

Научно-практический сетевой журнал  
Выходит 2 раза в год

Учредитель и издатель  
Пензенский государственный  
университет архитектуры  
и строительства

Главная редакция:  
Ю.П. Скачков (главный редактор)  
А.М. Данилов (заместитель  
главного редактора)  
И.А. Гарькина (ответственный  
секретарь)

Адрес редакции:  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28,  
ПГУАС  
Тел/факс 8412 420501  
E-mail: regas@pguas.ru  
fmatem@pguas.ru  
www.vestnikpguas.ru

Редакторы: М.А. Сухова,  
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Л.А. Васин

Компьютерная верстка  
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору  
в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации  
Эл. № ФС77-61513 от 24 апреля 2015 г.

Авторы опубликованных материалов  
несут ответственность за достоверность  
приведенных сведений, точность данных  
по цитируемой литературе и за исполь-  
зование в статьях данных, не подлежа-  
щих открытой публикации.  
Редакция может опубликовать статьи  
в порядке обсуждения, не разделяя точку  
зрения автора.

# ВЕСТНИК ПГУАС: СТРОИТЕЛЬСТВО, НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ 2(7)/2018

## Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА.....	3
<b>Андреев С.Ю., Князев А.А., Князев В.А.</b> НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ВОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД .....	3
<b>Андреев С.Ю., Князев А.А.</b> ЭФФЕКТ ИСТОЩЕНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ «ВОДА – ВОЗДУХ» .....	8
ТРАНСПОРТ.....	15
<b>Кузина В.В., Рябов С.С.</b> ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA В АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ: СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ .....	15
<b>Бажанов А.П.</b> ПРОБЛЕМЫ СОБЛЮДЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА «БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» В ПЕНЗЕНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ.....	20
<b>Бажанов А.П., Саксонова Е.С.</b> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....	26
ОБЩИЕ И КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУК .....	32
<b>Васин Л.А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕНТОМ JOOMLA ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАЗДЕЛА «СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ» НА ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛЕ УНИВЕРСИТЕТА...	32

<b>Васин Л.А.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ОБОРУДОВАНИЯ DLINK И CISCO .....	37	<b>Андреев В.С.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ .....	46
<b>Гусарова Е.А., Максимова И.Н.</b> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «БЕКОВСКИЙ РПК «ОКТЯБРЬ»» .....	41	<b>Андреев С.Ю., Князев А.А., Князев В.А.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ДИНАМИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА ФАЗ «ВОДА – ВОЗДУХ» В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ФЛОТАТОРЕ .....	51

## Contents

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE .....	3	COMMON AND COMPLEX PROBLEMS OF TECHNICAL AND APPLIED SCIENCES.....	32
<b>Andreev S.Yu., Knyazev A.A., Knyazev V.A.</b> NEW TECHNOLOGY OF PRODUCING FINE-DISPERSED WATER-AIR MIXTURE FOR FLOTATION WASTE WATER TREATMENT PROCESSES .....	3	<b>Vasin L.A.</b> APPLICATION OF THE CONTROL SYSTEM Joomla CONTENT TO CREATE A SECTION «EDUCATIONAL ORGANIZATION INFORMATION» THE UNIVERSITY PORTAL INTERNET .....	32
<b>Andreev S.Yu., Knyazev A.A.</b> EFFECT OF GAS PHASE OUTLOOK IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS USING DYNAMIC TWO-PHASE SYSTEM «WATER-AIR» .....	8	<b>Vasin L.A.</b> ORGANIZATION OF EDUCATIONAL LABORATORIES FOR STUDYING NETWORK TECHNOLOGIES BASED ON DLINK AND CISCO EQUIPMENT .....	37
TRANSPORT .....	15	<b>Gusarova E.A., Maksimova I.N.</b> THE METROLOGICAL SECURITY OF MEASUREMENT FACILITIES ON THE ENTERPRISE LLC «BEKOVSKY RPK «OCTOBER»».....	41
<b>Kuzina V.V., Ryabov S.S.</b> BIG DATA TECHNOLOGIES IN ROAD TRANSPORT: STATUS AND PROSPECTS	15	<b>Andreev V.S.</b> MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF WASTES COAGULATION TREATMENT WITH THE USE OF COMPUTERS .....	46
<b>Bazhanov A.P.</b> PROBLEMS OF OBSERVANCE OF REQUIREMENTS OF TECHNICAL REGULATIONS OF THE CUSTOMS UNION «SAFETY OF HIGHWAYS» IN PENZA AGGLOMERATION .....	20	<b>Andreev S.Yu., Knyazev A.A., Knyazev V.A.</b> MATHEMATICAL MODELING OF MASS TRANSMISSION PROCESSES THROUGH THE DYNAMIC SURFACE OF THE SECTION OF PHASES «WATER-AIR» IN THE PNEUMATIC FLOTATOR .....	51
<b>Bazhanov A.P., Saksonova E.S.</b> THEORETICAL POSITION ENSURING HIGHWAY RELIABILITY .....	26		

---

# СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

# CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

УДК 628.3

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение, водоотведение  
и гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Князев Александр Анатольевич,**  
старший преподаватель кафедры  
«Инженерная экология»

**Князев Владимир Александрович,**  
кандидат технических наук,  
инженер 1 категории АО «НПП «Рубин»»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Water Supply, Sewerage and  
Hydraulic Engineering»  
E-mail:andreev3007@rambler.ru

**Knyazev Alexander Anatolyevich,**  
Senior Lecturer of the department of «Engineering  
Ecology»

**Knyazev Vladimir Aleksandrovich**  
Candidate of Sciences, 1st Category Engineer,  
«NPP «Rubin»»

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ВОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

С.Ю. Андреев, А.А. Князев, В.А. Князев

Приведены результаты теоретических исследований процессов гидродинамического диспергирования газовой фазы водовоздушной смеси установок флотационной очистки производственных сточных вод. Получено уравнение, позволяющее определить степень дисперсности водовоздушной смеси прошедшей гидромеханическую обработку, при различных уровнях диссипации энергии.

*Ключевые слова: гидродинамическое диспергирование, газовая фаза, степень дисперсности, диссипация энергии, коэффициент поверхностного натяжения*

## NEW TECHNOLOGY OF PRODUCING FINE-DISPERSED WATER-AIR MIXTURE FOR FLOTATION WASTE WATER TREATMENT PROCESSES

S.Yu. Andreev, A.A. Knyazev, V.A. Knyazev

The results of theoretical studies of the processes of hydrodynamic dispersion of the gas phase of a water-air mixture of flotation treatment plants for industrial wastewater are presented. An equation

has been obtained that makes it possible to determine the degree of dispersion of the air-water mixture that has undergone hydromechanical treatment at various levels of energy dissipation.

*Keywords: hydrodynamic dispersion, gas phase, degree of dispersion, energy dissipation, surface tension coefficient*

В настоящее время широкое распространение получили флотационные методы очистки производственных сточных вод. Флотационные методы отделения из сточных вод мелкодисперсных загрязнений в отличие от гравитационных методов мало зависят от седиментационных свойств отделяемых частиц. Эффективность этих методов определяется величиной гидравлической крупности образующихся флотокомплексов «пузырек воздуха – дисперсная частица», что позволяет существенно интенсифицировать процесс флотационной очистки [1, 2].

На локальных канализационных очистных сооружениях промышленных предприятий в настоящее время с успехом используются флотационные установки с гидродинамическим диспергированием газовой фазы водовоздушной смеси. Гидродинамическое диспергирование газовой фазы в воде предусматривает активное перемешивание водовоздушной смеси. Степень дисперсности пузырьков воздуха, образующихся в процессе перемешивания, будет тем выше, чем интенсивнее будет происходить относительное перемещение газовой и жидкой фаз и чем меньше величина поверхностного натяжения на границе раздела фаз «воздух – жидкость». Перемещение газовой фазы (пузырьков воздуха) относительно жидкой фазы (воды) происходит под действием турбулентных пульсаций скорости движения потока водовоздушной смеси, образующейся в процессе перемешивания.

При воздействии на пузырек воздуха диаметром  $d_n$  турбулентной пульсации потока, масштаб которой  $\lambda$  сопоставим с размерами пузырька ( $\lambda \approx d_n$ ), он будет перемещаться относительно жидкости со скоростью  $v_n$  и испытывать действие силы гидродинамического давления  $F_{гд}$ :

$$F_{гд} = \frac{\pi d_n^2}{4} \xi \frac{v_n^2}{2} \rho, \text{ Н}, \quad (1)$$

где  $\xi$  – коэффициент гидродинамического сопротивления.

В процессе перемещения на пузырек воздуха также будет действовать сила поверхностного натяжения  $F_{пн}$ :

$$F_{пн} = \pi d_n^2 \Delta p_n = \pi d_n^2 \frac{4\sigma_n}{d_n} = 4\pi d_n \sigma_n, \text{ Н}. \quad (2)$$

Пузырек сохранит свою сферическую форму, если в процессе перемещения будет соблюдаться стационарный режим действия силы поверхностного натяжения, характеризуемый стационарностью условий относительно действия силы поверхностного натяжения, при этом

$$F_{пн} > F_{гд}, \text{ Н}. \quad (3)$$

В случае, когда

$$F_{пн} \leq F_{гд}, \text{ Н}, \quad (4)$$

пузырек воздуха будет деформироваться, в результате чего величина силы поверхностного натяжения  $F_{пн}$  возрастет и скомпенсирует действие силы гидродинамического давления  $F_{гд}$ . При некотором критическом значении  $v_n$  действие силы гидродинамического давления не может быть скомпенсировано увеличением силы поверхностного натяжения за счет деформации пузырька воздуха, в результате чего произойдет его дробление.

Условием начала процесса деформации поверхности пузырька воздуха под действием турбулентных пульсаций потока масштабом  $\lambda$  будет

$$F_{пн} = F_{гд}, \text{ Н}. \quad (5)$$

Величина элементарной работы, совершаемой против действия силы поверхностного натяжения, может быть определена как

$$\Delta A_{\text{пн}} = F_{\text{пн}} \Delta l, \text{ Дж}, \quad (6)$$

где  $\Delta l$  – элементарное перемещение пузырька воздуха относительно жидкости, м.

При продолжительности перемещения пузырька воздуха  $\Delta t$ , с, со скоростью  $v_{\text{п}}$ , м/с,

$$\Delta l = v_{\text{п}} \Delta t, \text{ м}, \quad (7)$$

тогда

$$\Delta A_{\text{пн}} = F_{\text{пн}} v_{\text{п}} \Delta l, \text{ Дж}. \quad (8)$$

Элементарная мощность при перемещении пузырька воздуха на расстояние  $\Delta l$  может быть определена как

$$\Delta N_{\text{пн}} = \frac{\Delta A_{\text{пн}}}{\Delta T} = \frac{F_{\text{пн}} v_{\text{п}} \Delta l}{\Delta T} = \frac{4\pi d_{\text{п}} \sigma_{\text{п}} v_{\text{п}} \Delta T}{\Delta T} = 4\pi d_{\text{п}} \sigma_{\text{п}} v_{\text{п}}, \text{ Вт}; \frac{\text{Дж}}{\text{с}}. \quad (9)$$

Величина удельной секундной диссипации энергии при этом составит

$$\varepsilon_{\text{T}} = \frac{\Delta N_{\text{пн}}}{\Delta m}, \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}. \quad (10)$$

Масса элементарного объема жидкости, перемешиваемой пузырьком воздуха диаметром  $d_{\text{п}}$  при его элементарном перемещении  $\Delta l$ ,

$$\Delta m = \frac{\pi d_{\text{п}}^2}{4} \Delta l \rho = \frac{\pi d_{\text{п}}^2}{4} v_{\text{п}} \Delta T \rho, \text{ кг}, \quad (11)$$

тогда

$$\varepsilon_{\text{T}} = 4\pi d_{\text{п}} \sigma_{\text{п}} v_{\text{п}} \cdot \frac{4}{\pi d_{\text{п}}^2 \rho v_{\text{п}} \Delta T} = 16 \frac{\sigma_{\text{п}}}{d_{\text{п}} \rho \Delta T}, \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}. \quad (12)$$

Величина элементарной энергии силы поверхностного натяжения может быть определена как

$$\Delta E_{\text{пн}} = \pi d_{\text{п}}^2 \sigma_{\text{п}}, \text{ Дж}, \quad (13)$$

тогда

$$\Delta T = \frac{E_{\text{пн}}}{\Delta N_{\text{пн}}} = \pi d_{\text{п}}^2 \sigma_{\text{п}} \cdot \frac{1}{4\pi d_{\text{п}} \sigma_{\text{п}} v_{\text{п}}} = \frac{1}{4} \frac{d_{\text{п}}}{v_{\text{п}}}, \text{ с}. \quad (14)$$

В работе [3] было предложено определить величину  $\Delta T$  (время экспозиции) как

$$\Delta T = \frac{d_{\text{п}}}{v_{\text{п}}}, \text{ с}. \quad (15)$$

Формула (15) была получена Р. Хигби на основе теории подобия без проведения термодинамического анализа. По нашему мнению в данном случае было бы корректно использовать в качестве линейного размера пузырька воздуха не величину диаметра его поперечного сечения максимальной площади  $d_{\text{п}}$ , м, а величину его гидравлического радиуса  $R_{\text{п}}$ , представляющего собой отношение максимальной площади поперечного сечения  $\omega_{\text{п}}$ , м<sup>2</sup>, к величине смоченного периметра этого сечения  $\chi_{\text{п}}$ , м.

$$R_n = \frac{\omega_n}{\chi_n} = \frac{\pi d_n^2}{4} \cdot \frac{1}{\pi d_n} = \frac{d_n}{4}, \text{ м.} \quad (16)$$

Подставляя формулу (14) в формулу (12), получим:

$$\varepsilon_T = 16 \frac{\sigma_n}{d_{\text{пр}}} \cdot \frac{4v_n}{d_n} = 64 \frac{\sigma_n}{d_{\text{пр}}^2 \rho} v_n, \text{ Вт/кг,} \quad (17)$$

откуда

$$\varepsilon_T^2 = 4098 \frac{\sigma_n^2}{d_n^4 \rho^2} v_n^2, \text{ Вт}^2/\text{кг}^2. \quad (18)$$

Из (1), (2) и (5) имеем

$$\frac{\pi d_n^2}{4} \rho \xi \frac{v_n^2}{2} = 4 \pi d_n \sigma_n, \quad (19)$$

откуда

$$v_n^2 = \frac{32}{d_n} \cdot \frac{\sigma_n}{\rho \xi}, \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (20)$$

Подставляя формулу (19) в формулу (18), имеем

$$\varepsilon_T^2 = \frac{131072}{\xi} \cdot \frac{\sigma_n^3}{d_n^5 \rho^3}, \text{ Вт}^2/\text{кг}^2, \quad (21)$$

откуда

$$d_n = K_{\text{гд}} \left( \frac{\sigma_n^3}{\varepsilon^2 \rho^3} \right)^{1/5}, \text{ м,} \quad (22)$$

где  $K_{\text{гд}} = \left( \frac{131072}{\xi} \right)^{1/5}$  – коэффициент, зависящий от гидродинамических условий,

при которых осуществляется процесс диспергирования водовоздушной смеси.

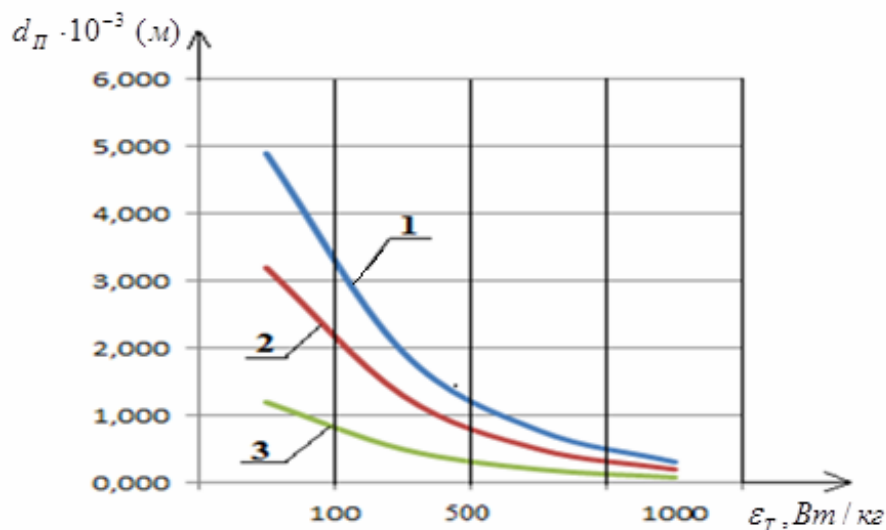
В соответствии с рекомендациями [4]  $K_{\text{гд}} = 3/2$ .

