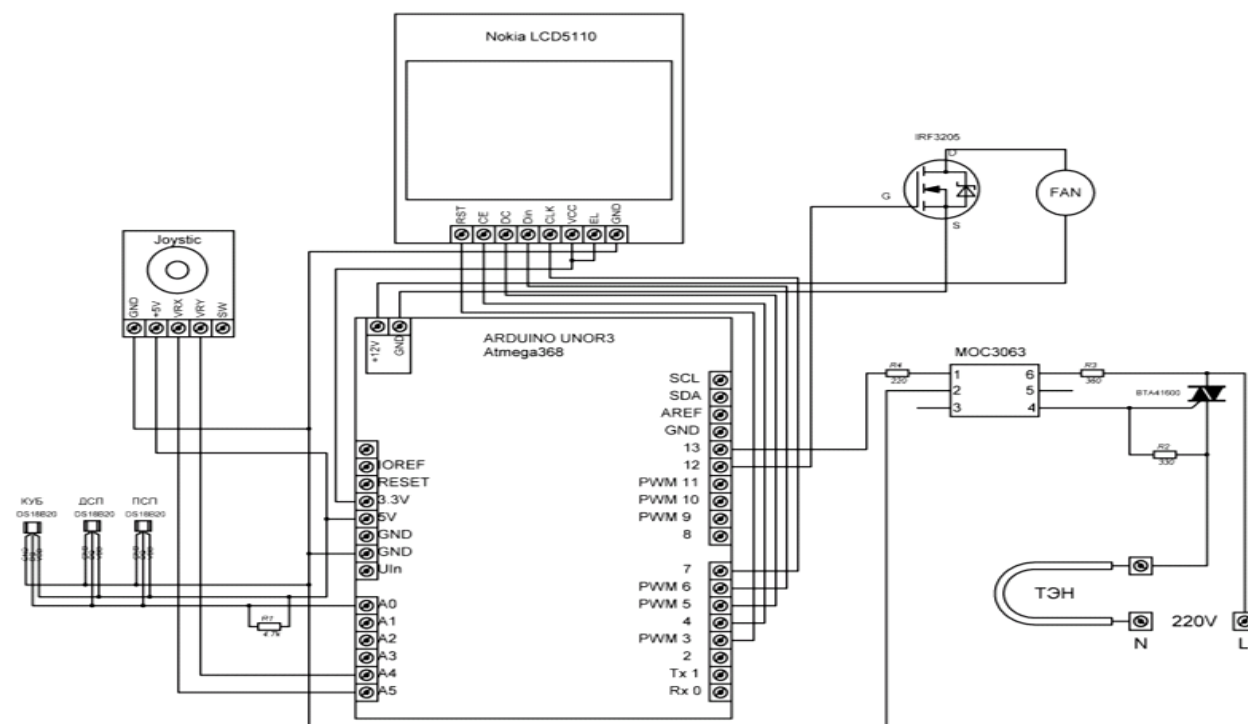


Рис. 2. Схема монтажа дистиллятора для воды

Медики не советуют употреблять только дистиллированную воду и причем постоянно, так как это может обернуться для организма нехваткой полезных минералов. Такую воду рекомендуют пить при лечебном голодании и проведении процедур очищения организма от шлаков. Авторы предлагают иметь чистую воду и впоследствии доводить самостоятельно чистую воду до уровня $pH = 7,5$ и больше, для

того, чтобы любая болезнетворная флора не могла размножаться, и при таком pH человеческий иммунитет без труда борется с неблагоприятными для организма явлениями.

Авторы считают, лучше пить чистую специально подготовленную воду, изготовленную самостоятельно (pH не менее 7,5), с системой управления аппаратом для дистилляции жидкости (т. е. самостоятельное опреснение воды).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ воды - [Электронный ресурс] - 2013 // Хлориды в воде: Официальный сайт
2. *Годин, В. Ю.* Физиологически полноценная питьевая вода (47; 78) для жителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области. – СПб.: НАУКА, 2016.
3. *Толмачева, Н. В.* Эколого-физиологическое обоснование оптимальных уровней макро и микроэлементов в питьевой воде и пищевых рационах: дис.... д-ра. мед. наук / Толмачева Н. В. – М., 2011.
4. *Шилин, А. А.* Анализ источников коммерческих потерь в энергосистеме / А. А. Шилин, Д. А. Сапрыкина // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2019. – № 2 (27). – С. 24–27.
5. *Шилин, А. Н.* Цифровое моделирование динамических процессов электротехнических устройств / А. Н. Шилин, Н. С. Кузнецова, И. А. Коптелова // Энергоэффективность. Ценология. Экология и Энергобезопасность : материалы науч. конф. (г. Астрахань, 16–19 сентября 2020 г.) / под науч. ред. Л. Х. Зайнутдиновой, М. Г. Тягунова ; Астраханский гос. ун-т, Академия электротехнических наук РФ. – Астрахань, 2020. – С. 132–142.

ТРАНСПОРТ

УДК 621.373.512

А. И. Нефедьев, А. В. Сомов, И. В. Самофалов

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: nefediev@rambler.ru

Водители часто сталкиваются с ситуациями, которые могут привести к серьезным дорожно-транспортным происшествиям. Применение систем контроля состояния водителя позволяет снизить количество ДТП. Построение системы контроля на основе фиксации только параметров движения не позволяет точно оценить состояние водителя. Также сложно обеспечить надежное распознавание опасного состояния водителя в различных дорожных и климатических условиях. Была разработана система контроля, базирующаяся на сигналах ЭСУД и дополнительно содержащая две видеокамеры, позволяющая надежно обнаруживать опасное состояние водителя в различных дорожных и климатических условиях.

Ключевые слова: автомобиль, система контроля, состояние усталости, сон, видеокамера, безопасность.

A. I. Nefed'ev, A. V. Somov, I. V. Samofalov

CONTROL SYSTEM OF THE DRIVER'S CONDITION

Volgograd State Technical University

Drivers are often faced with situations that can lead to serious road accidents. The use of driver monitoring systems can reduce the number of accidents. The construction of a control system based on fixing only the movement parameters does not allow an accurate assessment of the driver's condition. It is also difficult to ensure reliable recognition of the dangerous state of the driver in various climatic and road conditions. A control system, based on ECM signals and additionally containing two video cameras, which allows to reliably detect the dangerous state of the driver in various road and climatic conditions was developed.

Keywords: car, monitoring system, fatigue, sleep, video camera, safety.

Известно, что водитель в состоянии усталости не может обеспечить безопасность движения, и это увеличивает риск попадания в дорожно-транспортное происшествие (ДТП) в четыре раза. Состояние водителя сильно зависит от времени суток, от его настроения, от интенсивности дорожного движения [1]. Вероятность засыпания за рулем автомобиля при коротких поездках оценивается как небольшая, но она существенно увеличивается из-за переутомления в длительной поездке.

По статистике, до четверти водителей попадают в ДТП в длительной поездке [2], причем усталость является одной из основных причин ДТП. Согласно исследованиям [3], при нахождении за рулем автомобиля время реакции водителя постепенно увеличивается, и через четыре часа вождения время реакции увеличивается в два раза. Таким образом, у водителя

внимание ухудшается прямо пропорционально времени управления автомобилем.

Состояние утомления связано с характером работы, временем суток и дефицитом сна. При управлении автомобилем, как и при любой профессиональной деятельности, появляется усталость, наступление которой происходит незаметно, особенно в продолжительной поездке. Это приводит к снижению внимания, что повышает риск возникновения ДТП. Вероятность ДТП значительно возрастает между 3:00 и 5:00 часами.

Крупные автопроизводители разрабатывают различные электронные системы контроля состояния водителя для предотвращения аварийных ситуаций еще на стадии их зарождения.

Раньше системы контроля состояния водителя являлись в основном информационными, и только оповещали водителя о наступлении

состояния утомления. Системы контроля состояния водителя в настоящее время позволяют не только определять замедленную реакцию водителя, усталость, сонное состояние, но также имеют возможность вмешиваться в процесс управления автотранспортным средством и предупреждать ДТП.

Первой фирмой, разработавшей и запатентовавшей в 1977 году информационную систему контроля водителя, была японская фирма *Nissan*. Эта система анализировала состояние водителя и стиль управления автомобилем. В начале поездки оценивались следующие параметры: скорость реакции, и это значение принималось за эталонное, затем система контроля непрерывно отслеживала скорость реакции водителя. Если время реакции водителя увеличилось, то система контроля подавала звуковое сообщение с рекомендацией отдыха [4, 5].

Также различные системы контроля разработали фирмы *Mercedes-Benz* (система контроля «*Attention Assist*»), *Volvo* (система контроля «*DAC*»), и *Volkswagen* (система контроля «*Emergency Assist*»).

В последнее время появилось множество новых компаний, занимающихся разработкой систем контроля движения. Такие системы производят *Seeing Machines* (Австралия), *Smart Eye AB* (Швеция), *Eyesight Technologies* и *Jungo Connectivity* (Израиль), *Xperi* и *Affectiva* (США) [6, 7].

Разработка систем контроля идет в двух направлениях. Первое направление разрабатывают европейские фирмы, в котором контроль состояния водителя осуществляется только по параметрам движения автомобиля.

Второе направление разработки систем контроля водителя разрабатывают японские фирмы, при этом производится анализ психоэмоционального состояния водителя. Для этого применяется видеокамера, при помощи которой фиксируется положение головы водителя, характер движения зрачков глаз, частота морганий глаз, мимика и жесты, частота дыхательных движений.

Множество незначительных ДТП совершаются при парковке автомобиля, особенно если водитель устал. Например, в работе [8] была предложена новая автоматизированная система парковки *Vital* на основе компьютерного зрения. Эта система использовалась для повышения надежности систем, основанных на активных (ультразвуковых и радарных) датчиках измерения расстояния.