На рисунке представлены графики зависимостей среднего диаметра пузырьков воздуха  $d_n$  в водовоздушной смеси, подвергнутой механическому диспергированию, от величины удельной секундной диссипации энергии  $\varepsilon_T$  при различных значениях коэффициента поверхностного натяжения неискривленной поверхности раздела фаз «жидкость – газ»  $\sigma_{\text{жг}}$ , полученные с использованием формулы (20).

Данные, представленные на рисунке, свидетельствуют о том, что получить водовоздушную смесь со средним диаметром пузырьков воздуха  $d_n$  менее 100 мкм в процессе ее механического диспергирования можно лишь при величине удельной секундной диссипации энергии  $\varepsilon_T$  более 500 Вт/кг.

Наряду с процессами, протекающими в объеме газожидкостной смеси, существенную роль при диспергировании пузырьков воздуха играют и явления, имеющие место на границе раздела фаз «жидкость – твердая поверхность». Основное влияние на интенсивность процесса диспергирования при этом оказывают характеристики пограничного слоя, которые зависят от условий течения перемешиваемой среды в непосредственной близости к межфазовой поверхности. Использование технологического приема, предусматривающего взаимодействие вращающегося ротора, поверхность которого покрыта силикатной эмалью, с потоком водовоздушной смеси, имеющим большую начальную кинетическую энергию, позволит достичь высокой плотности энергии в локальной пристеночной области предлагаемого роторно-дисперги-

рующего устройства, что приведет к существенному интенсифицированию процесса диспергирования смеси.



Графики зависимостей среднего диаметра пузырьков воздуха  $d_p$  в водовоздушной смеси, подвергнутой механическому диспергированию, от величины удельной секундной диссипации энергии  $\varepsilon_T$  при различных значениях коэффициента поверхностного натяжения неискривленной поверхности раздела фаз «жидкость – газ»  $\sigma_{жг}$ :  
1 –  $\sigma_{жг}=0,073 \text{ Дж/м}^2$ ; 2 –  $\sigma_{жг}=0,035 \text{ Дж/м}^2$ ; 3 –  $\sigma_{жг}=0,007 \text{ Дж/м}^2$

В связи с этим требуется разработка оригинальной конструкции роторно-диспергирующего устройства, позволяющего диспергировать до требуемого уровня водовоздушную смесь, подаваемую в данное устройство.

### Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Теоретические основы процессов генерации динамических двухфазных систем вода-воздух и их использование в технологиях очистки воды / С.Ю. Андреев. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 194 с.
2. Андреев, С.Ю. Кинетические закономерности процесса флотации из сточных вод без инерционных дисперсных частиц / С.Ю. Андреев, И.А., Гарькина А.М. Исаева, А.А. Петрунин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №3. – 181 с.
3. Higbie, R. The rate of absorption of a pure gas into a still liquid during short periods of exposure / R. Higbie // Trans. Am. Inst. Chem. Eng. – 1935. – V. 31. – 365 p.
4. Смирнов, А.М. Локальная очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий методом напорной флотации: дис. ... канд. техн. наук / А.М. Смирнов. – СПб., 2004. – 154 с.

### References

1. Andreev, S.Yu. Theoretical bases of processes of generation of two-phase systems of water-air and their use in technologies of water purification / S.Yu. Andreev. – Penza: PGUAC, 2005. – 194 p.
2. Andreev, S.Yu. Kinetic regularities of the process of flotation of wastewater instantaneous particulate matter / S.Yu., Andreev, I.A., Garkina, A.M. Isaev, A.A. Petrunin // Regional architecture and engineering. – 2014. – №3. – 181 p.
3. Higbie, R. The rate of absorption of a pure gas into a still liquid during short periods of exposure / R. Higbie // Trans. Am. Inst. Than. Eng. – 1935. – V. 31. – 365 p.
4. Smirnov, A.M. Local wastewater treatment of pulp and paper enterprises by pressure flotation: dis. ... kand. of Sciences / A.M. Smirnov. – SPb., 2004. – 154 c.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение, водоотведение  
и гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Князев Александр Анатольевич**,  
старший преподаватель кафедры  
«Инженерная экология»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*  
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich**,  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Water Supply, Sewerage and  
Hydraulic Engineering»  
E-mail:andreev3007@rambler.ru

**Knyazev Alexander Anatolyevich**,  
Senior Lecturer of the department of «Engineering  
Ecology»

## ЭФФЕКТ ИСТОЩЕНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ «ВОДА – ВОЗДУХ»

С.Ю. Андреев, А.А. Князев

Приведены результаты теоретических исследований процессов массопередачи газа из газовой в жидкую фазу. Получено уравнение, позволяющее определять величину коэффициента истощения газовой фазы. Использование предложенной методики расчета позволит оптимизировать параметры очистки сточных вод методом барботирования.

*Ключевые слова: двухфазовая система, процесс массопередачи, коэффициент распределения, коэффициент истощения, концентрация насыщения, коэффициент абсорбции*

## EFFECT OF GAS PHASE OUTLOOK IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS USING DYNAMIC TWO-PHASE SYSTEM «WATER-AIR»

S.Yu. Andreev, A.A. Knyazev

Results of theoretical researches of processes of gas mass transfer from gas phase to fluid phase are given. The equation is obtained allowing to determine the value of the gas phase depletion coefficient. The use of the proposed calculation method allows to optimize parameters of wastewaters treatment by the barbotage method.

*Keywords: two-phase system, mass transfer process, distribution coefficient, depletion coefficient, saturation concentration, absorption coefficient*

В технологических процессах очистки сточных вод широкое распространение получили динамические двухфазовые системы «жидкость – газ».

В рассматриваемых двухфазовых системах сплошной средой (дисперсной средой) является жидкость, в которой распределены пузырьки, являющиеся дисперсной фазой (диспергированной газовой фазой) [1].

Как правило, диспергированная газовая фаза (ДГФ) в технологиях очистки сточных вод получается барботажным способом, при котором диспергируемый газ проходит через поры (отверстия) воздухораспределительного устройства, погруженного в жидкость, в результате чего образуется поток газовых пузырьков.

В качестве газовой фазы выступает воздух, в качестве жидкой фазы – очищаемые сточные воды.



Плотность воздуха на несколько порядков меньше плотности воды, вследствие чего на образовавшиеся пузырьки действует сила Архимеда, выталкивающая их из воды. Пузырьки воздуха всплывают на поверхность воды, где в случае отсутствия поверхностно-активных веществ происходит их схлопывание. Поверхность пузырьков воздуха, всплывающих в воде, называется динамической поверхностью. Открытая поверхность воды, на которой происходит схлопывание пузырьков воздуха, называется инверсионной поверхностью. Динамическая двухфазовая система «вода – воздух» может существовать лишь в процессе подачи сжатого воздуха в воздухораспределительное устройство. Прекращение подачи воздуха, т.е. отсутствие расхода легкой фазы, приведет к превращению двухфазовой динамической системы в однофазную через малый промежуток времени, который равен продолжительности всплывания пузырька воздуха через слой воды.

Продолжительность всплывания пузырька воздуха  $\Delta T_n$  характеризует продолжительность контакта газовой и жидкой фаз [3].

В первом приближении в качестве простейшей модели двухфазной системы «жидкость – газ» можно принять одиночный пузырек воздуха, имеющий строго сферическую форму и диаметр  $d_n$  (м), свободно всплывающий через слой воды  $H$  (м) со скоростью  $v_n$  (м/с) (рис. 1).

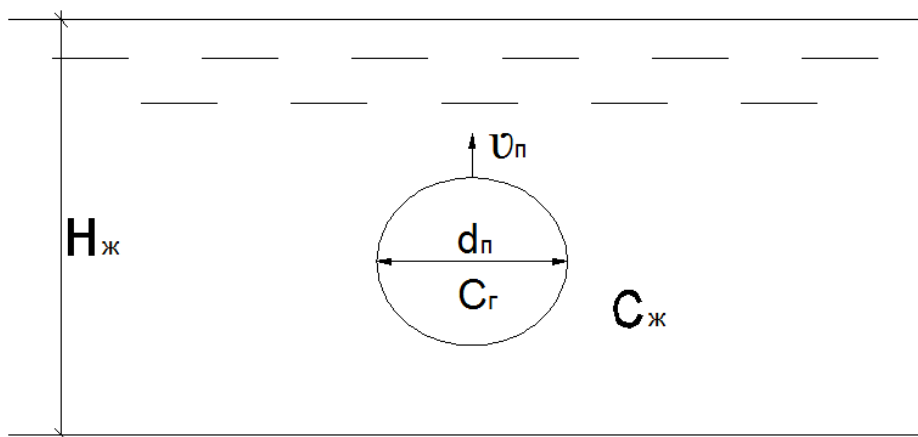


Рис. 1. Модель двухфазной системы «жидкость – газ»

Время контакта  $\Delta T_n$  (с) газовой и жидкой фаз в этом случае можно определить как

$$\Delta T_n = \frac{H_j}{v_n}. \quad (1)$$

За время свободного всплывания пузырька воздуха  $\Delta T_n$  через поверхность раздела фаз «воздух – вода» (динамическую поверхность) будет происходить диффузия компонентов газовой фазы из воздуха в воду или из воды в воздух.

Примером перехода компонента газовой фазы в жидкость является процесс насыщения воды кислородом воздуха при ее аэрации.

В процессе отдувки растворенного аммиака из сточных вод сжатым воздухом происходит переход растворенного газа из жидкости в воздух.

Процесс массопередачи через динамическую поверхность прекратится при достижении динамического равновесия.

Условием динамического равновесия при постоянстве температуры и давления будет равенство химических потенциалов диффундирующего компонента в жидкой и газовой фазах [3]:

$$\mu_j = \mu_g. \quad (2)$$

---

Условие динамического равновесия (2) также можно записать в виде

$$\mu_{\text{ж}}^0 + RT \ln a_{\text{ж}} = \mu_{\text{г}}^0 + RT \ln a_{\text{г}}, \quad (3)$$

где  $a_{\text{ж}}$  и  $a_{\text{г}}$  – активности диффундирующего компонента в жидкой газовой фазе.

Отсюда

$$\ln \frac{a_{\text{ж}}}{a_{\text{г}}} = \frac{\mu_{\text{г}}^0 + \mu_{\text{ж}}^0}{RT}. \quad (4)$$

Учитывая, что стандартные химические потенциалы  $\mu_{\text{ж}}^0$  и  $\mu_{\text{г}}^0$  постоянны, то постоянно и отношение активностей третьего компонента (аммиака) в газовой и жидкой фазах:

$$K_0 = \frac{a_{\text{ж}}}{a_{\text{г}}} = \text{const}. \quad (5)$$

$K_0$  называется термодинамической константой распределения.

Величина термодинамической константы распределения зависит от температуры и природы веществ, образующих равновесную систему.

Величина активностей распределяемого вещества в жидкой  $a_{\text{ж}}$  и газовой  $a_{\text{г}}$  фазах связана с концентрациями распределяемого вещества в этих фазах  $C_{\text{ж}}$  и  $C_{\text{г}}$  соотношениями

$$a_{\text{ж}} = \gamma_{\text{ж}} \cdot C_{\text{ж}}; \quad (6)$$

$$a_{\text{г}} = \gamma_{\text{г}} \cdot C_{\text{г}}, \quad (7)$$

где  $\gamma_{\text{ж}}$  и  $\gamma_{\text{г}}$  – коэффициенты активности распределяемого вещества в жидкой и газообразной фазах, которые формально учитывают все виды взаимодействий молекул распределяемого вещества, приводящие к отклонению от свойств идеального раствора.

С учетом (6) и (7) (5) можно записать в виде

$$K_0 = \frac{a_{\text{ж}}}{a_{\text{г}}} = \frac{C_{\text{ж}}}{C_{\text{г}}} \cdot \frac{\gamma_{\text{ж}}}{\gamma_{\text{г}}} = K_{\text{p}} \cdot \frac{\gamma_{\text{ж}}}{\gamma_{\text{г}}}; \quad (8)$$

$$K_{\text{p}} = \frac{C_{\text{ж}}}{C_{\text{г}}}, \quad (9)$$

где  $K_{\text{p}}$  – коэффициент распределения, определяемый как отношение равновесных концентраций распределяемого компонента в жидкой и газовой фазах.

Коэффициент распределения  $K_{\text{p}}$  в отличие от термодинамической константы распределения  $K_0$  зависит не только от температуры и природы компонентов системы, но и от ионной силы раствора распределяемого вещества.

Величина растворимости диффундирующего компонента в воде  $C_{\text{н}}$  (кг/м<sup>3</sup>) зависит от температуры раствора  $t$  (°C) и связана с величиной коэффициента абсорбции Бунзена  $\alpha$  (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) соотношением [3]

$$C_{\text{н}} = \alpha \cdot \rho, \quad (10)$$

где  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) – плотность диффундирующего компонента при температуре  $t$  (°C).

Коэффициент абсорбции Бунзена  $\alpha$  характеризует величину объема газа, поглощенного единицей объема жидкости при температуре  $t$  (°C) и стандартном парциальном давлении.

В табл. 1 приведены значения растворимости кислорода воздуха в воде  $C_n$  (кг/м<sup>3</sup>), концентрации кислорода в воздухе  $C_{кв}$  (кг/м<sup>3</sup>) и величины коэффициента абсорбции Бунзена  $\alpha$  (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) при разных температурах  $t$  (°C).

Т а б л и ц а 1

Температура раствора $t$ (°C)	10	20	30	40	50
Растворимость кислорода воздуха в воде $C_n$ (кг/м <sup>3</sup> )	0,0113	0,0090	0,0074	0,0065	0,0056
Концентрация кислорода в воздухе $C_{кв}$ (кг/м <sup>3</sup> )	0,288	0,278	0,269	0,261	0,252
Коэффициент абсорбции Бунзена $\alpha$ (м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> )	0,039	0,032	0,028	0,025	0,022

В табл. 2 приведены значения растворимости аммиака в воде  $C_n$  (кг/м<sup>3</sup>), плотности газа аммиака  $\rho_a$  (кг/м<sup>3</sup>) и величины коэффициента абсорбции Бунзена  $\alpha$  (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) при разных температурах  $t$  (°C).

Т а б л и ц а 2

Температура раствора $t$ (°C)	10	20	30	40	50
Растворимость аммиака в воде $C_n$ (кг/м <sup>3</sup> )	679	520	403	307	229
Плотность газа аммиак $\rho_a$ (кг/м <sup>3</sup> )	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65
Коэффициент абсорбции Бунзена $\alpha$ (м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> )	917	731	584	458	352

Движущей силой процесса массопередачи диффундирующего компонента через границу раздела фаз «жидкость – газ» является разность концентраций насыщения воды газом  $C_n$  и текущей концентрации газа в жидкости  $C$ :

$$\Delta C = C_n - C . \quad (11)$$

Концентрация насыщения жидкости газом  $C_n$  (кг/м<sup>3</sup>) зависит от концентрации газа в пропускаемом через жидкость воздухе  $C_{гв}$  (кг/м<sup>3</sup>) и значения коэффициента абсорбции Бунзена  $\alpha$  (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>):

$$C_n = C_r \cdot \alpha . \quad (12)$$

В случае если разность концентрации насыщения жидкости газом  $C_n$  и текущей концентрации газа в жидкости  $C$  является положительной величиной, то имеет место процесс сорбционного перехода газа из воздуха в жидкость, если эта разность является отрицательной величиной, то наблюдается процесс десорбции – перехода газа из воды в воздух.