Независимо от метода построения системой контроля усталости водителя в течение 15–30 минут после начала движения собирается и анализируется информация от датчиков и видеокамер, определяется стиль вождения автомобиля и условия дорожного движения. Полученная информация является базовой (эталонной), и вся дальнейшая поступающая информация от каждого датчика сравнивается с базовой, что позволяет распознать состояние усталости водителя [6, 7]. При высоком уровне вероятности аварии система контроля снижает скорость или полностью останавливает автомобиль.

Использование только одного типа датчиков для фиксации параметров движения, или только видеокамеры не позволяет дать точную оценку состояния водителя. Поэтому системы контроля состояния водителя начали развиваться по пути сочетания различных датчиков в одной системе.

Например, в работе [9] предложено использование технологий компьютерного зрения для повышения безопасности автомобилей. При этом система при помощи первой видеокамеры обнаруживает и отслеживает полосу дороги (*LDWS – Lane Departure Warning System*), а вторая камера контролирует состояние и действия водителя. Для оценки и принятия решения используется информация как о транспортном средстве, так и о действиях водителя.

Система, представленная на рис. 1, показывает основные взаимодействующие компоненты автомобильного транспорта: водитель, автомобиль, дорога и внешняя среда.

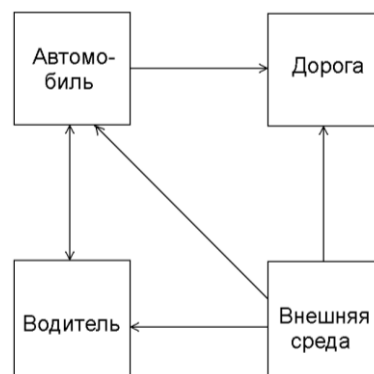


Рис. 1. Система «водитель–автомобиль–дорога–внешняя среда»

На безопасность дорожного движения влияют все входящие в систему компоненты. Получить абсолютно безопасную систему невозможно, поскольку в нее входит водитель,

ошибки которого имеют определяющее значение как для качества работы системы, так и для работоспособности системы в целом. Кроме технического состояния автомобиля, состояния водителя и трафика, на безопасность дорожного движения влияет и состояние внешней среды. Для данной системы вероятность аварийного состояния $P_{ав}$ можно определить как

$$P_{ав} = P_{ас} + P_{св} + P_{ос},$$

где $P_{ас}$ – вероятность аварийного состояния автомобиля, $P_{св}$ – вероятность опасного состояния водителя, $P_{ос}$ – вероятность опасного состояния внешней среды.

Из всех параметров, позволяющих оценить состояние водителя, нужно рассматривать только такие параметры, которые позволяют с высокой степенью вероятности обнаружить усталость и момент засыпания водителя. Такими параметрами являются скорость автомобиля, ускорение, положение рук на руле, положение головы, положение педали акселератора, наличие зевоты и данные LDWS [10].

Структурная схема разработанной системы контроля состояния водителя представлена на рис. 2.

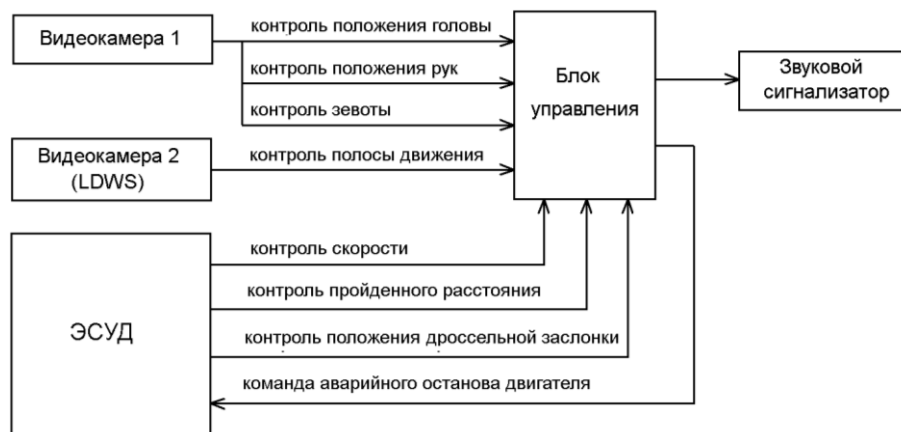


Рис. 2. Система контроля состояния водителя

Современная система контроля при использовании традиционных датчиков и технологии компьютерного зрения может собирать огромные объемы данных, например, информацию о местоположении, условиях движения, содержании дорог, местах скопления людей и т. д. Эта информация также может быть использована для своевременного информирования водителя о возможной опасности.

Таким образом, сочетание в системе контроля состояния водителя датчиков различного типа позволит обнаружить начальную стадию

Основой системы является блок управления, который обрабатывает информацию от электронной системы управления двигателем (ЭСУД) и двух видеокамер. Видеокамера 1, установленная в салоне автомобиля, контролирует положение головы водителя, положение рук и наличие зевоты. Обычно в момент засыпания или при плохом состоянии водителя его голова часто наклоняется вперед или вбок. Если голова водителя находится в таком положении больше определенного времени (2–3 секунды), блок управления через звуковой сигнализатор подает предупреждающий сигнал. Если положение рук водителя выходит за разрешенный диапазон или обнаружена зевота, блок управления также подает звуковой сигнал, и если водитель не изменил позы и никак не отреагировал на звуковой сигнал блока управления, то через несколько секунд после подачи звукового сигнала блок управления останавливает автомобиль включает аварийную сигнализацию.

Видеокамера 2 направлена на дорогу и предназначена для слежения за дорожной обстановкой, в том числе выполняет функции LDWS.

ухудшения состояния водителя и предотвратить ДТП.

Безопасность движения на дорогах является основным вопросом, над которым работают производители авто. Преимуществами наличия в автомобиле системы контроля состояния водителя являются снижение количества ДТП, увеличение бдительности водителя с помощью звуковых сигналов, выдача рекомендаций для отдыха при сильной усталости или через определенное время нахождения за рулем в длительных поездках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система распознавания усталости водителя. – Режим доступа: URL: <http://znanieavto.ru/komfort/datchik-ustalosti-voditelya.html>. Дата обращения 12.11.2021.
2. Исследование: какие опасности подстерегают водителей при перевозках на дальние расстояния. – Режим доступа: URL: <https://news.ati.su/article/2021/11/11/issledovanie-kakie-opasnosti-podsteregayut-voditeley-pri-perevozkah-na-dalnie-rasstoyaniya-182239/>. Дата обращения 12.11.2021.
3. Дементенко, В. В. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании / В. В. Дементенко, В. Б. Дорохов // Журнал высшей нервной деятельности. – 2013. – Т. 63. – № 1. – С. 24–32.
4. Williamson A., Lombard D.A., Folkard S., Stutts J., Courtney T.K., Connor J. L. The link between fatigue and safety. *Accid. Anal. Prev.* - 2011. – Т. 43. - №2. – С. 498-515.
5. Шок-исследование: каждый третий водитель хотя бы раз засыпал за рулем. – Режим доступа: URL: <https://www.zr.ru/content/news/907509-kazhdyy-tretij-voditel-v-ros-si/>. Дата обращения 12.11.2021.
6. Утомление и усталость водителя – причина аварий и автокатастроф. – Режим доступа: URL: <https://www.drive2.ru/c/564657/>. Дата обращения 12.11.2021.
7. Самофалов, И. В. Интеллектуальная система контроля психоэмоционального состояния водителя автотранспортного средства / И. В. Самофалов, А. И. Нефедьев // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2020. – № 2 (31). – С. 46–49.
8. Heimberger, M., Horgan, J., Hughes, C., McDonald, J., and Yogamani, S. “Computer vision in automated parking systems: Design, implementation and challenges.” *Image and Vision Computing*. 2017; 68, Pp. 88-101.
9. Trivedi, M. M., Gandhi, T., and McCall, J. Looking-in and looking-out of a vehicle: Computer-vision-based enhanced vehicle safety.” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2007; 8(1). Pp. 108-120.
10. Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейсе / В. В. Бонч-Бруевич, В. В. Дементенко, А. С. Кремез, Д. В. Макаев // Автоматизация в промышленности. – 2015. – № 2. – С. 33–35.

УДК 629.113

**В. В. Новиков, А. В. Поздеев, К. В. Чернышов, В. В. Еронтаев,
Н. В. Тимошин, Т. А. Кагочкин, В. Е. Скрибунова**

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ КОЛЕС С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ШИНАМИ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: nvv_60@mail.ru

В статье представлена краткая история создания первых пневматических колес, приведена их классификация и показаны основные пути развития колес с пневматическими шинами с целью повышения безопасности конструкции и увеличения демпфирующих свойств за счет установки внутри шины дополнительных элементов, обеспечивающих повышение эффективности гашения колебаний, что особенно важно для бесповесочных колесных машин. Приведен краткий сравнительный анализ нескольких типов конструкций пневматических колес с гидравлическим и пневматическим демпфированием.

Ключевые слова: колесо, пневматическая шина, воздушное и гидравлическое демпфирование, плавность хода, бесповесочные колесные машины.

**V. V. Novikov, A. V. Pozdeev, K. V. Chernyshov, V. V. Erontayev,
N. V. Timoshin, T. A. Kagochkin, V. E. Skribunova**

THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF WHEEL STRUCTURES WITH PNEUMATIC TIRES

Volgograd State Technical University

The article presents a brief history of the creation of the first pneumatic wheels, their classification is given and the main ways of development of wheels with pneumatic tires are shown in order to increase the safety of the structure and increase the damping properties by installing additional elements inside the tire that increase the efficiency of vibration damping, which is especially important for suspension-free wheeled vehicles. A brief comparative analysis of several types of pneumatic wheel designs with hydraulic and pneumatic damping is given.

Keywords: wheel, pneumatic tire, air and hydraulic damping, smooth running, energy consumption, suspension-free wheeled vehicles.

Первое запатентованное изобретение пневматической шины является «Воздушное колесо» Роберта Уильяма Томсона от 10 июня 1846 года.

Конструкция шины предназначалась для телеги или экипажа. Шина накладывалась на колесо с деревянными спицами, которые вставлялись

в деревянный обод, а тот в свою очередь был обит обручем из металла. Шина крепилась на обод болтами, а также был описан клапан для закачивания шины. Однако изобретение Томсона оказалось невостребованным, не привело к массовому производству и забылось.

К пневматической шине снова вернулись в 1888 году, когда шотландец Джон Данлоп получил патент на изобретение «Пневматический обруч для транспортных средств». С этих пор и началось непрерывное совершенствование шин.

Усовершенствование шин продвигается по многим направлениям и характеризуется широкой специализацией в соответствии с их назначением. Уделяется внимание сцепным качествам, сопротивлению качения, грузоподъемности шин. Разработчики шинной промышленности работают над химическим составом, увеличением срока службы шины и безопасности движения транспортных средств, рисунком протектора, упрощением технологии производства, улучшением технико-экономических показателей шин.

Безопасные шины нужны как для гражданских автомобилей, так и для машин военного назначения. Проблема безопасности обычно заключается в способности автомобиля сохранить управляемость в случае повреждения автопокрышки. При этом обычная шина утрачивает форму, а транспортное средство, продол-

жает движение на ободе, повреждая диск и разрушая шину. Как следствие, машина становится неуправляемой, результатом чего может стать автокатастрофа.

Основные пути повышения безопасности шин можно условно разделить на две группы: обеспечение возможности кратковременного или длительного движения автомобиля на поврежденной шине.

К первой группе относятся: бескамерные шины, снабженные различными герметизирующими композициями, шины со специальными губчатыми слоями на внутренней полости, многополостные шины, шины с эластичным наполнителем внутренней полости и шины с резинометаллическими вставками и др.

Ко второй, более перспективной группе безопасных шин можно отнести шины со специальными вставками в ободах и покрышках из различных сплавов.

Кроме этих двух групп, отдельным направлением развития конструкций колес с пневматическими шинами является увеличение их демпфирующих свойств, что не только влияет на повышение плавности хода и средней скорости движения безрессорных колесных машин, но и на безопасность дорожного движения.

В результате все многообразие конструкций пневматических колес можно условно представить следующей классификацией (рис. 1).

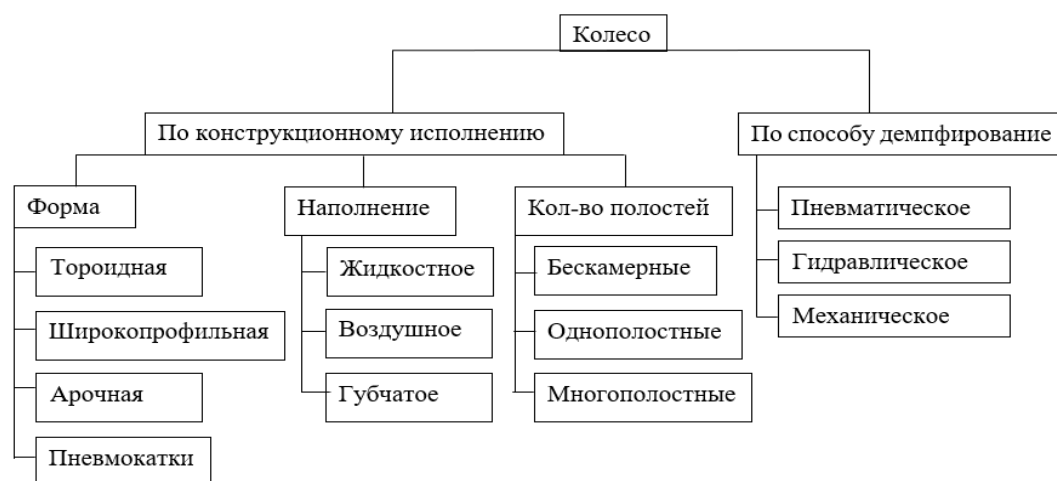


Рис. 1. Классификация пневматических колес

Одними из первых были созданы многополостные безопасные шины, которые, однако, широкого распространения не получили из-за сложности конструкции и монтажа, а кроме того, они не защищали от глубоких повреждений или сквозных отверстий (рис. 2, а).

Затем колеса артиллерийских систем заполнялись специальным губчатым каучукогустматиком (рис. 2, б). Наполнитель был не очень чувствителен к пулевым и осколочным пробоинам и обеспечивал достаточное смягчение ударов и толчков при езде по бездоро-

жью. Однако при движении объекта со скоростями 50–60 км/ч густматик разогревался и шины взрывались.

Для решения этой проблемы для скоростных боестойких шин создали бескамерные ши-

ны с самоклеивающимся герметиком и резинокордным распорным кольцом, а в дальнейшем улучшили их боестойкость, применив дифференциальную толщину стенок каркаса (рис. 3, а, б, в) [1].

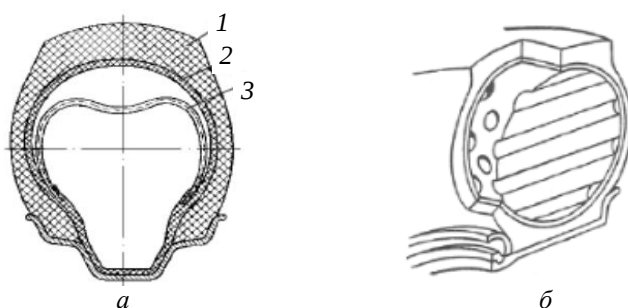


Рис. 2. Разновидность шин:
а – двуполостная шина; б – шина с губчатым наполнителем;
1 – бескамерная шина; 2 – герметизирующий слой; 3 – дополнительная оболочка

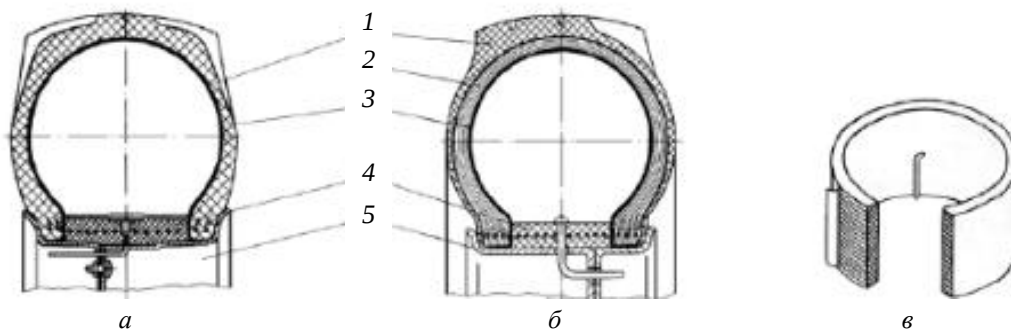


Рис. 3. Пулестойкие колеса с бескамерными шинами:
а – с распорным резинокордным кольцом; б – с распорным резинокордным кольцом и дифференциальной толщиной стенок каркаса; в – распорное резинокордное кольцо; 1 – покрышка; 2 – дифференциальный слой каркаса; 3 – слой герметика; 4 – распорное резинокордное кольцо; 5 – обод

Для уменьшения жесткости шин предложены конструкции, в которых при нормальном давлении воздуха безопасная шина ведет себя так же, как обычная. Это достигается установкой внутри шины дополнительных опор. Такие

опоры могут выполняться как жесткими, так и эластичными, а также в виде металлического кольца на гибкой опоре. Контроль над давлением воздуха нужен для большинства видов безопасных шин [1].

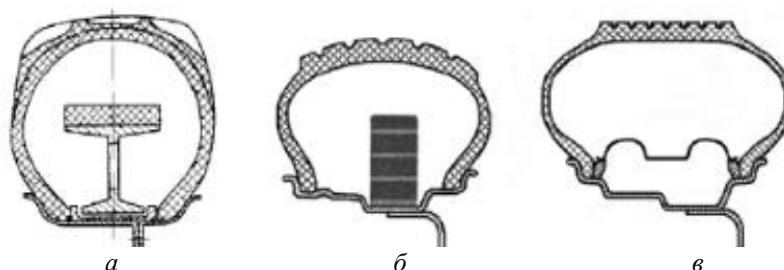


Рис. 4. Конструкции безопасных шин со вставками:
а – с жесткой вставкой; б – с эластичной опорой; в – с металлическим кольцом на гибкой опоре

Совершенствование колесных движителей не ограничивается созданием безопасных шин. Не прекращаются попытки создания принци-

пиально новых видов шин с повышенными демпфирующими свойствами для колесных бесподвесочных машин, которые позволяют

значительно повысить плавность хода и связанные с ней другие эксплуатационные свойства. При выполнении транспортных работ бесподвесочные машины имеют недостаточную плавность хода и безопасность движения. Ниже приведено сравнение пневматических

колес с повышенными демпфирующими свойствами, обладающих схожими конструктивными признаками.

На рис. 5 показано пневматическое колесо с гидравлическим демпфированием по патенту 2144862 РФ, ВолгГТУ (рис. 5) [2].