Скорость процесса массопередачи газа  $\frac{dm}{dt}$  (кг/с) при барботировании прямо пропорциональна величине движущей силы процесса  $\Delta C$  (кг/м<sup>3</sup>), площади раздела фаз «воздух – жидкость»  $A$  (м<sup>2</sup>) и величине поверхностного коэффициента массопередачи (коэффициента массопередачи жидкой пленки)  $K_A$  (м/с).

$$\frac{dm}{dt} = K_A \cdot A (C_n - C) . \quad (13)$$

Массу газа, растворенного в жидкости (удаленного из жидкости),  $\Delta m$  (кг) за время контакта фаз (время всплывания пузырька воздуха  $\Delta T_n$  (с)) можно определить, преобразовывая уравнение (13) и интегрируя его в интервале изменения переменных  $dm$  от 0 до  $\Delta m$  и  $dt$  от 0 до  $\Delta T_n$ :

$$\Delta m = K_A \cdot A (C_n - C) \Delta T . \quad (14)$$

Для практических расчетов процессов массопередачи газа через поверхность контакта фаз «воздух – вода» удобное вместо пленочного коэффициента массопередачи  $K_A$  (м/с) применять величину объемного коэффициента массопередачи  $K_w = \frac{A}{W_{ж}} (c^{-1})$  и выражать скорость массопередачи в объемных единицах концентрации  $\Delta C$  (кг/м<sup>3</sup>). С этой целью в уравнении (14) правая и левая части делятся на величину объема барботируемой жидкости  $W_{ж}$  (м<sup>3</sup>):

$$\Delta C = \frac{\Delta m}{W_{ж}} = K_A \cdot \frac{A}{W_{ж}} (C_n - C) \Delta T_{п} = K_w (C_n - C) \Delta T_{п}. \quad (15)$$

Уравнение (13) может быть записано в виде

$$\frac{dC}{dt} = K_w (C_n - C). \quad (16)$$

Разделяя переменные в уравнении (16) и интегрируя его в интервале изменения переменных  $dt$  от 0 до  $T$  и  $dC$  от  $C_0$  до  $C_T$ , получим:

$$K_w = \frac{1}{T} \ln \frac{(C_n - C_0)}{(C_n - C_T)}, \quad (17)$$

где  $T$  – продолжительность процесса барботирования, (с);  $C_n$  – концентрация насыщения жидкости газом, (кг/м<sup>3</sup>);  $C_0$  – концентрация газа в жидкости в начальный момент барботирования (кг/м<sup>3</sup>);  $C_T$  – концентрация газа в жидкости в конечный момент барботирования (кг/м<sup>3</sup>).

Уравнение (17) широко используется при обработке результатов экспериментальных исследований систем аэраций, обеспечивающих кислородом воздуха активный ил в аэротенках. Процесс обеспечения кислородом воздуха активного ила в биоокислителях протекает в условиях динамического равновесия, когда окислительная способность системы аэрации (масса кислорода, растворяемого в воде)  $OC$  (кг/м<sup>3</sup>·с) равна окислительной мощности активного ила (масса кислорода, потребляемого на окисление органических загрязнений активным илом)  $OM$  (кг/м<sup>3</sup>·с).

В этом случае процесс массопередачи кислорода воздуха в воду протекает при постоянной величине дефицита кислорода  $\Delta C$ , а величины  $K_w$ ,  $C_n$  и  $C$  являются константами.

Принципиальная схема установки для оценки уровня метаболизма активного ила методом респирометрии представлена на рис. 2.

При оценке скорости массопередачи кислорода воздуха в жидкость респирометрическим методом по формуле (17) принимается, что величина концентрации насыщения воды кислородом воздуха  $C_n$  (кг/м<sup>3</sup>) является постоянной величиной и определяется по формуле

$$C_n = C_r^{вх} \cdot \alpha, \quad (18)$$

где  $C_r^{вх}$  – концентрация кислорода в воздухе на входе в воздухораспределительное устройство, (кг/м<sup>3</sup>);  $\alpha$  – коэффициент абсорбции кислорода воздуха в воде (коэффициент Бунзена), (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>).

В реальности концентрация кислорода внутри пузырька воздуха в процессе его всплывания будет уменьшаться от величины  $C_2^{вх}$  до значения концентрации кислорода в воздухе, отводимого из емкости 1, измеренной газоанализатором 9  $C_2^{вых}$ .

Средняя величина концентрации кислорода в пузырьке воздуха за период его всплывания составит  $C_r^{ср}$  (кг/м<sup>3</sup>):

$$C_r^{ср} = \frac{C_r^{вх} + C_r^{вых}}{2}. \quad (19)$$

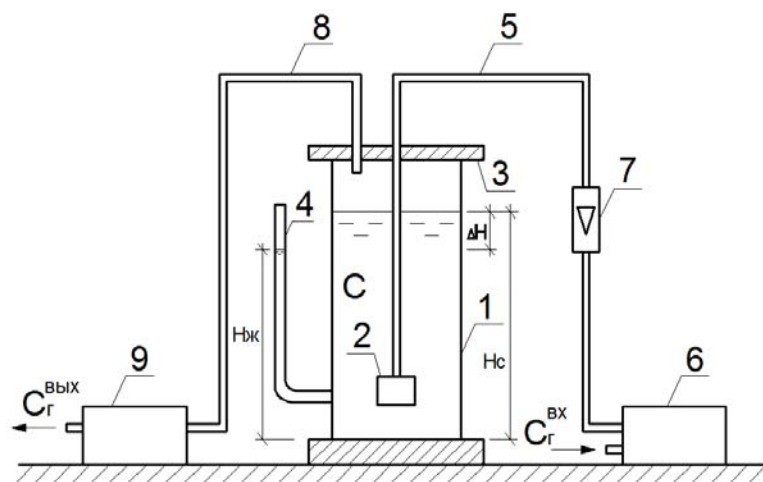


Рис. 2. Принципиальная схема установки для оценки уровня метаболизма активного ила методом респирометрии:

1 – емкость с исследуемой жидкостью (иловой смесью); 2 – воздухораспределительное устройство (аэратор); 3 – герметичная крышка; 4 – пьезометр; 5 – трубопровод подачи сжатого воздуха в воздухораспределительное устройство; 6 – компрессор; 7 – ротаметр; 8 – трубопровод отвода воздуха из емкости с исследуемой жидкостью; 9 – анализатор газового состава отводимого воздуха

При незначительной глубине жидкости  $H_{ж}$  разница концентрации  $\Delta C = C_{г}^{ВХ} - C_{г}^{ВЫХ}$  невелика.

В процессе расчета промышленных сооружений, имеющих большую глубину аэрируемой жидкости, пренебрежение величиной поправочного коэффициента может привести к значимой погрешности.

Определить величину поправочного коэффициента (коэффициента истощения газовой фазы) можно, учитывая баланс масс сорбируемого газа в газовой и жидкой фазе

$$\Delta m_{ж} = \Delta m_{г}, \quad (20)$$

где  $\Delta m_{ж}$  и  $\Delta m_{г}$  – соответственно масса кислорода, растворяемого в жидкости и адсорбируемого из газовой фазы через границу раздела фаз «жидкость – газ» (кг) за время всплывания пузырька воздуха  $\Delta T_{п}$  (с).

Из (18) имеем

$$\Delta C_{ж} W_{ж} = \Delta C_{г} W_{г}, \quad (21)$$

откуда

$$\Delta C_{г} = \Delta C_{ж} \frac{W_{ж}}{W_{г}} = \frac{\Delta C_{ж}}{\bar{W}}, \quad (22)$$

где  $\Delta C_{ж}$  и  $\Delta C_{г}$  – соответственно изменение концентрации кислорода в воздухе и в воде ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) за период всплывания пузырька воздуха  $\Delta T_{п}$  (с);  $W_{ж}$  и  $W_{г}$  – соответственно объем жидкой и газовой фазы ( $\text{м}^3$ ) в водовоздушной смеси, образующейся в аэрационном бассейне;  $\bar{W} = \frac{W_{г}}{W_{ж}}$  – относительный объем водовоздушной смеси.

С учетом (22) формула (15) может быть записана в виде

$$\Delta C = K_w \Delta T_{п} \left[ \left( C_{г} - \frac{\Delta C}{\bar{W}} \right) \alpha - C \right].$$

---

Поскольку  $C_n = C_r \cdot \alpha$ , то

$$\Delta C = K_w \Delta T_{II} \left( C_n - \frac{\Delta C \cdot \alpha}{W} - C \right),$$

откуда

$$\Delta C + \frac{K_w \cdot \Delta T_{II} \cdot \Delta C \cdot \alpha}{W} = K_w \cdot \Delta T (C_n - C);$$

$$\Delta C = K_w \cdot \Delta T_{II} (C_n - C) \left( 1 + \frac{K_w \cdot \Delta T_{II} \cdot \alpha}{W} \right)^{-1} = K_w \cdot \Delta T (C_n - C) K_{гн}, \quad (23)$$

где  $K_{гн}$  – коэффициент истощения газовой фазы пузырька воздуха

$$K_{гн} = \left( 1 + \frac{K_w \cdot \Delta T \cdot \alpha}{W} \right)^{-1}. \quad (24)$$

Используя уравнения (23) и (24), можно корректно учесть эффект истощения газовой фазы в пузырьке воздуха, всплывающем в аэрационном объеме, имеющем большую глубину, что позволит корректно рассчитать и спроектировать аппаратное оформление технологии биологической очистки сточных вод.

### Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Математическое моделирование кинетики процессов массопередачи из всплывающих газовых пузырьков в технологиях очистки сточных вод / С.Ю. Андреев, В.Г. Камбург, В.А. Князев // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 134–139.
2. Андреев, С.Ю. Теоретические основы процессов генерации динамических двухфазных систем вода-воздух и их использование в технологиях очистки воды / С.Ю. Андреев. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 194 с.
3. Попкович, Г.С. Система аэрации сточных вод / Г.С. Попкович, Б.Н. Репин. – М.: Стройиздат, 2009.

### References

1. Andreev, S.Yu. Mathematical modeling of mass transfer processes kinetics from floating gas bubbles in waste water purification technologies / S.Yu. Andreev, V.G. Gamburg, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2013. – №3. – P.134–139.
2. Andreev, S.Yu. Theoretical basis of generation of dynamics biphasic water – air processes systems and their use in water purification technologies / S.Yu. Andreev. – Penza: PSUAC, 2005. – 194 p.
3. Popovich, G.S. Waste water aeration system / G.S. Popovich, B.N. Repin. – M.: CIPH, 2009.

---

# ТРАНСПОРТ

# TRANSPORT

УДК 004.656

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Кузина Валентина Владимировна,**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информационно-  
вычислительные системы»  
E-mail: kuzina@pguas.ru

**Рябов Сергей Сергеевич,**  
магистрант

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Kuzina Valentina Vladimirovna,**

Candidate of Sciences, Associate Professor of the  
department «Information and Computing Systems»  
E-mail: kuzina@pguas.ru

**Ryabov Sergey Sergeevitsh,**  
Undergraduate

## ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA В АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ: СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ

В.В. Кузина, С.С. Рябов

Анализируется совокупность инструментов обработки больших массивов информации Big data. Дается определение понятия «большие данные», приводится история его появления и развития. Рассматриваются методы и технологии анализа и обработки больших данных. Определяются возможности применения данной технологии в автомобильном транспорте и перспективы ее развития.

*Ключевые слова: информационные технологии, большие данные (big data), неструктурированные данные, технологии обработки, автомобильный транспорт*

## BIG DATA TECHNOLOGIES IN ROAD TRANSPORT: STATUS AND PROSPECTS

V.V. Kuzina, S.S. Ryabov

The set of tools for processing large amounts of Big data is analyzed. The definition of the concept of «big data», the history of the emergence and development. Methods and technologies of big data analysis and processing are considered. The possibilities of application of this technology in road transport and prospects of development are determined.

*Keywords: information technology, big data, unstructured data, processing technology, road transport*

Развивающаяся быстрыми темпами технология *Big Data* (в пер. с англ. «большие данные») находит применение в автомобильном транспорте. Термин *Big Data* был введен в 2008 году редактором журнала «*Nature*» Клиффордом Линчем в специальном выпуске, посвящённом значительному росту объёмов информации в мире. *Big Data* представляет собой совокупность подходов, инструментов и методов обработки как структурированных, так и неструктурированных данных больших объёмов и значительного многообразия для получения результатов, эффективных в условиях непрерывного прироста, распределения по многочисленным узлам вычислительной сети. *Big Data* является альтернативой традиционным системам управления базами данных и решениям класса Business Intelligence. К категории *Big data*, по мнению ИТ-специалистов, относится большинство потоков данных объемом свыше 100 Гб в день.

---

В 2010 году стали создаваться программы, предназначенные для минимизации рисков при использовании больших информационных массивов. Вскоре технология *Big Data* стала успешно применяться компаниями Microsoft, Oracle, EMC и IBM и др. Уже с 2013 года в учебные планы некоторых вузов для изучения больших данных стали вводиться отдельные дисциплины. Сегодня это предмет изучения не только науки о данных, но и инженерных и вычислительных курсов.

К базовым принципам, на которых строится работа с большими данными (*Volume* – объем информации, *Velocity* – быстрдействие обработки информации, *Variety* – разнообразие сведений), добавился еще один: *Value* – ценность информации. Работа технологии *Big Data* заключается в следующем: чем больше информации об объекте исследования (о предмете или явлении), тем достовернее можно построить прогноз и принять правильное решение. При использовании больших данных наибольшей проблемой является их конфиденциальность и защита информации, а также затраты на их обработку и резервирование.

Несмотря на разнообразие сфер их использования (банковская, научно-исследовательская, коммерческая, медицина, автотранспорт и т.д.), методы анализа и обработки больших данных имеют общую основу – это математический инструментарий и информационные технологии.

Примером таких технологий являются:

- *Data Mining* – интеллектуальный анализ данных, совокупность методов обнаружения в данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных для интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах;

- краудсорсинг – процесс сбора каких-либо информационных ресурсов с привлечением широкого круга лиц для получения данных из различных источников;

- *A/B*-тестирование (англ. *A/B testing*, *Split testing* – раздельное тестирование), основанное на том, что контрольная группа элементов сравнивается с набором тестовых групп, в которых один или несколько показателей были изменены, чтобы выяснить, какие из изменений улучшают целевой показатель (позволяет определить наиболее значимый параметр);

- прогнозная аналитика – с привлечением специалистов из предметной области;

- машинное обучение на основе эмпирического анализа информации и последующего построения самообучающихся алгоритмов;

- распознавание образов;

- сетевой анализ – для исследования социальных сетей;

- облачные хранилища данных.

Наметились перспективы использования *Big Data* и в автотранспорте. Согласно утвержденному Правительством РФ плану мероприятий (дорожной карте) по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Автонет» [1], уже с 2019 года будут созданы условия для сбора данных с автомобилей на основе внедрения технологии *Big Data*.

План мероприятий направлен на развитие и продвижение новых информационных технологий в сфере автотранспорта и включает 75 пунктов, по каждому из которых установлены целевые результаты, сроки исполнения и ответственные федеральные органы исполнительной власти и организации. Реализация плана рассчитана на 18 лет и поэтапное выполнение с 2018 по 2035 год [1]. Исполнение мероприятий дорожной карты осуществляют Минпромторг, Минтранс, Минкомсвязь, Минэкономразвития, Росавтодор и другие федеральные органы исполнительной власти при участии рабочей группы НТИ «Автонет».

В программу включены мероприятия по решению следующих задач [2]:

- внедрение телематических систем и интеллектуальных решений по управлению автомобилем;

- агрегация и эффективное применение больших данных (*Big Data*), формируемых автотранспортом, а также систем их обработки и хранения;



---

• использование полученных больших данных для оптимизации транспортного потока, совершенствования систем дорожного регулирования, повышения эффективности грузо- и пассажироперевозок и пр.;

- разработка систем активной помощи водителю и систем автономного вождения;
- развитие технологий связи и кибербезопасности в системе автотранспорта.