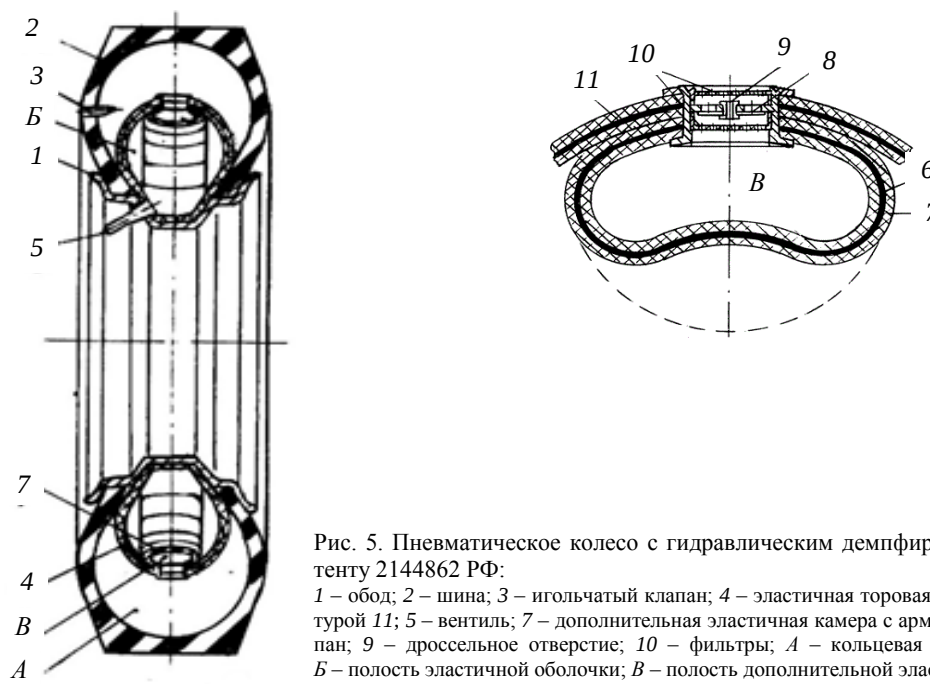


Рис. 5. Пневматическое колесо с гидравлическим демпфированием по патенту 2144862 РФ:

1 – обод; 2 – шина; 3 – игольчатый клапан; 4 – эластичная торовая оболочка с арматурой 11; 5 – вентиль; 6 – дополнительная эластичная камера с арматурой 6; 8 – клапан; 9 – дроссельное отверстие; 10 – фильтры; А – кольцевая рабочая полость; В – полость эластичной оболочки; В – полость дополнительной эластичной камеры

Данное колесо, запатентованное И. М. Рябовым в 2000 году, содержит обод 1 и пневматическую шину 2, в полости которой установлена с кольцевым зазором эластичная оболочка 4 в виде полого тора, разделяющая полость шины на две полости, образуя в шине кольцевую рабочую полость А. Во внутренней полости В эластичной оболочки 4 установлена дополнительная эластичная камера 7 в виде тора, сообщаемая с кольцевой рабочей полостью А посредством клапанов 8 с дросселирующими отверстиями 9, установленными на поверхности эластичной оболочки 4. Эластичная оболочка 4 заправлена сжатым воздухом. Кольцевая рабочая полость А и дополнительная полость В, заполненные жидкостью, образуют гидравлическую демпфирующую систему колеса. Эластичная оболочка 4 и дополнительная эластичная камера 7 армированы стальной проволокой.

При качении колеса по неровной дороге нижняя часть шины 2 деформируется. При этом эластичная оболочка 4, армированная стальной проволокой 11, не изменяет свою форму, а жидкость перетекает между полостями А и В через фильтры 10, дросселирующие отверстия

9 и клапаны 8, что значительно уменьшает амплитуду резонансных колебаний транспортного средства. При этом энергия колебаний преобразуется в тепловую энергию, которая поглощается жидкостью, имеющей большую теплоемкость. При проколе шины 2 жидкость из кольцевой рабочей полости А вытекает, статическая деформация шины увеличивается, и нагрузка воспринимается эластичной оболочкой 4, заполненной сжатым воздухом, что позволяет продолжить движение.

Несмотря на заявленные высокие виброзащитные свойства, данное колесо имеет низкий технический уровень, обусловленный высокой его радиальной жесткостью вследствие того, что значительная внутренняя часть колеса заполнена жидкостью, которая размещена в кольцевой рабочей полости А и дополнительной эластичной камере В, что существенно уменьшает объем воздуха в пневматическом колесе. В результате увеличивается собственная частота колебаний транспортного средства на данных колесах, что ухудшает его плавность хода и ограничивает скорость движения по неровным дорогам. Кроме того, наличие жидко-

сти в колесе увеличивает его массу, а при проколе шины и потере жидкости, демпфирующие свойства колеса резко снижаются.

Данные недостатки устранены в конструкции пневматического колеса по патенту 2108240 РФ, ВолгГТУ (рис. 6) [3].

Данное колесо, запатентованное И. М. Рябовым в 1998 году, содержит обод 1, на котором внутри шины 2 на роликах 6 установлена оболочка 3 с усеченной нижней частью 4. Полость *A* оболочки 3 сообщается с полостью шины *B* через клапаны и дросселирующие отвер-

стия, установленные в гнездах 5. Центр масс оболочки O_1 расположен несколько ниже оси вращения колеса O , что удерживает ее от вращения. В нижней части оболочки имеется гаситель крутильных колебаний в виде тороидальных каналов 7 с металлическими шарами 8, которые при колебаниях оболочки катаются по поверхности каналов 9 и гасят энергию колебаний за счет трения. Оболочка имеет округления 10 для предотвращения касания внутренней поверхности шины при крутильных колебаниях, разгоне и торможении.

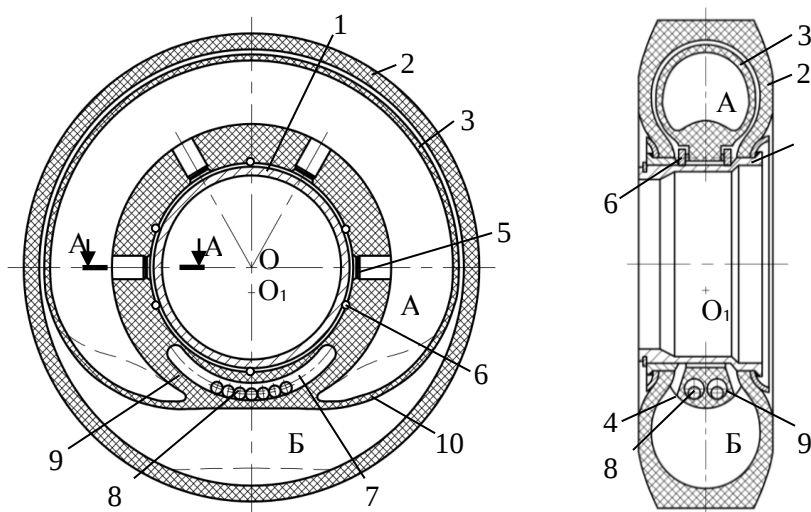


Рис. 6. Колесо с внутренней пневматической демпфирующей системой по патенту 2108240 РФ:
A – полость оболочки; *B* – полость шины; O – ось вращения колеса; O_1 – центр масс оболочки; 1 – обод; 2 – шина; 3 – эластичная оболочка; 4 – усеченная часть оболочки; 5 – гнезда с клапанами и дросселирующими отверстиями; 6 – ролики; 7 – полость гасителя крутильных колебаний оболочки; 8 – металлические шары; 9 – поверхность качения шаров; 10 – округления оболочки

Колесо с ВПДС обеспечивает существенное повышение демпфирующих свойств шины за счет того, что рабочий объем полости *B* значительно меньше объема полости *A*. Однако данное колесо имеет достаточно сложную конструкцию.

Более простую конструкцию имеет колесо изобретателей из Омского ГТУ, запатентованное в 2016 году (рис. 7) [4].

Колесо содержит обод 1 и пневматическую шину 2, в полости которой с кольцевым зазором установлена эластичная оболочка 3 в виде полого тора, разделяющая полость шины на две полости и образующая в шине кольцевую рабочую полость *B*, сообщающуюся с внутренней полостью *A* эластичной оболочки 3 через кла-

панно-дроссельный узел, содержащий клапан и дросселирующее отверстие.

Недостатком колеса является относительно низкая эффективность воздушного демпфирования, обусловленная тем, что объем кольцевой рабочей полости больше объема полого тора эластичной оболочки. Кроме того, вследствие небольшого внутреннего объема шина имеет сравнительно высокую жесткость, что снижает плавность хода машины, а дросселирование воздуха приводит к ускорению процесса нагрева пневматического колеса, поскольку воздух находится внутри шины и резинокордной оболочки и не соприкасается с металлическим ободом колеса, что повышает внутреннее давление и может привести к разрушению шины.

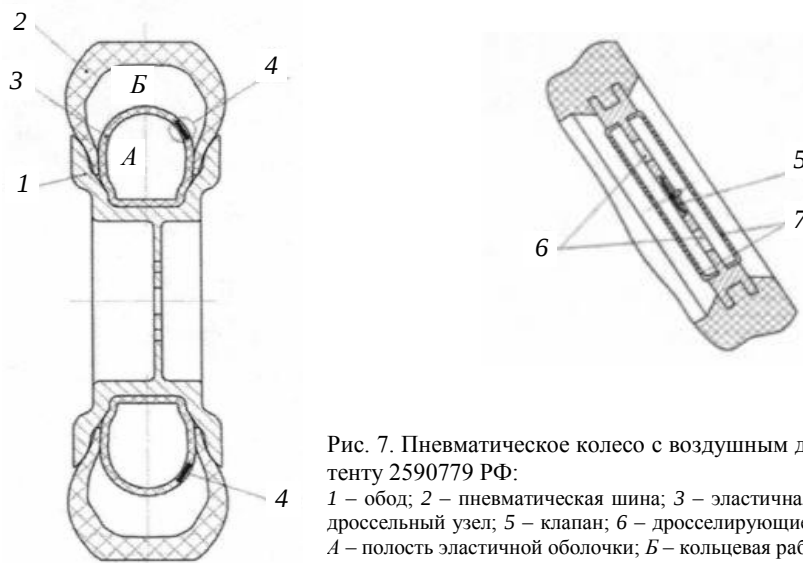


Рис. 7. Пневматическое колесо с воздушным демпфированием по патенту 2590779 РФ:

1 – обод; 2 – пневматическая шина; 3 – эластичная оболочка; 4 – клапанный-дрессельный узел; 5 – клапан; 6 – дресселирующие отверстия; 7 – фильтры; А – полость эластичной оболочки; В – кольцевая рабочая полость

Указанные недостатки сведены к минимуму в конструкции колеса с пневматическим демпфированием по патенту 2741446 РФ изобретателей из ВолгГТУ, 2021 г. (рис. 8) [5].