В рамках реализации дорожной карты «Автонет» уже к концу года будет разработан план поэтапной обязательной установки тахографов, а также порядок передачи, обработки и недискриминационного предоставления заинтересованным сторонам данных о передвижении транспортных средств. Кроме того, планируется создать предварительные национальные стандарты, регулирующие вопросы создания и эксплуатации автомобилей с повышенной степенью автоматизации, а также систем контроля трафика и других сопутствующих решений [2]. Предполагается создать условия, обеспечивающие возможность вывода на рынок транспортных средств с высокой степенью автоматизации управления, установить налоговые льготы для продажи электромобилей и гибридных автомобилей, определить правовой статус «больших данных» на транспорте [3].

«Возможности использования больших данных в автотранспортной сфере представляют огромные перспективы. В автомобиле формируется информация о его местоположении, скорости, данные электронных компонентов, собираемые через штатные системы или специализированные терминалы. Большие данные – один из наиболее быстрорастущих сегментов рынка в автотранспортной сфере», – отметил соруководитель рабочей группы НТИ «Автонет», президент НП «ГЛОНАСС» Александр Гурко [3].

Укажем возможные аспекты применения технологии *Big Data* в автомобильном транспорте [4].

«Подключенный автомобиль» (от англ. *connected cars*) – автомобиль, оснащенный доступом в интернет, что позволяет ему раздавать сеть другим устройствам, использовать сетевые сервисы, предоставлять водителю дополнительную информацию и облегчить управление. Примером такого функционала могут быть: уведомления об авариях на дороге, препятствиях на пути, голосовые команды, синхронизация с приложениями смартфона, диагностика машины и так далее. Успешность работы в этом направлении зависит не столько от характеристик устанавливаемых в машины модулей, сколько от самих сервисов, использующих эти данные, и аналитических моделей, которые обрабатывают и анализируют информацию.

Система позволяет собрать и обработать данные о перемещении людей (куда и сколько; информация обезличена), чтобы предложить самые быстрые, удобные и дешевые способы добраться из пункта *A* в пункт *B* на автотранспорте [5].

Автомобиль позволяет получать информацию о его местоположении и мгновенной скорости, а также анализировать данные системы самодиагностики через *OBD2*. На основе сведений с одного автомобиля можно сделать вывод, например, о стиле езды водителя или режиме его перемещений в городе или по трассе. Анализ обобщенных данных с большого числа автомобилей предоставляет еще больше возможностей. Например, построив карту перемещений автомобилей определенной модели, можно определить целевую аудиторию этой модели и ее «типичные» привычки.

Данные о предпочитаемой скорости, периодах и частотности ускорения и торможения позволяют определить стиль езды водителя и степень вероятности ДТП. Страховые компании некоторых стран на основе анализа телематических данных делают скидки аккуратным водителям.

Такой анализ позволяет создать «электронного штурмана», который может рекомендовать водителю выбор экономичной заправки и оптимального маршрута. С учетом информации о пробеге и по результатам анализа сервисных данных машин той же комплектации с аналогичным режимом эксплуатации сервис может сообщать заранее о необходимости ТО. Детальная информация о «постгарантийных» клиентах позволит разработать способы удержать их.

Имея данные обо всех машинах определенной марки конкретного производителя, можно предсказывать оставшееся время полезного использования и время до поломки

автомобиля, а также возможные причины поломок. Производителям это позволит выявить «системные проблемы» серии или модели и исправить их в новых версиях. Дилеры же на основе этих данных смогут планировать закупки запчастей и сформировать персональный пакет предложений партнерских компаний (магазинов, досуговых центров и т.п.).

Рекламодателям сбор данных с большого количества автомобилей позволяет таргетировать (направить на целевую аудиторию) рекламу, объявления, предназначенные для водителя и его пассажиров.

Система может просигнализировать как аномальное явление ситуацию, когда водитель, долгое время имеющий определенный стиль вождения, вдруг меняет его вследствие экстренного случая (угон, болезнь) или обыденного (обучение детей вождению или обновление приложений). Для такого анализа требуется большой объем информации.

Для внедрения технологии *Big Data* необходимы три компонента: развитая инфраструктура, готовность производителей транспортных средств к инновациям, а также финансовые, интеллектуальные и кадровые ресурсы.

Технически переход к идеологии *connected cars data* возможен благодаря наличию аналитических платформ для работы с большими данными и готовых решений для их анализа и хранения (*Hadoop, Spark, Storm* и др.), а также облачных сервисов (*Amazon RedShift, Azure DataLake, Azure HDInsight*) [6]. Кроме того, разработаны стандарты обмена данными, которые обеспечивают относительно легкую интеграцию поддерживающих их устройств в инфраструктуру потенциальной системы. Однако закрытые протоколы обмена данными внутри машины не позволяют легко и быстро собирать всю информацию с автомобилей.

В заключение отметим, что программа «Автонет» была запущена в 2016 году. За это время был разработан беспилотный модульный комплекс «Matrëshka» (автобус, смартбус, позволяющий перевозить пассажиров и грузы, а также работать в качестве коммунальной техники), а также летающий мотоцикл HoverBike S3 (гибрид квадрокоптера и мотоцикла). Российский автопроизводитель КАМАЗ планирует к 2021 году создать беспилотный грузовик-самосвал для карьерных работ (грузоподъемность до нескольких десятков тонн).

В целом технология *Big Data* пока мало применяется в автомобильной отрасли, но имеет большие перспективы развития.

### Список литературы

1. Об утверждении плана по устранению административных барьеров и правовых ограничений при реализации «дорожной карты» «Автонет»: распоряжение Правительства РФ от 29 марта 2018 года №535-р. – URL: <http://government.ru/docs/31810/>. Дата публикации: 09.04.2018 г.
2. Штепан, Е. В России узаконят использование Big Data с автомобилями / Е. Штепан. – URL: <https://nag.ru/news/newslines/101125/v-rossii-uzakonyat-ispolzovanie-big-data-s-avtomobiley.html>. Дата публикации: 11.04.2018 г.
3. Степанов, Д. «Большие данные» начнут собирать с автомобилей / Д. Степанов. – URL: [http://www.cnews.ru/news/line/2018-04-09\\_bolshie\\_dannye\\_nachnut\\_sobirat\\_s\\_avtomobilej](http://www.cnews.ru/news/line/2018-04-09_bolshie_dannye_nachnut_sobirat_s_avtomobilej). Дата публикации: 9.04.2018 г.
4. Big Data для автодилера и автопроизводителя: от идеи до монетизации. – URL: <http://habrahabr.net/habr/325718/>. Дата публикации: 4.05.2017 г.
5. Гречанник, А. Что такое Big Data и как эта технология сделает столичный транспорт еще удобнее / А. Гречанник. – URL: <https://www.penza.kp.ru/daily/26699/3724821/>. Дата публикации: 04.07.2017 г.
6. Инструменты Больших данных. Hadoop и другие. – URL: <http://технотренд.рф/>. Дата публикации: 4.05.2018 г.

---

## References

1. On approval of the plan for elimination of administrative barriers and legal restrictions in the implementation of the road map «Avtonet»: the decree of the RF Government of March 29, 2018 No. 535-R. – URL: <http://government.ru/docs/31810/>. Publication date: 09.04.2018.
2. Shtepan E. in Russia will legalize the use of Big Data from cars. – URL: <https://nag.ru/news/newsline/101125/v-rossii-uzakonyat-ispolzovanie-big-data-s-avtomobiley.html>. Publication date: 11.04.2018.
3. Stepanov, D. «Big data» will be collected from car / D. Stepanov. – URL: [http://www.cnews.ru/news/line/2018-04-09\\_bolshie\\_dannye\\_nachnut\\_sobirat\\_s\\_avtomobilej](http://www.cnews.ru/news/line/2018-04-09_bolshie_dannye_nachnut_sobirat_s_avtomobilej). Publication date: 9.04.2018.
4. Big Data for car dealer and automaker: from idea to monetization. – URL: <http://habrahabr.net/habr/325718/>. Publication date: 4.05.2017.
5. Grechannik, A. What is Big Data and how this technology will make the capital's transport even more convenient / A. Grechannik. – URL: <https://www.penza.kp.ru/daily/26699/3724821/>. Publication date: 04.07.2017.
6. Big data tools. Hadoop and others. – URL: <http://технотренд.рф/>. Publication date: 4.05.2018.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Бажанов Анатолий Павлович,**  
доктор технических наук, профессор  
E-mail: [bajan\\_p@mail.ru](mailto:bajan_p@mail.ru)

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Bazhanov Anatoly Pavlovich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
E-mail: [bajan\\_p@mail.ru](mailto:bajan_p@mail.ru)

## ПРОБЛЕМЫ СОБЛЮДЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА «БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» В ПЕНЗЕНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

А.П. Бажанов

Изложены проблемы реализации программы комплексного развития транспортной инфраструктуры Пензенской агломерации, нацеленной на приведение ее улично-дорожной сети в соответствие требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог». Установлено отсутствие нормативного документа, регламентирующего отнесение улично-дорожной сети Пензенской агломерации к понятию «улицы населенных пунктов», на которые не распространяются действия технического регламента ТР ТС 014/2011, что классифицируется как несоблюдение его требований. Обоснована необходимость разработки методических рекомендаций, включающих терминологию, новые принципы технического регулирования, системный анализ методических документов, применяемых на территории Пензенской агломерации. Внесены экономически эффективные предложения по приведению нормативного обеспечения дорожной деятельности на ее территории в соответствие требованиям ТР ТС 014/2011, показан положительный опыт применения доказательной базы данного технического регламента.

*Ключевые слова: транспортная инфраструктура, техническое регулирование, улицы поселений, нормативная основа, верификация согласия, международные договоры, методические рекомендации*

## PROBLEMS OF OBSERVANCE OF REQUIREMENTS OF TECHNICAL REGULATIONS OF THE CUSTOMS UNION «SAFETY OF HIGHWAYS» IN PENZA AGGLOMERATION

A.P. Bazhanov

The article outlines the problems of the implementation of the program for the integrated development of the transport infrastructure of the Penza agglomeration aimed at bringing its street-road network into line with the requirements of the Technical Regulations of the Customs Union of the TK of CU 014/2011 «Road Safety». The author established the absence of a normative document regulating the attribution of the street – road network of the Penza metropolitan area to the concept of «streets of settlements», which are not subject to the technical regulation of TR CU 014/2011, which is classified as non-compliance with its requirements. In order to exit from the current regulatory – legal situation avtorjrm the necessity of the development of guidelines, including terminology, new technical regulation principles, system analysis of methodological documents used in the Penza agglomeration and cost-effective proposals on bringing the normative support of road activities on its territory in accordance with the requirements of TR CU 014/2011, as well as the positive experience of the use of evidence of this technical Regla element.

*Keywords: transport infrastructure, technical regulation, streets of settlements, normative base, verification of accordance, international agreements, methodical recommendations*

---

## Введение

В настоящее время в целях исполнения решений, принятых на заседании Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам, ведется реализация программы комплексного развития транспортной инфраструктуры городских агломераций (ПКРТИ) в рамках приоритетного проекта «Безопасные и качественные дороги» на 2017–2025 годы.

В рамках этого проекта запланировано обеспечение реализации программ, нацеленных на приведение в нормативное транспортно-эксплуатационное состояние и развитие автомобильных и муниципальных дорог крупнейших городских агломераций страны [1–14].

ПКРТИ разрабатывается и реализуется администрациями субъектов Российской Федерации совместно с федеральными органами исполнительной власти, администрациями муниципальных образований, вошедшими в соответствующие агломерации, и владельцами автомобильных дорог.

### **Новизна проблемы: реализация программы комплексного развития транспортной инфраструктуры Пензенской агломерации**

В соответствии с поручением министра транспорта Российской Федерации Пензенская агломерация, включающая города Пензу, Заречный и село Засечное Пензенского района Пензенской области, введена в состав участников реализации приоритетного проекта «Безопасные и качественные дороги».

В целях реализации ПКРТИ рабочей группой, созданной по распоряжению областного правительства, в 2017 году разработаны региональная программа и паспорт комплексного развития транспортной инфраструктуры Пензенской агломерации.

Одним из основных направлений реализации данных программных документов является приведение нормативного обеспечения дорожного строительства Пензенской агломерации в соответствие требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» [1–3].

Отличительной особенностью технического регламента ТР ТС 014/2011 является то, что его требования распространяются на дороги общего пользования, однако в соответствии с п. 1 статьи 1 данного технического регламента они не распространяются на «улицы населенных пунктов». В этом случае отнесение к составу улично-дорожной сети Пензенской агломерации одного из его объектов – «улиц населенных пунктов» – на который не распространяются действия ТР ТС 014/2011, классифицируется как несоблюдение требований данного технического регламента, которое в соответствии со статьями 14.43–14.48 КоАП РФ влечет за собой административную ответственность руководства в виде штрафа от 3 000 до 1000000 рублей.

Сложившаяся ситуация, наряду со сложностью приведения нормативного обеспечения дорожного строительства Пензенской агломерации в соответствие требованиям ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог», вызывает дополнительную административно-правовую напряженность в реализации региональной программы комплексного развития транспортной инфраструктуры на ее территории.

### **Методика разработки рекомендаций комплексного развития транспортной инфраструктуры Пензенской агломерации**

Одним из наиболее приоритетных направлений выхода из сложившейся ситуации является разработка методических рекомендаций для Пензенской агломерации, включающих в себя решение следующих основных вопросов приведения нормативно-правового обеспечения дорожного строительства Пензенской агломерации в соответствие требованиям ТР ТС 014/2011:

- использование гармонизированной терминологии в методических документах;
- применение новых принципов технического регулирования [1];
- проверка соответствия использования термина «улицы населенных пунктов», исключенного из ТР ТС 014/2011;

- 
- проведение системного анализа методических документов, применяемых на территории Пензенской агломерации [4–7];
  - выработка экономически эффективных предложений по приведению нормативного обеспечения дорожной деятельности на территории Пензенской агломерации в соответствие требованиям ТР ТС 014/2011 [8–11];
  - использование положительного опыта применения доказательной базы ТР ТС 014/2011.

Исходя из вышеизложенного, структура разрабатываемых методических рекомендаций должна содержать требования не только по гармонизации терминологии, но и по классификационным признакам объектов улично-дорожной сети Пензенской агломерации, не попадающим под действие ТР ТС 014/2011.

На основании требований п. 8 статьи 5 Федерального закона от 08. 11. 2007 № 257 ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» решением Законодательного собрания Пензенской области необходимо установить критерии отнесения автомобильных дорог общего пользования к автомобильным дорогам общего пользования регионального или межмуниципального значения. Данное решение Законодательного собрания Пензенской области должно стать базовым в составе структуры разрабатываемых методических рекомендаций.

В предлагаемом к разработке нормативном документе должны быть гармонизированы смысловые значения терминов «населенные пункты» и «городские и сельские поселения», использованных в регламенте ТР ТС 014/2011 и своде правил СП 42.13330. 2016 «Планировка и застройка городских и сельских поселений».

Гармонизации смысловых значений терминов «населенные пункты» и «городские и сельские поселения» будет способствовать вступление в силу новых редакций сводов правил «Улицы и дороги населенных пунктов» и «Улицы и дороги населенных пунктов. Требования к элементам улично-дорожной сети», разработанных ГУП «НИИПИ Генплана Москвы» и творческим коллективом МАДИ.

Однако в проектах данных нормативных документов так же, как и в своде правил СП 42.13330. 2016 «Планировка и застройка городских и сельских поселений», не отражены четкие функциональные различия в использовании терминов «городские дороги», на которые распространяется действие ТР ТС 014/2011, и «городские улицы», на которые оно не распространяется.

Поэтому в предлагаемых к разработке методических рекомендациях необходимо профессионально обосновать данные функциональные различия [9–14].