Колесо включает обод и пневматическую

шину, внутри которой вплотную к внутренней ее поверхности установлена резинокордная торцовая оболочка с полостью А, образующая с ободом и боковыми стенками шины кольцевую рабочую полость В.

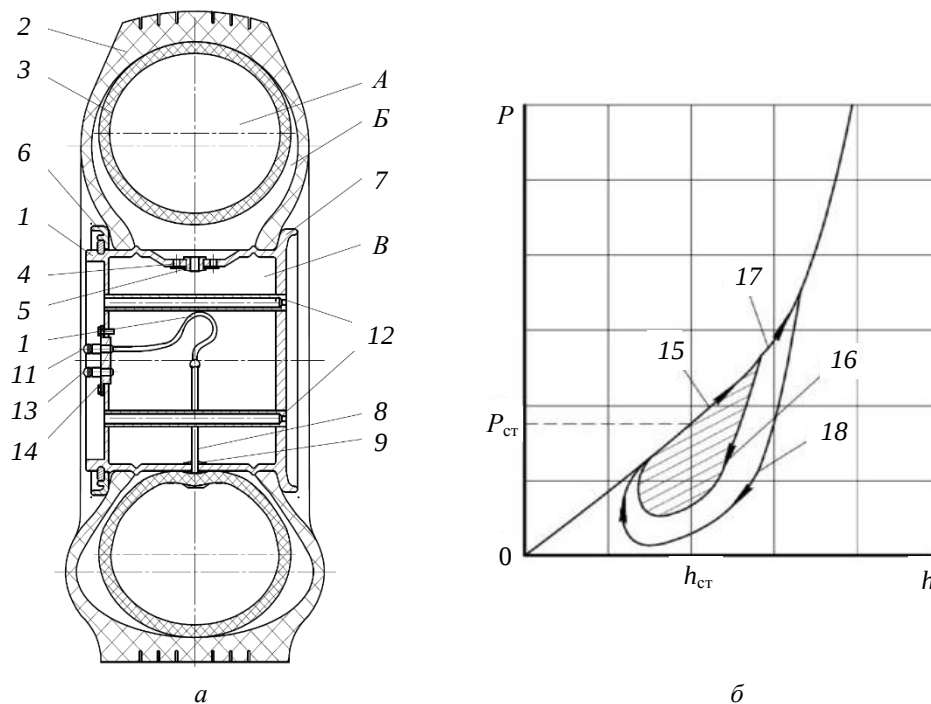


Рис. 8. Пневматическое колесо с воздушным демпфированием по патенту 2741446 РФ:

а – конструкция колеса; б – упругая характеристика (рабочая диаграмма); 1 – обод; 2 – пневматическая шина; 3 – резинокордная торцовая оболочка; 4 – дрессель; 5 – обратный клапан; 6, 7 – посадочные буртики; 8 – металлическая трубка; 9 – радиальные отверстия; 10 – шланг; 11, 13 – золотниковые штуцеры; 12 – коаксиальные трубки; 14 – крышка; 15...18 – участки упругих характеристик колеса на ходах сжатия и отбоя при разной деформации шины; А – полость резинокордной оболочки; В – кольцевая рабочая полость; В – внутренняя полость обода

Обод выполнен в виде глухого металлического цилиндра, внутренняя полость В которого сообщается с кольцевой полостью В через установленные в ободе дрессель и обратный

клапан, открытый на ходе сжатия шины. С двух сторон обод имеет посадочные буртики, один из которых выполнен в виде съемного кольца, что облегчает монтаж и демонтаж шины и то-

ровой оболочки. Внутри обода коаксиально расположены герметично приваренные трубки, которые имеют посадочные отверстия для крепления колеса к ступице машины. На ободе герметично установлена крышка, в которой закреплены золотниковые штуцеры 11 и 13. Штуцер 11 служит для заправки воздухом полостей *Б* и *В* давлением, равным стандартному значению для шины, а штуцер 13 – для заправки полости *А* воздухом под давлением в 1,5 раза выше стандартного значения, что обеспечивает сохранение формы и объема торовой резинкордной оболочки 3 до момента ее касания с ободом 1.

Поскольку кольцевая рабочая полость *Б* значительно меньше полости *В*, то при деформациях шины 2 обеспечивается эффективное воздушное демпфирование, а непосредственный контакт воздуха с металлическим ободом 1 обеспечивает хороший теплоотвод энергии в окружающую среду, равной площади рабочей диаграммы в виде заштрихованной области (рис. 8, б).

При больших ходах сжатия вследствие упругой деформации торовой оболочки 3 обеспечивается увеличение радиальной жесткости шины, что снижает вероятность пробоя колеса и смятие его обода, тем самым повышая надежность работы колеса и безопасность движения транспортного средства.

Выводы

Для дальнейшего повышения безопасности, плавности хода и энергоэффективности особенно бесподвесочных машин необходимо:

- 1) снижать жесткость пневматических шин в зоне статического хода за счет увеличения рабочего объема воздуха;
- 2) увеличивать жесткость пневматических шин в конце хода сжатия за счет деформации дополнительной торовой оболочки, заправленной воздухом до давления больше статического;
- 3) увеличивать эффективность воздушного демпфирования за счет уменьшения соотношения переменного и постоянного объемов воздуха в шине;
- 4) улучшать условия охлаждения шины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котович, С. В. Двигатели специальных транспортных средств. Часть I: Учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2008. – 161 с.
2. Пат. 2144862 РФ, МПК В60С17/00 Колесо транспортного средства / И. М. Рябов; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Бюл. № 3, 2000.
3. Пат. 2108240 РФ, МПК В60С17/00 Колесо транспортного средства / И. М. Рябов; ФГБОУ ВО ВолгГТУ, 1998.
4. Пат. 2590779 РФ, МПК В60С17/00, В60С5/20. Колесо транспортного средства / Р. Н. Хамитов, Г. С. Аверьянов, О. Л. Прусова, А. А. Перчун; ФГБОУ ВО Омский ГТУ. – Бюл. № 19, 2016.
5. Пат. 2741446 РФ, МПК В60С5/22, В60В9/18 Колесо транспортного средства / В. В. Новиков, А. В. Поздеев, Ю. С. Кваша; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Бюл. № 3, 2021.

УДК 338.585

С. В. Степанова¹, М. В. Полуэктов¹, В. В. Савельев²

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОСЕРВИСА

¹Волгоградский государственный технический университет,

²Самарский государственный технический университет

e-mail: sveta.stepanova1999@mail.ru, poluektov@vstu.ru, w.savelyev@mail.ru

Рассмотрены факторы, определяющие характер развития предприятий автосервиса, произведено их ранжирование. Выполнена оценка двух важнейших факторов применительно к предприятиям автосервиса, расположенным в г. Волгограде. Сделаны рекомендации по размещению новых предприятий автосервиса и развитию специализации существующих.

Ключевые слова: предприятие автосервиса, станция технического обслуживания автомобилей, специализация предприятий.

S. V. Stepanova¹, M. V. Poluektov¹, V. V. Savelyev²

ANALYSIS OF THE FACTORS AFFECTING THE CAR SERVICE COMPANIES CHARACTERISTICS

¹Volgograd State Technical University

²Samara State Technical University

The factors determining the development of car service enterprises are considered, their ranking is made. The assessment of two most important factors for the car service enterprises located in Volgograd was carried out. Recommendations are made on the placement of new car service enterprises and the development of specialization of existing ones.

Keywords: car service company, car service station, specialization of enterprises.

Автосервис является в настоящее время чрезвычайно важной сферой экономики, обеспечивающей продажи, обслуживание, ремонт автотранспортных средств различных типов и классов. В целом по России эта сфера включает десятки тысяч предприятий и организаций.

Активное развитие системы автосервиса в стране началось в 1990-х годах. Этот процесс был обусловлен становлением рыночной экономики, резким увеличением парка автомобилей в целом, и в особенности находящихся в частной собственности [1]. За истекшие 30 лет система предприятий претерпела ряд изменений, достигнув при этом состояния, близкого к насыщению. Например, в г. Волгограде в настоящее время официально зарегистрировано 439 предприятий автосервиса [2], включая 46 дилерских центров [3]. При этом общий парк легковых автомобилей в городе, по данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» на 1 июля 2020 года, составляет 267,3 тысячи единиц [4].

Очевидно, что дальнейшее развитие системы предприятий автосервиса уже не может проходить стихийно. Строительство новых СТО и модернизация существующих должны

производиться с учетом множества факторов, в совокупности способствующих минимизации затрат, связанных с работой как отдельных предприятий автосервиса, так и их комплексов [5]. В рамках данного исследования предпринимается попытка анализа этих факторов с целью выработки рекомендаций по развитию имеющихся предприятий и созданию новых.

Традиционно принято выделять две группы факторов, определяющих характер развития и размещения предприятий автосервиса (ПАС) – территориальные и временные. На рис. 1 представлена структурная схема этих факторов, учитывающая как традиционные составляющие [6], так и результаты, полученные авторами настоящего исследования.

Территориальные факторы связаны с расположением предприятий и их клиентов в населенном пункте. Четкое понимание того, кто является основным потенциальным клиентом, крайне важно при определении места для размещения будущего предприятия. Потребителями автосервисных услуг могут быть производственные организации, физические лица, предприятия и организации хозяйственной инфраструктуры.

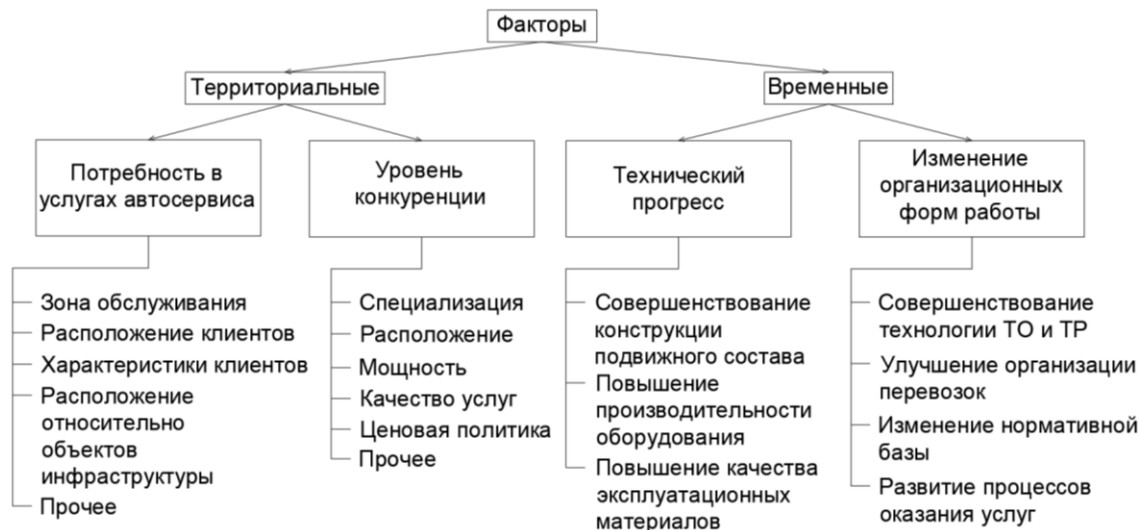


Рис. 1. Факторы, определяющие характер развития и размещения предприятий автосервиса

На объем предоставляемых услуг по обслуживанию и ремонту подвижного состава оказывают большое влияние уровень доходов и покупательная способность населения. Организации и частные лица с низким уровнем доходов предпочитают ремонтировать автомобили самостоятельно и лишь в редких случаях пользуются услугами автосервиса [7]. Поэтому строительство СТО в малопрестижных микро-

районах может быть экономически невыгодно. Однако следует отметить, что такие микрорайоны обладают низкой стоимостью земельных участков и менее плотной застройкой, что упрощает вопросы согласования проекта предприятия с экологической и санитарной службами. Следовательно, необходима комплексная экономическая оценка целесообразности строительства предприятий на определенном участке.

Важно учитывать расположение предприятия относительно основных дорог и инфраструктуру района. Дороги с интенсивным движением автомобилей обеспечивают большую проходимость потенциальных клиентов, поэтому многие производители автотранспортных средств указывают в качестве обязательного требования к своим дилерским центрам размещение не только поблизости от основных дорог, но и в наиболее заметных местах (возвышенности, повороты и т. д.) [8]. В г. Волгограде имеется участок на границе Кировского и Красноармейского районов, протяженностью около 8,5 км, на котором отсутствует дублирование основной магистрали (ул. Лазоревой). Предприятия, размещенные на этом участке, будут хорошо заметны всем потенциальным клиентам.

Наличие рядом с СТО промышленных предприятий, бизнес-центров, торговых центров и крупных сетевых магазинов, предполагающих скопление людей, а также расположение вблизи жилых зон (с учетом нормативных расстояний) также способствует росту количества потенциальных клиентов ПАС.

При выборе места размещения ПАС необходимо выявить потенциальных конкурентов, провести анализ показателей их деятельности, целей и стратегий, выявить сильные и слабые стороны, чтобы оценить конкурентоспособность проектируемого предприятия, скорректировать показатели его мощности и специализации. В ходе анализа уровня конкуренции следует оценивать как соперничество между существующими фирмами, так и угрозу появления новых участников рынка, угрозу появления товаров или услуг-заменителей, переговорную силу покупателей и поставщиков [9].

Вместе с тем следует отметить, что за последние годы ощутимо возросла подвижность населения. Проведенные авторами опросы показали, что многие автовладельцы (индивидуальные, а также организации) готовы обслуживать свои транспортные средства на относительно удаленных от места жительства или работы предприятиях, если они обеспечивают высокое качество выполняемых работ, а также достаточный уровень сервиса. В результате этого факторы, связанные с размещением предприятия относительно основных дорог, предприятий и объектов инфраструктуры, несколько теряют свою значимость, так же как и фактор конкуренции. Но все это относится к предприятиям, имеющим наработанную клиент-

скую базу. При строительстве новых предприятий их расположение по-прежнему имеет существенное значение.

Временные факторы учитывают прогресс в технике и технологии. В ходе настоящего исследования было установлено, что эти факторы становятся все более значимыми в современных условиях, в особенности подфакторы, связанные с изменением организационных форм работы, которые определяют востребованность тех или иных услуг. Крайне важным является обеспечение высокого уровня непосредственно сервисного обслуживания. В настоящий момент высокий уровень развития технических средств позволяет без особого труда достичь соответствующего качества производства технических воздействий, поэтому основополагающим при выборе предприятия становится именно подход предприятия к клиенту. Наличие официального сайта в сети Интернет позволит клиенту ознакомиться со всей необходимой информацией: графиком работы, стоимостью и видами предоставляемых услуг. При выборе ПАС клиент обращает внимание на рейтинг предприятия и отзывы в сети Интернет. Клиентоориентированный подход, наличие персональных предложений и скидок приведет к тому, что автовладельцы обратятся вновь и в перспективе станут постоянными клиентами данного предприятия.

В целом проведенный анализ факторов, определяющих характер развития и размещения предприятий автосервиса, показывает, что наиболее значимыми из них являются:

- удобное для клиентов расположение предприятия в городе;
- выполнение широкого спектра актуальных работ;
- высокий уровень сервиса для клиентов;
- постоянный сбор и анализ предприятием информации о внутренних и внешних процессах с соответствующим оперативным корректированием работы.

Из перечисленных факторов первый является наиболее стабильным, мало изменяющимся с течением времени. Некоторые изменения могут быть связаны с застройкой населенного пункта, появлением в нем новых жилых комплексов, предприятий, торговых и деловых центров, дорог с интенсивным движением.

Второй фактор обеспечивает несколько большие возможности для модернизации, однако изменения в составе выполняемых работ

могут потребовать значительных материальных затрат. Третий и четвертый факторы отличаются возможностью достаточно оперативного изменения в процессе работы предприятия.

В ходе проводимого исследования были оценены два первых фактора для предприятий, расположенных на территории города Волгограда. При этом расположение предприятий анализировалось для каждого района по отдельности.

В частности, Советский район является перспективным для строительства новых ПАС, по-

скольку он расположен недалеко от центральных районов, в нем имеется развитая инфраструктура, а в последние годы наблюдается увеличение численности населения за счет строительства новых жилых комплексов (рис. 2). В наибольшей степени соответствуют предъявляемым требованиям участки по улице Краснопресненская, которая соединяет Университетский проспект и Электроресовскую улицу. Можно рекомендовать профильным комитетам поддерживать размещение новых ПАС на этих участках.

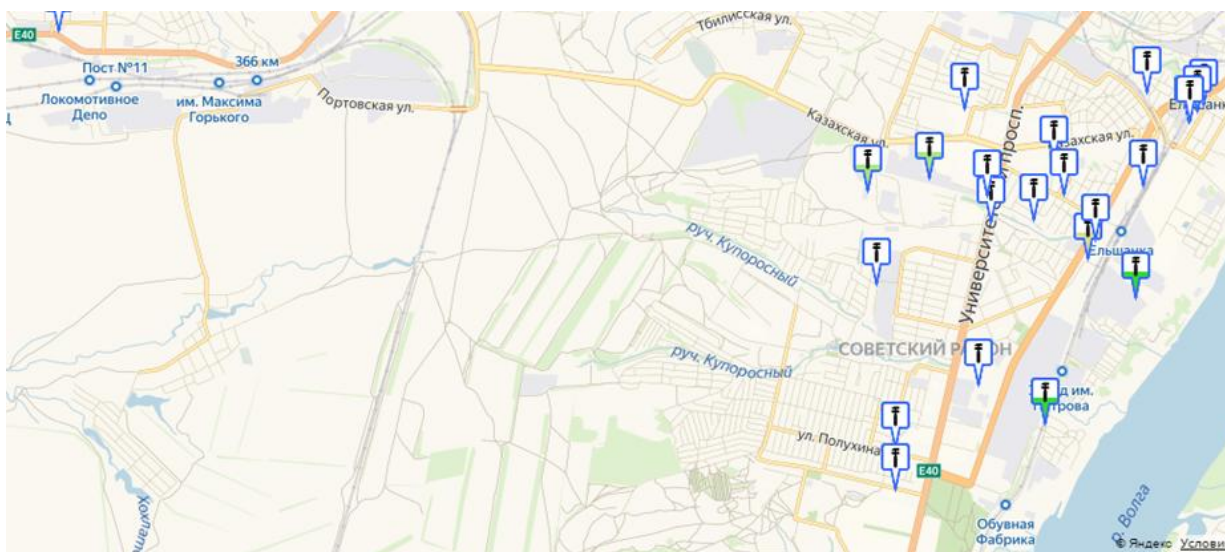


Рис. 2. Размещение ПАС в Советском районе г. Волгограда по данным сайта «АвтоТочки» [2] и предлагаемые перспективные места

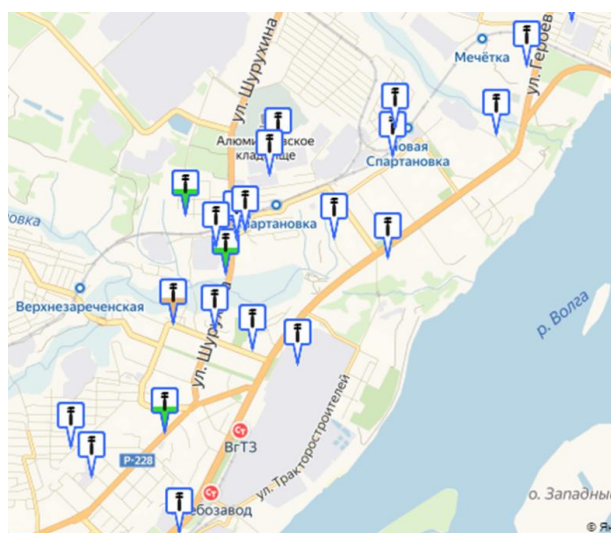


Рис. 3. Размещение ПАС в Тракторозаводском районе г. Волгограда по данным сайта «АвтоТочки» [2] и предлагаемые перспективные места

Тракторозаводский район пересекают все три основные автомагистрали города, в нем

имеется большой и стабильный поток автомобилей, значительная численность населения (рис. 3). Наиболее подходящим местом является микрорайон Спартановка, участки рядом с перекрестком ул. Николая Отрады и ул. Академика Богомольца.