Городская улица в отличие от городской дороги включает в себя городскую дорогу, газон и тротуар. Кроме того, на ней есть строения, она имеет название и проходит по населенному пункту, выходя за пределы которого она должна также иметь название для ориентирования, но без наличия строений.

Главная функция городской дороги заключается в перемещении людей, в то время как на городских улицах осуществляется взаимодействие людей в самых различных формах.

Одним из определений термина «улицы населенных пунктов» в предлагаемом для разработки нормативном документе могло бы быть следующее: «Улица населенного пункта является публичной артерией в архитектурной среде. Это пространство между зданиями, на котором люди могут собираться, взаимодействовать и передвигаться». При этом, поскольку улица является линейным объектом, то главные отличия улиц между собой заключаются в разном строении их профиля и структуры, образованной сочетанием двух основных факторов – доступной шириной коридора улицы и типом окружающей ее застройки. При значительной ширине улицы в ее состав могут быть включены бульвар, магистраль или улица с боковыми проездами, а тип окружающей застройки может быть торговым, деловым или жилым. Сочетание этих факторов рождает требования к улице и её структуре.

Улица современного города представляет собой сложное инженерное сооружение. Она имеет наземное оборудование и подземное хозяйство. К наземному оборудованию

относятся дорожная одежда проезжей части и тротуары, конструктивные элементы освещения, связи и городского электрического транспорта, указатели остановок транспорта, устройства и знаки регулирования уличного движения, киоски, будки и павильоны различного назначения, зеленые насаждения. Подземное хозяйство включает сети трубопроводов и кабелей различного назначения (водоснабжение, канализация, водостоки, электроснабжение, теплофикация, связь и газоснабжение и др.), проложенные под проезжей частью, тротуарами и зонами зеленых насаждений.

### **Экспериментальная часть: обсуждение рекомендаций комплексного развития транспортной инфраструктуры Пензенской агломерации**

При проектировании городской улицы должен решаться ряд вопросов инженерного благоустройства, среди которых важнейшими являются: вертикальная планировка улицы и прилегающих к ней территорий, организация движения транспорта и пешеходов на переездах и перекрестках улиц, прокладка подземных инженерных сетей, организация водоотвода на самой улице и с прилегающих кварталов застройки, освещение и озеленение улиц. Эти вопросы должны решаться с учетом эстетических, бытовых и технико-экономических требований при проектировании планировки и застройки улицы, а также в процессе ее строительства или реконструкции. Поэтому при проектировании и строительстве улиц необходимо учитывать, что городская улица является не только дорогой, по которой движутся транспорт и пешеходы, но и частью городского архитектурного ансамбля.

Учитывая изложенные выше соображения, в структуре разрабатываемого документа должно быть предусмотрено использование понятия «терминология и классификация объектов улично-дорожной сети Пензенской агломерации, не попадающих по действие ТР ТС 014/2011». В нем должна быть предусмотрена необходимость проведения анализа правоприменения и выбора схем проверки соответствия не требующих использования определенного перечня работ и требований нормативных документов Федеральной службы по аккредитации, должен быть определен порядок взаимодействия между испытательной лабораторией или центром и заказчиком, определены системы добровольной сертификации, имеющие право выдавать документы о регистрации соответствия.

На основе использования современной лабораторной базы должна быть предусмотрена возможность проведения комплекса испытаний дорожно-строительных материалов по государственным стандартам Таможенного союза по обязательному и добровольному перечням, а также возможность использования положительного опыта применения его доказательной базы на улично-дорожной сети Пензенской агломерации.

Проведение системного анализа действующей нормативной базы дорожного строительства Пензенской агломерации позволит обеспечить эффективное практическое использование международных соглашений Российской Федерации и федерального законодательства в области технического регулирования и проверки соответствия на улично-дорожной сети Пензенской агломерации.

### **Выводы**

Таким образом, реализация предлагаемых к разработке методических рекомендаций должна способствовать внедрению экономически эффективных предложений по развитию и гармонизации действующей нормативной базы дорожного строительства Пензенской агломерации в соответствии с требованиями ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог», в том числе по классификации, терминологии, техническому регулированию и проверке соответствия улиц и объектов улично-дорожной сети ее населенных пунктов.

В результате создания подобного методического документа может быть полностью и в кратчайший срок решена задача использования положительного опыта применения ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» на улично-дорожной сети Пензенской агломерации и его доказательной базы.

---

Изложенный выше подход приведения нормативного обеспечения дорожного строительства Пензенской агломерации в соответствии требованиям ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» может быть использован в процесс реализации программы комплексного развития транспортной инфраструктуры других регионов страны.

### Список литературы

1. Валиев, Ш.Н. Основные направления совершенствования Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» / Ш.Н. Валиев, Н.Е. Кокодеева, С.В. Карпеев, А.В. Кочетков // Строительные материалы. – 2016. – № 3. – С.56–60.
2. Столяров, В.В. Методические подходы совершенствования нормативного обеспечения технического регулирования дорожного хозяйства с учетом теории риска / В.В. Столяров, Н.В. Щеголева, Ш.Н. Валиев, А.В. Кочетков // Грузовик. – 2016. – № 7. – С. 45–48.
3. Васильев, Ю.Э. Научные основы оценки технических рисков в техническом регулировании дорожного хозяйства / Ю.Э. Васильев, Ш.Н. Валиев, Н.В. Щеголева, О.Ф. Шахов, И.Г. Шашков // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9, №5. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF77TVN517.pdf>.
4. Кочетков, А.В. Перспективы развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве / А.В. Кочетков, Л.В. Янковский // Инновационный транспорт. – 2014. – № 1 (11). – С. 42–45.
5. Бажанов А.П. Управление и контроль качества автомобильных дорог / А.П. Бажанов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 277 с.
6. Столяров, В.В. Совершенствование методов применения принципов технического регулирования в дорожной деятельности: монография / В.В. Столяров, А.П. Бажанов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 212 с.
7. Столяров, В.В. Технический регламент «Проектирование автомобильных дорог» (альтернативный вариант) / В.В. Столяров // Дороги. Инновация в строительстве. – 2011. – №6. – С 18–21.
8. Аржанухина, С.П. Организационно-экономический механизм инновационной деятельности дорожного хозяйства / С.П. Аржанухина, А.А. Сухов, А.В. Кочетков, Л.В. Янковский // Инновационный Вестник Регион. – 2012. – № 4. – С. 40–45.
9. Челпанов, И.Б. Стандартизация испытаний строительных, дорожных материалов и изделий / И.Б. Челпанов, С.М. Евтеева, В.В. Талалай, А.В. Кочетков, Б.С. Юшков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2011. – № 2. – С. 57–68.
10. Валиев, Ш.Н. Предложения по совершенствованию нормативных документов по оценке надежности, однородности и технических рисков в дорожном хозяйстве Российской Федерации / Ш.Н. Валиев, Н.Е. Кокодеева, С.В. Карпеев, Р.К. Бородин, А.В. Кочетков // Грузовик. – 2017. – № 1. – С. 49–52.
11. Кочетков, А.В. Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов / А.В. Кочетков, Ю.Э. Васильев, В.В. Каменев, В.Л. Шляфер // Качество. Инновации. Образование. – 2011. – № 5(72). – С. 46–51.
12. Joan Clos. The relevance of street patterns and public space in urban areas / Joan Clos // Copyright © United Nations Human Settlements Programme, UN. – Habitat Working Paper. – April 2013. – P 40.
13. Ban Ki-moon, Anna Kajumulo Tibaijuka, Enhancing Urban Safety and Security: Global Report on Human Settlements 2007, London • Sterling, VA, p 448.
14. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. –М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 352 с.



---

## References

1. Valiev, Sh.N. The main directions of improvement of technical regulations of the Customs Union. «Road safety» / Sh.N. Valiev, N.E. Kolodeeva, S.V. Karpeev, A.V. Kochetkov // Building material. – 2016. – No. 3. – P. 56–60.
2. Stolyarov, V.V. Methodical approaches of improvement of normative support of technical regulation of road economy taking into account the theory of risk / V.V. Stolyarov, N.In. Shchegoleva, Sh.N. Valiev, A.V. Kochetkov // Truck. – 2016. – No. 7. – P. 45–48.
3. Vasilyev, Y.E. Scientific basis of technical risk assessment in technical regulation of road facilities / Y.E. Vasilyev, Sh.N. Valiev, N.In. Shchegoleva, O.F. Shahov, I.G. Shashkov // Online magazine «Science of science». – 2017. – T 5, №5. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF77TVN517.pdf>.
4. Kochetkov, A.V. Prospects of development of innovative activity in the road sector / A.V. Kochetkov, L.V. Yankovsky // Innovative transport. – 2014. – № 1 (11). – P. 42–45.
5. Bazhanov, A.P. Management and quality control of roads / A.P. Bazhanov. – Penza.: PGWS, 2014. – 277 p.
6. Stolyarov, V.V. Improvement of methods of application of the principles of technical regulation in road activities: monograph / V.V. Stolyarov, A.P. Bazhanov. – Penza.: PGWS, 2014. – 212 p.
7. Stolyarov, V.V. Technical regulation «The design of roads» (alternative option) / V.V. Stolyarov // Roads.Innovationinconstruction. – 2011. – No. 6. – P. 18–21.
8. Arzhanuhin, S.P. Organizational and economic mechanism of innovative activity of road economy / S.P. Arzhanuhin, A.A. Sukhov, A.V. Kochetkov, L.V. Yankovsky // Innovative Bulletin Region. – 2012. – No. 4. – P. 40–45.
9. Chelpanov, I.B. Standardization of testing of construction, road materials and products / I.B. Chelpanov, S.M. Evteeva, V.V. Talalay, A.V. Kochetkov, B.S. Yushkov // Transport. Transport construction. Ecology. – 2011. – No. 2. – P. 57–68.
10. Valiev, Sh.N. Proposals for improving regulatory documents for assessing reliability, uniformity and technical risks in the road sector of the Russian Federation / Sh.N. Valiev, N.E. Kolodeeva, S.V. Karpeev, R.K. Borodin, A.V. Kochetkov // Truck. – 2017. – No. 1. – P. 49–52.
11. Kochetkov, A.V. Statistical methods of organization of quality control in the production of road construction materials / A.V. Kochetkov, Y. E. Vasilyev, V.V. Kamenev, W.L. Shlyifer // Quality. Innovations. Education. – 2011. – No. 5(72). – P. 46–51.
12. Joan Clos. The relevance of street patterns and public space in urban areas / Joan Clos // Copyright © United Nations Human Settlements Programme, UN. – Habitat Working Paper. – April 2013. – P 40.
13. Ban Ki-moon, Anna Kajumulo Tibaijuka, Enhancing Urban Safety and Security: Global Report on Human Settlements 2007, London • Sterling, VA, p 448.
14. Silyanov, V.V. Transport and operational quality of roads and city streets / V.V. Silyanov, E.R. Domke. – M.: Publishing center «Academy», 2009. – 352 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Бажанов Анатолий Павлович,**  
доктор технических наук, профессор  
E-mail: [bajan\\_p@mail.ru](mailto:bajan_p@mail.ru)

**Саксонова Елена Степановна,**  
аспирант  
E-mail: [saksonovalena@ya.ru](mailto:saksonovalena@ya.ru)

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Bazhanov Anatoly Pavlovich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
E-mail: [bajan\\_p@mail.ru](mailto:bajan_p@mail.ru)

**Saksonova Elena Stepanovna,**  
Postgraduate  
E-mail: [saksonovalen@ja.ru](mailto:saksonovalen@ja.ru)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А.П. Бажанов, Е.С. Саксонова

Изложена проблема обеспечения надежности автомобильных дорог, от бесперебойного функционирования которых в течение определенного времени зависит сохранение безопасности жизнедеятельности населения, материальных ценностей и социальных условий. На основе требований ГОСТ 27.002-2015 предложена терминология надежности автомобильных дорог и их характеристик, таких, как: безотказность, ремонтпригодность, долговечность и исправность. Обоснована тесная связь отказа автомобильной дороги с потерей работоспособности или выходом из строя какого-либо ее конструктивного элемента (земляного полотна, дорожной одежды, дорожного покрытия). Обоснована необходимость совершенствования метода оценки безотказности комплексной конструкции «дорожная одежда – земляное полотно», связанного с обеспечением надежности этой конструкции.

Представлены результаты исследования характера отказов земляного полотна, дорожного покрытия, дорожной одежды и видов дефектов покрытия проезжей части автомобильной дороги в соответствии с ГОСТ 33180-2014 «Дороги автомобильные общего пользования».

*Ключевые слова: надежность и отказ автомобильной дороги, земляное полотно, дорожное покрытие, дорожная одежда, разрушения, деформации и дефекты дорожной одежды*

## THEORETICAL POSITION ENSURING HIGHWAY RELIABILITY

A.P. Bazhanov, E.S. Saksonova

The article describes the problem of ensuring the reliability of highway. Their non-stop functioning for a certain time depends on preservation of life safety of the population, material values and social conditions. According to on the requirements of GOST 27.002-2015 the terminology of highway reliability is proposed. The necessity of improvement of the method of reliability ratings of complex design «road cover – earthen canvas», related to provision reliability this design, I. e. from the point of view of its occurrence refusal is justified.

*Keywords: highway reliability and failure, subgrade, road cover, road clothes, destruction, road clothes deformation and defect*

### Введение

Понятие «автомобильная дорога» сформулировано в ФЗ № 257 от 08.11.2007 г. как «...объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств и включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода автомобильной дороги и расположенные на них или под ними конструктивные элементы и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью» [1]. Каждый из указанных выше конструктивных элементов можно рассматривать как самостоятель-

---

ный вид продукции, полученный на отдельном этапе дорожного строительства. В связи с этим уровень качества автомобильной дороги является функцией качества ее элементов – дорожных сооружений.

Известно, что как при проектировании, так и при строительстве преследуется цель достижения не только требуемого уровня качества при сдаче дороги в эксплуатацию, но и обеспечения требуемого уровня ее надежности.

Причина интереса к проблеме надежности автомобильных дорог заключается прежде всего в том, что от их бесперебойного функционирования в течение определенного времени зависит сохранение безопасности жизнедеятельности населения, материальных ценностей и социальных условий.

На основе изученных литературных источников по проблеме надежности автомобильных дорог [2–8] выявлено, что область надежности автомобильных дорог пока слабо изучена.

### Материалы и методы исследования

Теория надежности в строительстве в целом еще не сложилась в такой степени, как в приборостроении, машиностроении, на транспорте. Сложность аналитического описания многообразных факторов, которые необходимо учитывать при рассмотрении общих условий надежности, определила то, что в строительстве еще нет законченных инженерных методик расчета их долговечности или решения обратной задачи – подбора материалов и конструкций при задаваемом сроке ее службы [3, 8, 10].

В настоящее время на основе требований ГОСТ 27.002-2015 [10] может быть использована следующая терминология надежности автомобильных дорог и их характеристик.

**Надежность** – свойство автомобильной дороги сохранять во времени способность выполнять требуемые функции (проезжаемость, срок службы, относительная аварийность, видимость и т.д.) в заданных режимах и условиях ее эксплуатации и содержания.

**Безотказность** – свойство автомобильной дороги непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях ее эксплуатации и содержания.

**Ремонтопригодность** – свойство автомобильной дороги, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором она способна выполнять требуемые функции.

**Долговечность** – свойство автомобильной дороги, заключающееся в ее способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации и содержания до предельного состояния.

**Исправность** – свойство автомобильной дороги сохранять способность к выполнению требуемых функций в период ее эксплуатации при заданных сроках и условиях содержания.

Надежность автомобильной дороги тесно связана с понятием общего **отказа**, под которым понимают событие, характеризующее потерю работоспособности или выход из строя какого-либо конструктивного элемента дороги (земляного полотна, дорожной одежды, дорожного покрытия).

Наряду с понятием общего **отказа** автомобильной дороги следует различать частные отказы ее конструктивных элементов.

В качестве частного отказа по прочности следует рассматривать те или иные дефекты отдельных конструктивных слоев, снижающие их прочность (например, заиливание песка или морозное разрушение щебеночного основания).

В каждом случае возникновения такого частного отказа эксплуатационные характеристики конструктивного элемента автомобильной дороги выходят за допустимые пределы, например ровность покрытия и соответственно скорость движения на данном участке становятся меньше допустимых значений. К частным отказам могут быть отнесены и отказы происшедших деформаций и разрушений дорожного покрытия, своевременно не устраненных дорожной службой.

---

В этом плане можно количественно рассматривать частную надежность отдельных элементов дороги как вероятность обеспечения заданной (требуемой) их прочности или заданной (требуемой) скорости безопасности движения (например, на кривых, уклонах и т.п.).

Наибольшее влияние на уровень качества и надежности автомобильной дороги оказывают дорожная одежда и земляное полотно.

В настоящее время наиболее детально вопросы надежности разработаны для дорожной одежды. Основой этого подхода является учет случайных изменений прочностного состояния дорожной одежды.

Общим отказом по прочности являются соответствующие дефекты дорожной одежды в целом (сетка трещин, просадки и др.).

Для дорожной одежды под отказом понимают снижение расчетной прочности за период менее предусмотренного расчетом. В общем случае отказ дорожной одежды – это событие, при котором нарушается возможность транспортного потока выполнять определенную удельную работу (в тонно-километрах за час или сутки). Отказ дорожной одежды может возникнуть при снижении ее прочности, ухудшении ровности и сцепных качеств покрытия дороги.

Возникновение отказов автомобильных дорог объясняется многими причинами. Различают отказы постепенные и внезапные. Постепенные отказы вызваны накоплением необратимых деформаций и мелких разрушений в результате повторяющихся приложений нагрузок, механического износа, ползучести и других причин. Внезапные отказы вызваны потерей прочности или устойчивости сооружения, сопровождающейся его разрушением. Причинами внезапных отказов автомобильной дороги могут быть и стихийные бедствия, которые было невозможно предусмотреть. Однако в ряде случаев к стихийным бедствиям относят массовые разрушения автомобильных дорог, в которых можно усмотреть вину и проектировщиков, и строителей, и эксплуатационников.

Однако следует отметить, что события, при которых происходит внезапный и полный отказ автомобильной дороги, встречаются довольно редко.

При отказах происходит нарушение работоспособности автомобильной дороги, т. е. она не может выполнять заданные функции с параметрами, установленными нормативными документами. Отказ автомобильной дороги в целом – это постепенное снижение среднегодовой средней скорости движения ниже допустимых пределов. Однако и внезапные отказы влияют на величину среднегодовой скорости движения, которая должна являться основным параметром ежегодной оценки надежности дороги в эксплуатации.

В процессе развития современного строительства автомобильных дорог большое значение приобретает совершенствование метода оценки безотказности комплексной конструкции «дорожная одежда – земляное полотно», связанного с обеспечением надежности этой конструкции, особенно в начальный период эксплуатации автомобильной дороги, т.е. с точки зрения возникновения ее отказов.

### **Результаты исследования**

**Земляное полотно.** Отказы, вызванные деформациями и разрушениями земляного полотна, происходят преимущественно под влиянием природных воздействий, которым часто способствуют ошибки проектирования и некачественное выполнение строительных работ. Выражаются такие отказы в виде размывов насыпей, сползания откосов насыпей и выемок, сползания всего земляного полотна на оползневых участках, обвалов на земляное полотно и селей в горных районах, переувлажнения земляного полотна и потери им несущей способности, пучинообразования, недопустимого по величине затопления низких насыпей водой, снежных заносов, лавин и др. В зависимости от объемов эти разрушения могут вызвать полное или частичное закрытие движения на срок от нескольких часов до нескольких месяцев, снижение скорости движения, вызванное необходимостью объезда разрушенного места, регу-

лярное закрытие дороги на зимний период вследствие снежных заносов, что наблюдается на многих горных дорогах.

**Дорожные покрытия.** Отказы, вызываемые деформациями и разрушениями дорожных покрытий, бывают обусловлены главным образом некачественным выполнением работ. Например, при неудовлетворительном подборе составов асфальтобетонной смеси на покрытии образуются волны и сдвиги (при излишне пластичной смеси) или выбоины (при излишне жесткой смеси). Массовые разрушения покрытий могут вызвать невозможность движения по ним и переход движущихся автомобилей на обочины или параллельные грунтовые дороги.

Виды дефектов покрытия проезжей части автомобильной дороги представлены в ГОСТ 33180-2014 «Дороги автомобильные общего пользования» (см. таблицу).

Виды дефектов покрытия проезжей части	
Показатель качества (вида дефекта) покрытия проезжей части	Описание дефекта
Выбоины	Разрушение покрытия в виде углублений разной формы с резко выраженными краями (более 3 см глубиной и площадью более 200 см <sup>2</sup> )
Проломы	Разрушение дорожной одежды на всю ее толщину с резким искажением поперечного профиля, сопровождающееся сеткой трещин
Необработанные участки проезжей части с выпотеванием вяжущего	Излишек вяжущего на поверхности покрытия с изменением его текстуры и цвета площадью более 1 м <sup>2</sup>
Трещины	Нарушение целостности покрытия без удаления материала с образованием узких щелей. Трещины произвольного очертания и расположения с шириной раскрытия более 3 мм на проезжей части
Температурные трещины	Трещины, возникающие в результате колебания температуры и концентрации напряжений в слоях покрытия
Сетка трещин по полосам наката	Разрушение покрытия без существенного искажения профиля и сопровождающееся мелкими продольными и поперечными трещинами произвольного очертания, характерное при недостаточной прочности дорожной одежды
Разрушенные и не заполненные мастикой деформационные швы на цементобетонном покрытии	Повреждение швов и покрытия около них, наличие в разрушенных швах мусора и включений элементов армирования
Полосы загрязнения у кромок покрытия	Наличие загрязнения покрытия из грязи и мусора у кромок

**Дорожная одежда.** Отказы, вызываемые разрушениями и деформациями (просадки, проломы и т. и.), часто происходят в периоды весенних и осенних распутиц при переувлажнении грунтов земляного полотна и потери им несущей способности, под влиянием пучинных разрушений, при недостаточно прочной (надлежащей толщине и жесткости) дорожной одежде.

Следует учитывать, что и дорожная одежда – тоже сложная система, надежность которой в значительной степени зависит от степени надежности отдельных ее слоев и земляного полотна. Нельзя говорить и о надежности земляного полотна в целом без учета надежности отдельных слоев его, различающихся по уровню расположения, степени уплотнения и увлажнения, вида грунта и многих других факторов.

---

## Выводы

Таким образом, отказы автомобильных дорог, характеризующие потерю работоспособности земляного полотна, дорожной одежды и дорожного покрытия, обуславливаются их деформациями, дефектами и разрушениями, которые происходят преимущественно под влиянием ошибок проектирования, некачественного выполнения строительных работ, природных воздействий, а также многократно повторяющихся нагрузок от автомобилей. Поэтому следует провести углубленный анализ причин возникновения деформаций, разрушений и дефектов автомобильных дорог на этапах их проектирования, строительства и содержания.

## Список литературы

1. Федеральный закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изменениями на 7 февраля 2017 года)». – М.: Изд-во «Омега-Л», 2017. – 72 с.
2. СП 42.13330.2010 «Строительные нормы и правила Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений». – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2002. – 112 с.
3. Порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации для дорожных работ, финансируемых из Федерального дорожного фонда. – М.: ФДС России, 1999. – 39 с.
4. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог / В.Ф., Бабков О.В. Андреев, М.С. Замахаев. – М.: Транспорт, 1971. – 400 с.
5. Золотарь, И.А. Повышение надежности автомобильных дорог / И.А. Золотарь, В.К. Некрасов, С. В Коновалов [и др.]; под ред. д-ра техн. наук, проф. И.А. Золотаря. – М.: Транспорт, 1977. – 183 с.
6. Золотарь, И.А. Экономико-математические методы в дорожном строительстве / И.А. Золотарь. – М.: Транспорт, 1974. – 248 с.
7. Ситников, Ю.М. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог / Ю.М. Ситников, О.А. Дивочкин. – М.: Транспорт, 1973. – 125 с.
8. Сиденко, В.М. Управление качеством в дорожном строительстве / В.М. Сиденко, С.Ю. Рокас. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
9. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – М.: Академия, 2008. – 352 с.
10. Мальцев, Ю.А. Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений / Ю.А. Мальцев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.

## References

1. Federal law «On roads and road activities in the Russian Federation and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation (as amended on 7 February 2017)». – М.: Publishing house omega-L, 2017. – 72 p.
2. SP 42.13330.2010 «Building codes and rules. City building. layout and building urban and rural settlements». – М.: The Gosstroy Of Russia, GUP TSPP, 2002. – 112 p.
3. The order of development, approvals and approvals project documentation for road works, funded from the Federal road Fund. – М.: FDS of Russia, 1999. – 39 p.
4. Babkov, V.F. The design of roads / V.F. Babkov, O.V. Andreev, M.S. Zamakhaev. – М.: Transport, 1971. – 400 p.
5. Zolotar, I.A. Increase reliability of motor road / I.A. Zolotar, V.K. Nekrasov, S.V. Konovalov [et al.]; ed. Dr. Sciences, Prof. I. A. Goldsmith. – М.: Transport, 1977. – 183 p.

- 
6. Zolotar, I.A. Economic and mathematical methods in road construction / I.A. Zolotar. – M.:Transport, 1974. – 248 p.
  7. Sitnikov, Y.M. Stage improvement transport and operational quality of roads / Y.M. Sitnikov, O.A. Devochkin. – M.: Transport, 1973. – 125 p.
  8. Sidenko, V.M. Quality management in road construction / V.M. Sidenko, S.Yu. Rokas. – M.: Transport, 1981. – 252 p.
  9. Silyanov, V.V. Transport and operational qualities car roads and city streets / V.V. Silyanov, E.R. Domke. – M.: Academy, 2008. – 352 p.
  10. Maltsev, Yu.A. Economic and mathematical methods design of transport construction / Yu.A. Maltsev. – M.: Publishing center «Academy», 2010. – 320 p.

---

# ОБЩИЕ И КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУК

## COMMON AND COMPLEX PROBLEMS OF TECHNICAL AND APPLIED SCIENCES

УДК 004.55

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Васин Леонид Анатольевич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
зав.кафедрой «Информационно-  
вычислительные системы»  
E-mail:leo@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vasin Leonid Anatolievich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Head of the department «Information-  
computing systems»  
E-mail: leo@pguas.ru

### ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕНТОМ JOOMLA ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАЗДЕЛА «СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ» НА ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛЕ УНИВЕРСИТЕТА

Л.А. Васин

В настоящее время существует необходимость разработки специального раздела для интернет-сайта университета с указанием сведений, на основании которых осуществляется автоматический мониторинг Рособнадзора деятельности вуза. Структура информационного контента регламентируется постановлением Правительства РФ и приказом Министерства образования, а также методическими рекомендациями Рособнадзора.

Рассматривается способ создания такого раздела с использованием системы управления контентом CMS Joomla, позволяющей провести разработку с последующим администрированием информационного контента. Показан вариант создания подобного раздела образовательной организации на примере строительного университета. Приведена структура раздела, показаны примеры работы с редактором материалов и тегами микроразметки по рекомендациям Рособнадзора.

*Ключевые слова: интернет-сайт, структурная организация, правила разметки, система управления контентом, визуальный интерфейс, разметка*



---

# APPLICATION OF THE CONTROL SYSTEM JOOMLA CONTENT TO CREATE A SECTION «EDUCATIONAL ORGANIZATION INFORMATION» THE UNIVERSITY PORTAL INTERNET

L.A. Vasin

Currently, there is a need to develop a special section for the University's Internet site, which provides information on the basis of which Rosobrnadzor automatically monitors university activities. The structure of information content is regulated by a decree of the Government of the Russian Federation and an order of the Ministry of Education, as well as methodological recommendations of the Rosobrnadzor.

We consider the way to create such a section using the content management system CMS Joomla allowing to develop and then administer information content. The option of creating a section of an educational organization is shown using the example of a building university. The structure of the section is shown, examples of work with the editor of materials are shown, as well as micromarking with tags according to the recommendations of Rosobrnadzor.

*Keywords: Internet site, structural organization, rules of markup, content management system, visual interface, html markup*

## Введение

Построение цифровой экономики, развитие системы электронного образования, а также построение электронной образовательной среды учебных заведений ставит задачу создания интернет-сайта учебного заведения на важное место в процессе информатизации. Это обусловлено возможностями дистанционной работы с массивами информационного контента, размещенного в разделах. Их организация представляет собой сложную структуру, которая содержит сам информационный контент, визуальный интерфейс пользователя, а также навигационные средства, позволяющие осуществлять переход между различными тематическими разделами сайта.

Современный интернет-сайт представляет собой набор технических и информационных частей. Техническая часть сайта является совокупностью программных аппаратных средств, развернутых на собственном или арендованном физическом сервере. В университете используются собственные аппаратные средства для развертывания интернет-сайтов и информационных сервисных служб. Информационная часть включает в себя структурированный материал, размещенный в соответствующих тематических разделах и имеющий поисковые механизмы.

Процесс создания интернет-сайта можно разделить на несколько этапов: проектирование структуры, создание элементов управления, управление пользовательскими аккаунтами и заполнение информационным контентом. Традиционный подход заключался в индивидуальной разработке программной части на языке программирования, регламентированном техническим заданием. Это позволяет разрабатывать проекты сайтов с выполнением индивидуальных требований. При этом разработка может занимать значительный временной промежуток.

Для более эффективного процесса разработки, к которому предъявляются стандартные требования, можно использовать системы управления контентом (CMS). При этом основной этап заключается в проектировании дизайна с последующим созданием шаблона, а также администрировании программных модулей, которые выполняют необходимые функции, например навигацию, поиск, управление пользователями, мультиплетность, адаптивность для людей с ограниченными возможностями.

## Основная часть

Для разработки сайта университета используется CMS Joomla. Это система управления контентом, написанная на языках PHP и JavaScript, использующая в качестве хранилища базы данных, такие, как MySQL, PostgreSQL и другие. Она относится к категории свободного программного обеспечения, распространяемого открыто и бесплатно по лицензии GNU/GPL

Система представляет собой набор базового программного обеспечения, реализованного на языке программирования php. Кроме этого, включены наборы необходимых шаблонов, представляющие html-страницы, подготовленные к загрузке и включающие адаптивную верстку с помощью технологии формального описания внешнего вида документа, написанного с использованием языка разметки (CSS). Также в программное обеспечение входят функциональные расширения: компоненты, плагины и модули.

Компоненты являются основной, базовой по функциональному назначению частью Joomla и предназначены для отображения основного информационного контента сайта, например новости, статьи в разделах. В состав системы управления контентом Joomla входит большое количество компонент, например, управляющих материалами, категориями, баннерами.

Плагины Joomla обеспечивают программную обработку для дополнительных функций и взаимодействуют с системными событиями, называемыми триггерами. Такой механизм позволяет осуществлять запуск на обработку необходимых плагинов при возникновении некоторых событий.

Модули представляют собой отдельные функциональные визуальные блоки. С их помощью можно расширить функциональное оснащение сайта, например вывод новостной рубрики, интеграцию с социальными сетями, расширить художественное оформление сайта.

Для работы с сайтом используется административная панель управления, показанная на рис. 1. С её помощью можно управлять плагинами, материалами, создавать пункты меню различных уровней вложенности, проводить администрирование плагинов, модулей, создавать резервные копии и осуществлять обновление программного обеспечения системы управления контентом сайта.