Проведенное исследование распределения предприятий автосервиса по видам выполняемых работ позволило установить, какие услуги пользуются большим спросом у клиентов. В таблице представлена выборка пяти наиболее и пяти наименее распространенных услуг ПАС в г. Волгограде.

В ходе анализа было произведено разделение работ, выполняемых СТО, на несколько групп. К первой группе отнесены работы, потребность в которых возникает часто, а для выполнения не требуется особенно дорогостоящего оборудования: замена эксплуатационных жидкостей; ремонт и регулировка тормозной системы; шиномонтажные работы. Несколько

особняком стоит такой вид работ, как регулировка углов установки колес. Здесь уже имеется потребность в достаточно дорогостоящем

стенде, хотя по другим параметрам эти работы сходны с перечисленными выше.

Наиболее и наименее распространенные услуги автосервиса в г. Волгограде

Наименование услуги	Количество предприятий, оказывающих услугу	Доля предприятий, оказывающих данную услугу, от их общего числа, %
Наиболее распространенные услуги		
Замена масла	275	62,6
Замена ремня генератора	271	61,7
Замена тормозной жидкости	267	60,8
Диагностика автомобиля	241	54,9
Ремонт ходовой части	235	53,5
Наименее распространенные услуги		
Полировка кузова автомобиля	95	21,6
Ремонт каталитических нейтрализаторов	77	17,5
Покраска автомобиля	76	17,3
Перетяжка салона	15	3,4
Покраска кожи обивки салона	9	2,1

Вторая группа работ включает востребованные, но требующие дорогого и громоздкого оборудования – кузовные и окрасочные работы. Как правило, эти работы выполняются в крупных дилерских центрах, а также на специализированных предприятиях, размещаемых в промышленной зоне городов. Можно рекомендовать ряду предприятий, исходя из их положения, развивать именно эти виды деятельности.

Третья группа – работы, потребность в которых возникает редко, например, работы по ремонту подушек и спинок сидений, замене обивки салона; ремонт и тонировка стекол, ремонт фар. Часть работ этой группы не является необходимой, а выполняется лишь в соответствии с пожеланиями отдельных автовладельцев. Следовательно, выполнение таких работ имеет смысл предусматривать либо на наиболее крупных ПАС, либо на узко специализированных предприятиях, ориентированных на соответствующего потребителя.

Таким образом, в результате проведенного исследования была произведена оценка различных факторов, влияющих на работу предприятий автосервиса. По двум из факторов, представляющих наибольший интерес, произведена оценка существующих предприятий автосерви-

са г. Волгограда с разработкой соответствующих рекомендаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полуэктов, М. В. Система автосервиса России: состояние, проблемы и перспективы / М. В. Полуэктов, В. В. Савельев // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 8. – С. 45–47.
2. АвтоТочки [Электронный ресурс]. – [2021]. – Режим доступа : <http://volgograd.avtotochki.ru/>
3. Дром [Электронный ресурс]. – [2021]. – Режим доступа : <https://volgograd.drom.ru/dealers/>
4. АВТОСТАТ аналитическое агентство [Электронный ресурс]. – [2021]. – Режим доступа : <https://www.autostat.ru/press-releases/46332/>.
5. Werdich, K. Competitive Position of Dependent Passenger Car Maintenance Companies - Influences, Developments and Challenges in the German Market / K. Werdich // Journal of competitiveness. – 2015. – Volume 7. – Issue 2. – P. 3 – 22.
6. Масуев, М. А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: Учебное пособие для студентов вузов / М. А. Масуев. – М.: Академия, 2007. – 224 с.
7. Особенности системы автосервиса в России: учебное пособие / В. В. Савельев. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 127 с.
8. Волгин, В. В. Автосервис: Создание и сертификация: Практическое пособие. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2004. – 620 с.
9. Lysanov, D. M. Developvent of models of service center companies network accommodation / D.M. Lysanov, A.N. Karamyshev, E.V. Abrosimova, D.F. Fedorov // Revista genero & direito. – 2019. - Volume 7. – Issue 4. – P. 127 – 135.

УДК 621.433

*Р. Д. Дудников, Ю. В. Левин, Е. А. Федянов***МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА С ДОБАВКАМИ СИНТЕЗ-ГАЗА В РОТОРНО-ПОРШНЕВОМ ДВИГАТЕЛЕ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: tig@vstu.ru

В статье представлена математическая модель процесса сгорания углеводородного топлива с добавкой водородосодержащего синтез-газа в роторно-поршневом двигателе. Даны формулы, позволяющие учитывать влияние добавок синтез-газа на теплофизические свойства топливовоздушной смеси и скорость распространения турбулентного пламени.

Ключевые слова: синтез-газ, процесс сгорания, роторно-поршневой двигатель.

*R. D. Dudnikov, Yu. V. Levin, E. A. Fedyanov***MATHEMATICAL MODEL OF THE COMBUSTION PROCESS HYDROCARBON FUEL WITH SYNTHESIS GAS ADDITIVES IN ROTARY PISTON ENGINE****Volgograd State Technical University**

The article presents a mathematical model of the combustion process of hydrocarbon fuel with the addition of hydrogen-containing synthesis gas in a rotary piston engine. Formulas are given that make it possible to take into account the effect of syngas additives on the thermophysical properties of the fuel-air mixture and the speed of propagation of a turbulent flame.

Keywords: synthesis gas, combustion process, rotary piston engine.

Одной из причин неполного сгорания топлива и, соответственно, повышенных выбросов углеводородов с отработавшими газами в роторно-поршневых двигателях (РПД), выполненных по схеме Ванкеля, является недогорание топливовоздушной смеси около задней по направлению вращения вершины ротора [1]. В условиях обусловленного вращением ротора однонаправленного движения заряда в камере РПД скорость распространения фронта пламени в сторону, противоположенную вращению ротора, оказывается недостаточной, чтобы достичь указанной вершины до начала процесса выпуска.

В последнее десятилетие опубликованы результаты ряда исследований [2, 3], в которых изучалась возможность повышения скорости распространения пламени и, тем самым, повышения полноты сгорания топлива в РПД за счет добавок в основную топливовоздушную смесь свободного водорода. Как следует из результатов этих исследований, добавки свободного водорода в бензовоздушные и метановоздушные смеси позволяют снизить удельный расход топлива и заметно уменьшить выбросы несгоревших углеводородов. При этом имеется в виду суммарный расход топлива, включающий и расход добавляемого водорода.

Опыты, проведенные в Волгоградском государственном техническом университете, по-

казали, что добавки водорода к бензовоздушной смеси позволяют существенно расширить пределы ее воспламенения, что, в свою очередь, дает возможность уменьшить расход топлива и снизить выбросы основных токсичных компонентов с отработавшими газами [9, 11].

Несмотря на очевидный положительный эффект от добавок свободного водорода, практическое использование подобного способа организации рабочего процесса РПД представляется в настоящее время проблематичным, так как требуется иметь на борту транспортного средства второй вид топлива, а именно водород. Сложности хранения водорода на борту транспортных средств хорошо известны [4], и именно они в значительной мере препятствуют широкому использованию водорода как самостоятельного вида топлива.

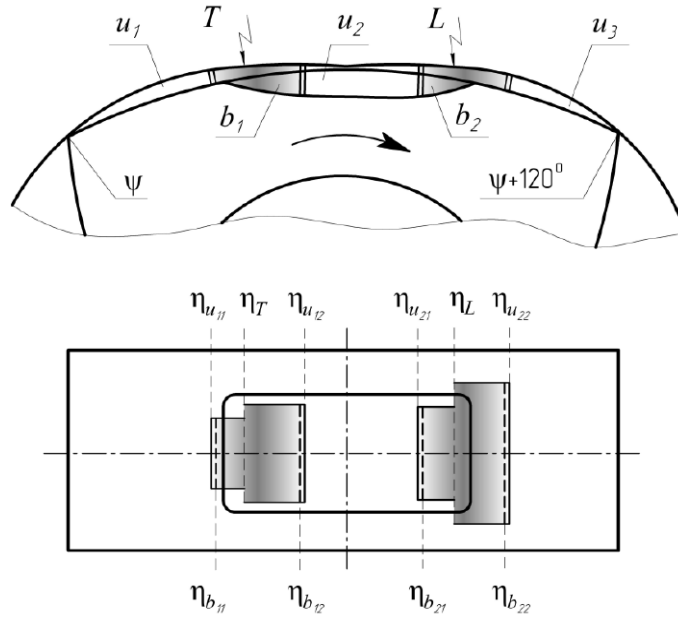
Известно [7], что свободный водород входит в состав так называемых синтез-газов, которые можно получать, в том числе конверсией углеводородных топлив. Эксперименты, подтверждающие положительное влияние добавок синтез-газа к бензину и природному газу, были проведены рядом исследователей на автомобильных поршневых двигателях [6]. При этом синтез-газ генерировали из основного углеводородного топлива непосредственно на борту автомобилей.

Можно предположить, что в РПД в силу особенностей протекания процесса сгорания эффект от добавки синтез-газа будет выше, чем в поршневых ДВС.

Влияние добавок синтез-газа к основному углеводородному топливу в РПД можно оценить, используя разработанную в ВолгГТУ математическую модель процесса распространения пламени в двигателях этого типа.

Математическая модель базируется на уравнениях сохранения массы и энергии. Определение скорости распространения турбулентного пламени выполняется в соответствии с моделью погружения [9].

С учетом наличия зон горения пространство рабочей камеры разделяется в общем случае на пять зон (см. рисунок): три зоны исходной топливоздушной смеси (u_1, u_2, u_3) и две зоны продуктов сгорания (b_1, b_2).



Расчетная схема зон горения в рабочей камере РПД:

ψ – угловая координата положения задней вершины ротора; η_T, η_L – угловые координаты центров воспламенения; $\eta_{u11}, \dots$ – угловые координаты передних границ фронтов пламени; $\eta_{b11}, \dots$ – угловые координаты зон продуктов сгорания

Уравнения энергии для зон исходной топливоздушной смеси и зон продуктов сгорания в модели записаны, соответственно, в следующем виде:

$$\frac{k_{ui}}{k_{ui}-1} p \frac{dV_{ui}}{d\psi} + \frac{1}{k_{ui}-1} V_{ui} \frac{dp}{d\psi} = c_{pui} \cdot T_{ui} \frac{dm_{ui}}{d\psi} - \frac{dQ_{Wui}}{\omega}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{k_{bj}}{k_{bj}-1} p \frac{dV_{bj}}{d\psi} + \frac{1}{k_{bj}-1} V_{bj} \frac{dp}{d\psi} &= (q_u - q_{diss}) \frac{dm_{bj}}{d\psi} - \frac{dQ_{Wui}}{\omega} + \\ &+ c_{puj} \cdot T_{uj} \frac{dm_{bj1}}{d\psi} + c_{pu(j+1)} \cdot T_{u(j+1)} \frac{dm_{bj2}}{d\psi}, \end{aligned} \quad (2)$$

где p, V, T – соответственно давление, объем и температура, m – масса, q_u и q_{diss} – удельные теплоты сгорания топливоздушной смеси и потерь на диссоциацию, Q_w – потери теплоты в стенки камеры сгорания, k и c_p – показатель адиабаты и теплоемкость, ω – угловая скорость вращения ротора, ψ – угол поворота ротора. Индекс u указывает величины, относя-

щиеся к зонам топливоздушной смеси, а индекс b – к зонам продуктов сгорания.

Объемы зон связаны дифференциальным соотношением

$$\sum_1^3 \frac{dV_{ui}}{d\psi} + \sum_1^2 \frac{dV_{bj}}{d\psi} = \frac{dV_{\Sigma(\psi)}}{d\psi}, \quad (3)$$

где $V_{\Sigma}(\varphi)$ – объем всей камеры сгорания при текущем положении ротора.

Уравнение сохранения массы имеет вид:

$$\sum_1^3 m_{ui} + \sum_1^2 \sum_1^2 m_{bji} = m_a. \quad (4)$$

Система уравнений (1), (2), (3), (4) решается относительно неизвестных функций p , V_{u_i} , V_{b_j} методом Рунге-Кутты. При этом приращение массы продуктов сгорания и соответственно уменьшение массы свежего заряда определяются путем моделирования процесса перемещения турбулентного пламени. Для этого используется так называемая модель «погружения», которая позволяет учитывать влияние на скорость распространения пламени как масштаба, так и интенсивности турбулентности. Согласно модели погружения турбулентные моли, попадая во фронт пламени, сгорают по ламинарному механизму. При этом размер сгорающих молей соответствует микромасштабу Тейлора (λ_t), который в свою очередь пропорционален интегральному масштабу турбулентности L_t .

Необходимые для нахождения скорости выгорания топлива значения нормальной скорости распространения ламинарного пламени вычисляются по формулам, аппроксимирующим экспериментальные данные.

Расчет геометрии рабочей камеры выполняется с помощью формул, полученных М. В. Дульгером [9].

Подробное описание математической модели дано в работе [5].

Для описания процесса распространения пламени топливовоздушной смеси, содержащей кроме основного углеводородного топлива добавки синтез-газа, модель дополнена формулами, позволяющими учесть влияние указанных добавок на теплофизические свойства топливовоздушной смеси, ее теплоту сгорания, нормальную скорость распространения пламени.

Массовая доля добавки синтез-газа в общей массе смесового топлива:

$$g_{sg} = \frac{m_{sg}}{m_{CH} + m_{sg}}, \quad (6)$$

где m_{sg} и m_{CH} – массовые расходы синтез-газа и основного углеводородного топлива, соответственно.

Масса воздуха, теоретически необходимая для полного сгорания смеси основного углеводородного топлива с синтез-газом:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} g_C + 8 g_{\Sigma H_2} - g_{O_2} \right), \quad (7)$$

в которой доли углерода, водорода и кислорода в смесовом топливе:

$$g_C = C(1 - g_{sg}), \quad (8)$$

$$g_{\Sigma H_2} = H(1 - g_{sg}) + H_{sg} g_{sg}, \quad (9)$$

$$g_{O_2} = O(1 - g_{sg}), \quad (10)$$

где C , H , O – массовые доли углерода, водорода и кислорода в основном углеводородном топливе, H_{sg} – доля водорода в синтез-газе.

Влияние добавок синтез-газа на теплоту сгорания топлива учитывалось путем пересчета теплоты сгорания топливовоздушной смеси по формуле:

$$Q_u = \frac{(1 - g_{sg}) \cdot Q_{u_{CH}} + g_{sg} Q_{u_{sg}}}{(1 - \gamma) \cdot (1 + \alpha_{\Sigma} l_0)}, \quad (11)$$

где $Q_{u_{CH}}$ и $Q_{u_{sg}}$ – соответственно низшие теплоты сгорания основного углеводородного топлива и синтез-газа, α_{Σ} – коэффициент избытка воздуха для смесового топлива.

Как показывают опыты авторов [15], влиянием малых, не превышающих 10 % по массе, добавок синтез-газа на нормальную скорость распространения пламени в основном углеводородном топливе можно пренебречь.

Приведенные выше формулы позволяют учитывать добавки к основному углеводородному топливу синтез-газа, получаемого паровой конверсией основного углеводородного топлива с использованием теплоты отходящих газов двигателя. Такой вариант конверсии дает возможность осуществлять так называемую термохимическую рекуперацию теплоты, за счет чего можно повысить КПД двигателя и, соответственно, снизить расход топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние добавки водорода на показатели роторно-поршневого двигателя Ванкеля / Е. А. Федянов, Ю. В. Левин, С. Н. Шумский, В. А. Алексейчук / Известия ВолгГТУ : научный журнал № 11 (5) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Наземные транспортные системы»). – С. 65–68.
2. Левин, Ю. В. Влияние добавки водорода на процесс сгорания в роторно-поршневых двигателях / Ю. В. Левин, Е. А. Захаров, Е. А. Федянов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 (258) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Наземные транспортные системы»). – С. 16–18.
3. An experimental investigation of hydrogen-enriched gasoline in a Wankel rotary engine / F. Amrouche, P. Erickson, J. Park, S. Varnhagen // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – Т. 39 – Р. 8525 – 8534.
4. Мищенко, А. И. Применение водорода для автомобильных двигателей / А. И. Мищенко. – Киев: Наук. думка, 1984. – 143 с.

5. Моделирование индикаторного процесса роторно-поршневого двигателя с фазированным впрыском топлива / Г. Н. Злотин, Е. М. Иткис, Е. А. Федянов, С. Г. Черноусов // Двигателестроение. – 2002. – №3. – С. 24–26.
6. Использование генератора синтез-газа в ДВС автомобиля / О. Ф. Бризицкий, В. Я. Терентьев, В. А. Кириллов, А. И. Савицкий, В. А. Бурцев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 6.
7. Левин, Ю. В. Улучшение топливной экономичности и экологичности роторно-поршневого двигателя за счет добавок свободного водорода к основному топливу. – 2016. – 128 с.
8. Зиновьев, И. В. Особенности процесса сгорания и организация расслоения заряда в роторно-поршневых двигателях / И. В. Зиновьев, Е. В. Шатров // Автомобильная промышленность. – 1980. – № 12. – С. 7–10.
9. Дульгер, М. В. Улучшение экономических и токсических показателей роторно – поршневых двигателей путем оптимизации их конструктивных параметров: дисс. ... канд. техн. наук 05.04.02. – Волгоград, 1984, 149 с.
10. Злотин, Г. Н. Особенности рабочего процесса и пути повышения энергетической эффективности роторно-поршневых двигателей Ванкеля: монография / Г. Н. Злотин, Е. А. Федянов. – Волгоград, 2010. – 120 с.
11. Форсирование развития начального очага горения в ДВС с искровым зажиганием / Г. Н. Злотин, В. З. Гибадуллин, Е. А. Федянов, С. Н. Шумский, Е. А. Захаров, А. Ю. Свитачев // Наука – производству. – 2000. – № 1. – С. 24–26.
12. Вибе, И. И. Новое о рабочем цикле двигателей / И. И. Вибе. – 1962.
13. Злотин, Г. Н. Определение состава продуктов неполного сгорания различных углеводородных топлив / Г. Н. Злотин, Ю. В. Иванов, Е. А. Федянов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Процессы преобразования энергии и энергетические установки» ; вып. 2). – С. 25–27.
14. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов и др. ; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.
15. Захаров, Е. А. Интенсификация процессов воспламенения и горения углеводородных топлив при их искровом зажигании: монография / Е. А. Захаров, В. З. Гибадуллин, Е. А. Федянов, С. Н. Шумский; ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – 136 с.

Ответственный за выпуск редактор РИО
В. В. Свитачева

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–64543 от 22 января 2016 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Гл. редактор, тел.: +7 (8442) 23-00-76
E-mail: rector@vstu.ru

Темплан 2021 г. (научные издания). Поз. № 20ж. Дата выхода в свет 17.12.2021 г. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,99. Уч.-изд. л. 5,78.
Тираж 100 экз. Свободная цена. Заказ № 645.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО Издательства ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

Отпечатано в типографии Издательства ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.