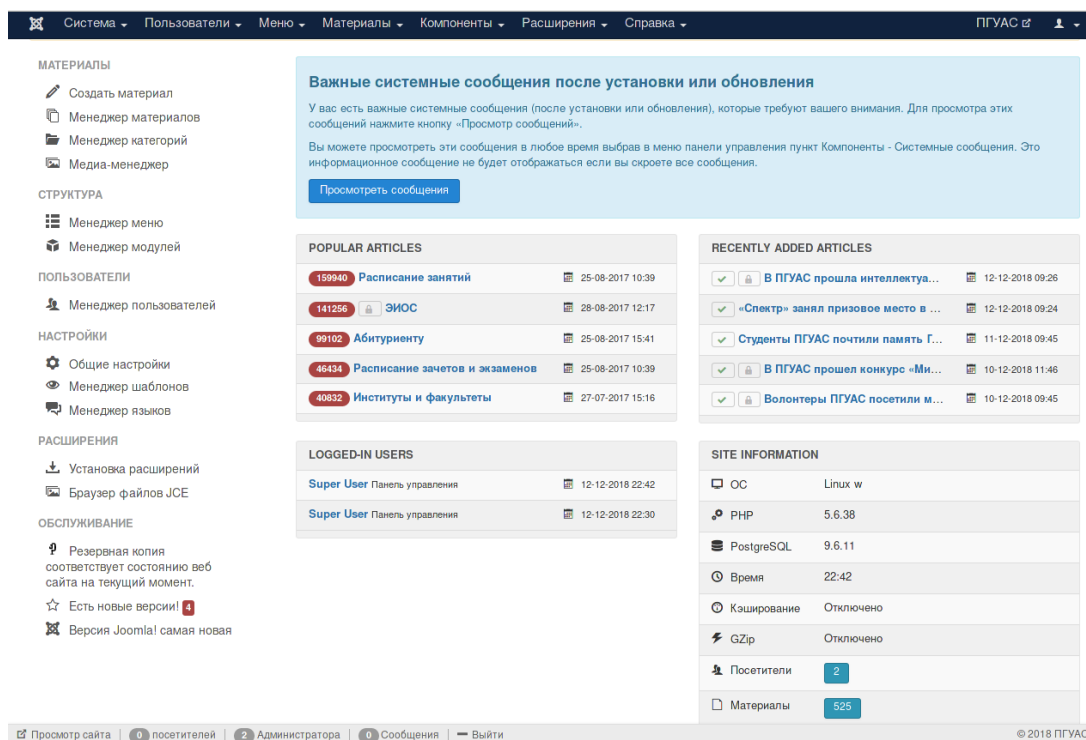


Рис. 1. Административная панель управления

Структура раздела «Сведения об образовательной организации» состоит из подразделов: «Основные сведения», «Структура и органы управления образовательной организации», «Документы», «Образование», «Образовательные стандарты», «Руководство», «Педагогический (научно-педагогический состав)», «Материально-техническая оснащенность образовательного процесса», «Стипендии и иные виды материаль-

ной поддержки, платные образовательные услуги», «Финансово-хозяйственная деятельность», «Вакантные места для приема (перевода)» и «Абитуриенту».

Каждый из разделов содержит набор необходимой информации, представленной в текстовой форме; также осуществляется загрузка файлов в формате PDF. На рис. 2 показан пример оформления страницы «Образование», выполненный с использованием визуального редактора CMS Joomla.

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА

Выберите год образовательной программы

2018 2017 2016 2015 2014 2013

2018 год

Срок действия Численность Результаты приема Перевод, восстановление, отчисление **Образовательные программы** НИР Объем программ Практики

Информация по образовательным программам, в том числе по адаптированным (2018г10)

Код	Наименование специальности, направление подготовки	Уровень образования	Реализуемые формы обучения	Ссылка на описание образовательной программы с приложением ее копии	Ссылка на учебный план с приложением его копии	Ссылка на аннотации к рабочим программам дисциплин с приложением их копий	Ссылка на календарный учебный график с приложением его копии	Информация о практиках, предусмотренных образовательной программой	Ссылка на методические и иные документы, разработанные образовательной организацией для обеспечения образовательного процесса	Использование при реализации образовательных программ электронного обучения и дистанционных образовательных технологий
07.03.01	Архитектура	высшее образование - бакалавриат	очная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет
07.03.04	Градостроительство	высшее образование - бакалавриат	очная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет
07.04.01	Архитектура	высшее образование - магистратура	очная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет
08.03.01	Строительство	высшее образование - бакалавриат	очная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет
		высшее образование - бакалавриат	очно-заочная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет
		высшее образование - бакалавриат	заочная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет
08.04.01	Строительство Направленность «Теория и проектирование облицовочных...	высшее образование - магистратура	очная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет
		высшее образование - бакалавриат	очно-заочная	ООП АООП	Учебный план	Аннотация	Учебный график	Практика		Нет

Рис. 2. Внешний вид страницы раздела «Сведения об образовательной организации». Подраздел «Образование»

Каждый раздел содержит специальную микроразметку скрытыми тегами в формате `<span itemprop=" " >`. Она выполняется для всех элементов страницы, таких, например, как ссылки на файлы, фрагменты текста, контрольные цифры, тем самым весь информационный контент может быть автоматически проиндексирован для определения качественных характеристик наполненности информацией соответствующих разделов. Кроме этого, микроразметка позволяет получить загруженные файлы при проведении контрольного сканирования раздела в полностью автоматическом режиме. Полученная информация используется в дальнейшем при составлении рейтинговых показателей деятельности вуза в целом.

Используя визуальный редактор материалов CMS, можно также осуществлять работы непосредственно с исходным текстом страницы, выполненной с применением html-разметки. На рис. 3 показан фрагмент исходного текста страницы «Образование» с использованием микроразметки.

Для удобства визуального восприятия больших по объему разделов при их разработке используется система вкладок – tabs. Они предназначены для формирования отображения информационного контента в пределах области страницы браузера с помощью дополнительных элементов визуализации. Навигация между информационным контентом осуществляется путём переключения с помощью ярлыков (вкладок). Данный элемент относится к компонентам фреймворка Bootstrap. Это свободно распространяемый набор инструментов, с помощью которых реализуется современный web-сайт. В его состав включены шаблоны html и css, навигационные блоки, кнопки, формы, метка, вкладки и другие компоненты веб-интерфейса. Используя дан-

ный фреймворк, можно реализовать раздел «Сведения об образовательной организации» с выполнением всех требований и в удобном для визуального восприятия виде.

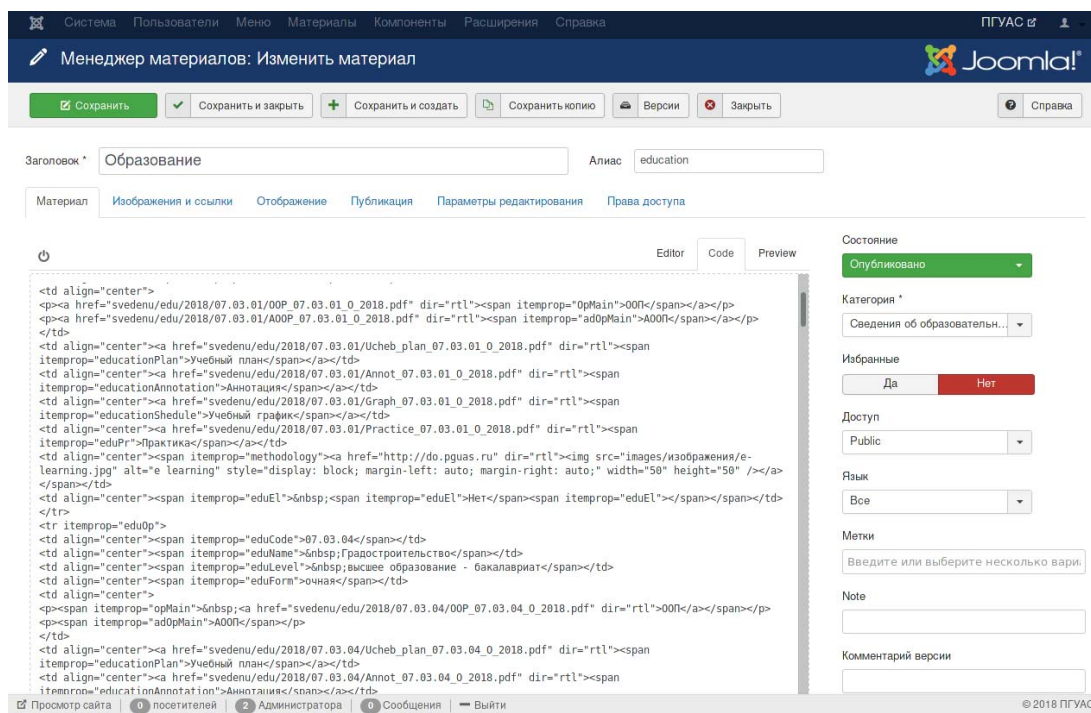


Рис. 3. Внешний вид страницы раздела «Сведения об образовательной организации». Подраздел «Образование»

#### Выводы:

1. Показана возможность создания разделов интернет-сайта университета использованием CMS Joomla.
2. Использование фреймворка Bootstrap позволяет создавать разделы с удобным визуальным интерфейсом.
3. Используя функциональные компоненты CMS Joomla, можно выполнить раздел «Сведения об образовательной организации» в соответствии с требованиями Рособнадзора.

#### Список литературы

1. Мэррот, Дж. Joomla! 3.0: официальное руководство / Дж. Мэррот, Э. Уоринг. – СПб.: Питер, 2013. – 496 с.
2. Морето, С. Bootstrap в примерах / С. Морето. – М.: Изд-во ДМК Пресс, 2017. – 314 с.

#### References

1. Marrot, J. Joomla! 3.0: The official guide / J. Marrot, E. Waring. – St. Petersburg: Publishing – Peter. : 2013 – 496 p.
2. Moreto, S. Bootstrap in the examples / S. Moreto. – M.: Publishing – DMK Press, 2017. – 314 p.

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Васин Леонид Анатольевич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
зав. кафедрой «Информационно-  
вычислительные системы»  
E-mail: leo@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vasin Leonid Anatolievich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Head of the department «Information-  
computing systems»  
E-mail: leo@pguas.ru

## ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ОБОРУДОВАНИЯ DLINK И CISCO

Л.А. Васин

Необходимость подготовки специалистов в области администрирования компьютерных сетей и сетевого оборудования ставит вопрос создания специализированных лабораторий в учебном заведении. Их техническое оснащение должно соответствовать рабочей программе и учебному плану и включать в себя необходимые модели оборудования, которые используются при реальной технической реализации проектов. Это позволит получить теоретические и практические навыки в процессе администрирования сетевого оборудования.

Рассматриваются структура сетевого оборудования, его основное назначение и различия в работе, технические характеристики, проводится обоснование выбора необходимого для изучения оборудования и программного обеспечения, показаны порядок их изучения и структура учебного курса.

Представлен один из вариантов создания сетевой лаборатории на основе оборудования фирм DLINK и Cisco. Приведена сетевая топология построения компьютерной сети в лаборатории, показаны используемые модели коммутирующего и маршрутизирующего оборудования, описано программное обеспечение, применяемое при организации лабораторных работ.

*Ключевые слова: строительное образование, учебный процесс, компьютерная сеть, сетевой трафик, коммутатор, маршрутизатор, программное обеспечение*

## ORGANIZATION OF EDUCATIONAL LABORATORIES FOR STUDYING NETWORK TECHNOLOGIES BASED ON DLINK AND CISCO EQUIPMENT

L.A. Vasin

The need to organize the training of specialists in the field of administration of computer networks and network equipment raises the question of creating specialized laboratories in an educational institution. Its technical equipment must comply with the work program and curriculum and include the necessary equipment models that are used in the actual technical implementation of projects. This allows to gain theoretical and practical skills in the process of administering network equipment.

The structure of the network equipment, the main purpose and differences in the work, technical characteristics are considered, the rationale for selecting the equipment and software necessary for the study is presented, the order of study and the structure of the training course are shown in which the study of network technologies and switching and routing equipment are shown.

One of the options for creating a network laboratory based on equipment from Dlink and Cisco is shown. The network topology of building a computer network in the laboratory and the used models

---

of switching and routing equipment, as well as the software used in the organization of laboratory work are given.

*Keywords: construction education, educational process, computer network, network traffic, switch, router, software*

### Введение

При проектировании информационных систем различной сложности важным этапом является разработка организационных и технических мероприятий по созданию телекоммуникационной среды передачи данных. К ним относится планирование адресного пространства, определение сетевой топологии, выбор необходимого сетевого оборудования с разработкой конфигурации. Кроме этого, обеспечивается необходимый уровень информационной безопасности с использованием специализированного сетевого оборудования и программного обеспечения.

Выполнение проектных работ, а также проведение администрирования сетевого оборудования и монтажных работ осуществляется квалифицированным персоналом, уровень подготовки которого зависит от качественно организованного процесса обучения. Максимальной эффективности можно достичь, сочетая выполнение практических работ в специализированных компьютерных программах, моделирующих работу сетевого оборудования и компьютерной сети, а также непосредственно с сетевыми аппаратными платформами.

Изучение теоретических вопросов является важной частью обучения, без которого невозможно овладеть всеми аспектами управления компьютерной сетью и сетевым оборудованием, которые обеспечивают управление трафиком на всех уровнях взаимодействия систем телекоммуникации. Учебный план проведения таких занятий должен охватывать весь спектр вопросов, касающихся как теоретической части функционирования систем телекоммуникаций, так и сетевого администрирования. В нем рассматриваются следующие вопросы: среды передачи данных, топологические структуры сети передачи, используемые виды адресации, функционирование процессов коммутации и маршрутизации сетевых пакетов, используемые сетевые протоколы.

После теоретической части учебного курса необходимо предусмотреть изучение основных аппаратных платформ применяемого сетевого оборудования, их классификацию, назначение, техническое исполнение, а также базовые системные характеристики. Это позволит сформировать базовые компетенции по применению необходимого сетевого оборудования в различных конфигурациях компьютерных сетей, а также помочь с определением необходимого оборудования для практического развертывания компьютерной сети.

Для практического изучения сетевого оборудования, а также технологий его администрирования необходимо проведение практических и лабораторных работ в специализированной сетевой лаборатории, в которой должны быть установлены лабораторные наборы сетевого оборудования (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны, сетевые дисковые накопители и серверы). Кроме этого, на рабочих местах должно быть установлено необходимое программное обеспечение (сетевые эмуляторы, программы мониторинга и управления, сетевые сканеры, анализаторы трафика).

### Основная часть

Для полноценного изучения сетевого оборудования необходимо использовать сетевое оборудование различных классов, получившее распространение при проектировании компьютерных сетей различной степени сложности.

Согласно моделям взаимодействия OSI и TCP/IP сетевое оборудование, предназначенное для управления трафиком, можно разделить на два класса:

- маршрутизирующие устройства;
- коммутирующие устройства.

Коммутирующие устройства управляют сетевым трафиком на физическом (канальном) уровне L2 модели взаимодействия с поддержкой соответствующих протоколов. Маршрутизирующие устройства – маршрутизаторы – обеспечивают управление

---

сетевым трафиком на сетевом, или L3, уровне. Коммутатор уровня 2 (L2) предназначен для соединения нескольких устройств локальной вычислительной сети (LAN) или нескольких сегментов данной сети. Коммутатор уровня 2 обрабатывает MAC-адреса поступающих фреймов, осуществляет физическую адресацию и управление потоком данных VLAN, QoS, мультикаст-фильтрацию в случае использования управляемых коммутаторов L2. Коммутаторы L3 реализуют механизмы маршрутизации, управления логической адресацией и определяют пути доставки данных (маршрута) с использованием различных протоколов маршрутизации.

Изучение процессов администрирования сетевых устройств таких классов является обязательным при разработке учебного плана сетевой лаборатории. Таким образом, в минимально необходимом оснащении лаборатории обязательно должны входить такие классы устройств, которые позволяют организовать практическое изучение процесса сетевого администрирования.

В университете создана сетевая лаборатория, в которой используется сетевое оборудование Dlink и Cisco. Это два ведущих производителя оборудования для организации телекоммуникационных систем, которые широко распространены в нашей стране. Коммутаторы Dlink являются самым распространенным абонентским и магистральным оборудованием, используемым Интернет-провайдерами для организации высокоскоростного доступа организациям и индивидуальным потребителям. Маршрутизаторы Cisco являются фактически стандартом для L3-оборудования, используемого для подключения локальных компьютерных сетей к Интернет-сети провайдеров. Все коммутационное оборудование подразделяется на несколько уровней:

1. Core (уровень ядра);
2. Distribution (уровень распределения);
3. Access (уровень доступа).

При выборе моделей коммутаторов были определены модели, позволяющие полностью охватить все иерархические уровни и тем самым реализовывать различные варианты построения компьютерных сетей. На уровне ядра используются коммутаторы Dlink DXS-3324Sri, DGS-3324, DGS-3350. Это линейка стекируемых гигабитных L3-коммутаторов, позволяющих организовать ядро компьютерной сети, сформировать подсети и управлять маршрутизацией в них. На их примере обучающиеся могут создавать коммутационные стеки в кольцевой и звездообразной топологиях. Для уровня распределения используются коммутаторы L2+ DGS-3450 и DGS-3426. На их основе можно изучать работу по управлению процессом коммутации сетевых пакетов в компьютерной сети при совместном использовании с коммутаторами уровня L3. Для изучения работы коммутаторов на уровне доступа в сетевой лаборатории используются коммутаторы DES-3526. Организуя обучения на этих моделях, можно показать возможности реализации безопасного подключения пользователей, а также рабочих групп к локальной компьютерной сети.

Во время проведения лабораторных работ формируются знания по управлению коммутатором, организации сложных управляемых сетей с использованием технологий VLAN, QoS.

Администрирование коммутаторов DLINK происходит через текстовую консоль, а также с использованием Web-интерфейса. Совместное их применение позволяет гибко подойти к обучению работе с текстовой консолью управления сетевым оборудованием, что является стандартом при выполнении операций сетевого администрирования на оборудовании различных производителей. Необходимость получения компенсаций для работы в таком режиме позволяет сформировать более глубокое понимание процесса администрирования, чем при работе с Web-интерфейсом.

Для изучения администрирования маршрутизирующего оборудования в сетевой лаборатории используются следующие модели маршрутизаторов: Cisco 2801 и 2911. Данные модели получили широкое распространение в сетях Интернет-провайдеров, в также в крупных компаниях при организации коллективного доступа. В процессе обучения изучаются основные команды операционной системы IOS, используемой во

---

всех моделях сетевого оборудования фирмы Cisco. При организации практических работ с оборудованием такого класса в сетевой лаборатории акцент делается на изучение технологий Network Address Translation, Port Mapping, управление сетевым пакетным фильтром, формирование управляющих правил для обеспечения работы брандмауэров различных конфигураций.

В сетевой лаборатории используется открытая операционная система CentOS, которая является широко распространенной при установке на аппаратные платформы Intel. Для изучения работы с компьютерной сетью используются сканер NMAP, анализатор сетевых пакетов Wireshark, а также эмулятор работы сети Cisco Packet Tracer.

#### Выводы:

1. Показана возможность создания сетевой лаборатории на базе оборудования Dlink и Cisco.
2. Отмечено, что наличие полного набора сетевых коммутаторов позволит проводить обучение по построению иерархической компьютерной сети.
3. Определена возможность использования маршрутизирующего оборудования фирмы Cisco в сетевой лаборатории при изучении администрирования брандмауэров и сетевых пакетных фильтров.

#### Список литературы

1. Эви Немет. Unix и Linux. Руководство системного администратора / Эви Немет, Гарт Снайдер, Тренд Р. Хейн, Б.Н. Уэйли. – М.: Изд-во Вильямс: 2014. – 1312 с.
2. Парди, Г. LINUX руководство администратора сети / Г. Парди, Т. Доусон, Т. Боттс. – СПб.: Изд-во КУДИЦ-Пресс. – 470 с.

#### References

1. Evi Nemet Unix and Linux. System Administrator's Guide / Evi Nemet, Garth Snyder, Trend R. Hein, B.N. Wayley. – M.: Williams Publishing House, 2014. – 1312 p.
2. Pardee, G. LINUX network administrator's guide / G. Pardee, T. Dawson, T. Botts. – SPb.: Publishing house KUDITS-Press. – 470 p.



Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Гусарова Елена Александровна,**  
магистрант

**Максимова Ирина Николаевна,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Управление качеством и технология  
строительного производства»  
E-mail: maksimovain@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Gusarova Elena Aleksandrovna,**  
master students

**Maksimova Irina Nikolaevna,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor of the  
department «Quality management and technology  
of construction production»  
E-mail: maksimovain@mail.ru

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «БЕКОВСКИЙ РПК «ОКТАБРЬ»»

Е.А. Гусарова, И.Н. Максимова

В процессе эксплуатации метрологические характеристики и параметры средств измерений претерпевают изменения. Эти изменения носят монотонный или случайный характер и приводят к отказам, т.е. к невозможности средствами измерений выполнять необходимые функции. Выпуск качественной продукции является главной целью каждого предприятия. Для решения данной задачи с каждым днем развивается метрологическое обеспечение производства. Появляются новые и усовершенствованные приборы, предназначенные для определения качества продукции. Для сохранения точности результатов испытаний данные приборы необходимо поверять. Для этого разрабатываются методики поверки на каждый тип средства измерения.

*Ключевые слова: метрологическое обеспечение, средство измерения, поверка, измерение, анализатор влажности, качество продукции*

## THE METROLOGICAL SECURITY OF MEASUREMENT FACILITIES ON THE ENTERPRISE LLC «BEKOVSKY RPK «OCTOBER»»

E.A. Gusarova, I.N. Maksimova

During operation metrological characteristics and parameters of the measuring instrument undergo changes. These changes are monotonous or random and lead to failures, i.e. to the inability of every SI to perform its functions. Production quality products is the main goal of company. To solve this problem metrological support of production develops. There are new and improved devices designed to determine the quality of products. To maintain the accuracy of the test results, these devices must be verified. For this purpose, methods of verification are developed for each type of measuring instrument.

*Keywords: metrological assurance, measuring instrument, calibration, measurement, moisture analyzer, product quality*

В современном мире метрология как наука и область практической деятельности играет большую роль. Это связано с тем, что практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, где бы ни использовались результаты измерений. В нашей стране ежедневно производится свыше 20 миллиардов различных измерений. Измерения являются неотъемлемой частью большинства трудовых процессов. Затраты, связанные с обеспечением и проведением измерений, составляют около 20 % от общих затрат на производство продукции [1].

На основе данных измерений получают информацию о состоянии производственных, экономических и социальных процессов. Полученная информация служит

основой для принятия решений о качестве продукции при внедрении систем качества, в научных экспериментах и т.д. И только достоверность и соответствующая точность результатов измерений обеспечивают правильность принимаемых решений на всех уровнях управления. При получении недостоверной информации снижается качество продукции, принимаются неверные решения, возможно возникновение аварий.

Конкуренция вынуждает каждое предприятие принимать жесткие меры, чтобы выпускать качественную продукцию, которая будет обладать преимуществами среди конкурентов. Для решения данных задач с каждым днем развивается метрологическое обеспечение производства. Современные требования к качеству продукции возросли настолько, что выпуск продукции стал невозможен без контроля многих технологических параметров, в том числе влажности пищевой продукции. Для данного вида контроля появляются новые приборы, определяющие показатели качества продукции.

Для определения массовой доли влаги на предприятиях пищевой промышленности при производстве мармелада несколько лет назад использовали сушильный шкаф и весы. Вначале образец взвешивали, затем помещали в сушильный шкаф на 50 минут, далее образец помещали в эксикатор для охлаждения и только затем взвешивали на весах. По данным взвешиваний рассчитывали массовую долю влаги в процентах с применением формул. Данный процесс занимал много времени, что влияло на производительность.

В настоящее время многие предприятия пищевой промышленности продолжают использовать данный метод. Но предприятия, которые действительно беспокоятся о конкурентоспособности производимой продукции, для определения данного показателя начинают использовать современное устройство – анализатор влажности. При помощи данного устройства сокращается время проведения данного исследования и, что самое важное, прибор сам высушивает образец с помощью галогеновой лампы и автоматически определяет содержание массовой доли влаги в процентах, рассчитывая разницу между первоначальным и конечным весом образца, что помогает избежать ошибок в расчетах.

Появление портативных влагомеров, с помощью которых можно оперативно измерять влажность различных материалов, в лучшую сторону повлияло на качество выпускаемой продукции и услуг, где требуется постоянный контроль влажности сырья и соблюдения параметров в сложных технологических процессах.

На предприятии ООО «Бековский РПК «Октябрь»» мармелад проверяют на содержание массовой доли влаги с помощью анализатора влажности MX-50. В данном анализаторе влажности реализован принцип термогравиметрического анализатора, при котором происходит высушивание образца с помощью галогеновой лампы и определение содержания влаги (%), а также других значений, вычисляемых на основе разности между влажным и сухим образцом. Благодаря внедренной в анализатор влажности технологии SHS (уже почти 15 лет принцип работы аналитических весов основывается на оригинальной технологии «супергибридный сенсор» (SHS), и поэтому весы A&D характеризуются одним из лучших на рынке соотношением «скорость отклика – точность измерения») оборудование имеет высокий уровень чувствительности, поэтому для исследования необходимо всего несколько граммов образца. Содержание влаги должно быть в пределах от 9 до 24 %. Если продукция не соответствует нормативным требованиям, то проводят повторные исследования на следующих образцах.

Метрологические характеристики анализатора влажности AND MX-50:

– Наибольший предел взвешивания образца, г:	51
– Дискретность взвешивания, г:	0,001
– Погрешность содержания влаги, %:	0,01/0,1
– Температура сушки, °C:	50-200 (шаг 1°C)
– Точность измерения влажности, %, при образце более 1 г:	0,1
– Точность измерения влажности, %, при образце более 5 г:	0,02

Рассмотрим различия в определении массовой доли влаги с помощью сушильного шкафа и весов и с помощью анализатора влаги по нескольким параметрам (табл. 1).

Сравнение приборов по наиболее важным параметрам

Параметры	Анализатор влажности	Сушильный шкаф и весы
Метод анализа	Прямой	Прямой
Время измерения	3–15 мин	240–480 мин
Точность	Высокая	Высокая
Простота эксплуатации	Один этап, прямое измерение	Несколько этапов, дифференциальное взвешивание
Расчет результата	Автоматический: результат выводится в % МС ( % содержания влаги)	Вручную с помощью формул
Документирование результатов	Простое, прямой вывод на принтер	Вручную или с помощью весов и принтера
Допустимый диапазон влажности	0–100 %	0–100 %
Возможность одновременного анализа нескольких образцов	Нет	Да
Область применения	Входящий контроль продуктов (при получении сырья), полный контроль технологического процесса, контроль качества готовой продукции	Контроль качества готовой продукции

По данным, представленным в табл. 1, можно сделать вывод, что использование анализатора влажности более выгодно для предприятия, чем применение сушильного шкафа и весов. Преимущества данного прибора заключаются в существенно меньшем времени измерения, простоте эксплуатации, автоматическом расчете результата, более простой процедуре документирования результатов, более широкой области применения. Анализатор влажности уступает только в одном критерии – возможности одновременного анализа нескольких образцов.

Для сохранения точности результатов испытаний анализатор влажности необходимо поверять. Межповерочный интервал составляет один год. При проведении поверки должны быть выполнены следующие операции:

- 1) внешний осмотр;
- 2) опробование;
- 3) определение метрологических характеристик:
  - абсолютной погрешности весового устройства;
  - абсолютной погрешности при измерении влажности.

В помещении, где проводится поверка, должны отсутствовать вибрации и сильные потоки воздуха, мешающие нормальной работе анализатора влажности.

При подготовке к проведению поверки должны быть выполнены следующие операции:

- перед проведением поверки необходимо выдержать прибор в помещении не менее 12 часов;
- установить анализатор влажности по уровню, выполнить заземление в соответствии с руководством по эксплуатации (РЭ);
- перед проведением поверки анализатор влажности прогреть в течение не менее 30 минут.

При внешнем осмотре проверяют:

- комплектность поверяемого анализатора на соответствие требованиям РЭ;
- отсутствие повреждений и дефектов, влияющих на работоспособность прибора;

---

– наличие и исправность заземления, знаков безопасности и необходимой маркировки.

При опробовании проверяют соответствие функционирования всех узлов прибора, функциональных клавиш и программного обеспечения требованиям, изложенным в РЭ. Производят калибровку весового сектора, используя гирию точности F1.

Для определения абсолютной погрешности весового устройства необходимо установить в камеру анализатора влажности держатель с пустой многоразовой чашкой и провести тарировку весового устройства. Последовательно и однократно нагружать и разгружать весовое устройство гирями массой 1 г, 2 г, 5 г, 10 г, 20 г, 45 г, помещая их на чашку. Абсолютную погрешность весового устройства рассчитать по формуле

$$\Delta = m_{\text{изм}} - m_{\text{гири}}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{изм}}$  – показания весового устройства анализатора влажности, г;  $m_{\text{гири}}$  – номинальная масса гири, г.

### **Определение абсолютной погрешности при измерении влажности**

Абсолютную погрешность определяют в каждом режиме точности с использованием песка и дистиллированной воды. Масса песка и добавляемой дистиллированной воды зависит от режима точности.

Измерения проводят по три раза в каждом режиме. Предварительное просушивание песка проводят перед началом измерений в каждом режиме точности.

При предварительном просушивании песка необходимо установить держатель с пустой стандартной многоразовой чашкой на весовое устройство. Затем поместить в чашку анализатора влажности кварцевый песок массой примерно 1 г, добавить к песку с помощью шприца две-три капли дистиллированной воды. Закрыть крышку анализатора, нажать клавишу «START». После окончания процесса сушки необходимо записать показания дисплея.

При определении влажности добавить к песку с помощью шприца дистиллированную воду массой примерно 0,2 г. Закрыть крышку анализатора влажности, затем нажать клавишу «START». В момент нажатия клавиши зафиксировать и записать массу влажного песка. После окончания процесса сушки записать измеренное значение влажности.

Расчетное значение влажности рассчитывается по формуле

$$W_{\text{расч}} = \frac{M_{\text{вл}} - M_{\text{сух}}}{M_{\text{вл}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $M_{\text{вл}}$  – масса влажного песка, г;  $M_{\text{сух}}$  – масса сухого песка, г.

Абсолютная погрешность определения влажности рассчитывается как разность измеренного и расчетного значения влажности.

Приведем данные результатов поверки анализатора влажности МХ-50 (табл. 2). На анализатор влажности, прошедший проверку с положительным результатом, выдается свидетельство о поверке установленной формы. При отрицательных результатах поверки выдается извещение о непригодности с указанием причин непригодности, а анализатор влажности не допускается к применению.

Данные исследования показывают, как важно для обеспечения выпуска качественной продукции повышать качество метрологического обеспечения производства. В решении задач по улучшению уровня метрологического обеспечения необходимо участие всех ведомственных органов и технических служб, связанных с «производством и потреблением» измерительной информации, с нормативным и приборным обеспечением процессов ее получения и обработки. Метрологическое обеспечение играет важную роль на всех стадиях разработки, производства и эксплуатации продукции [2].

## Определение абсолютной погрешности весового устройства

Номинальная масса гири ( $m_{\text{гири}}$ ), г	Показания весового устройства ( $m_{\text{изм}}$ ), г	Абсолютная погрешность весового устройства $\Delta = m_{\text{изм}} - m_{\text{гири}}$ , г	Допустимые значения погрешности весового устройства, г	Соответствие требованиям, да/нет
1	1	0	$\pm 0,002$	Да
2	2	0	$\pm 0,002$	Да
5	5	0	$\pm 0,002$	Да
10	10,001	0,001	$\pm 0,002$	Да
20	20,002	0,002	$\pm 0,002$	Да

Конечная цель метрологического обеспечения – свести к минимуму вероятность принятия ошибочных решений, опираясь на результаты измерений, контроля сырья и испытаний, материалов, изделий и процессов. Для достижения этой цели необходимо комплексное решение всех задач метрологического обеспечения.

## Список литературы

1. Максимова, И.Н. Метрология / И.Н. Максимова. – Пенза: ПГУАС, 2017. – 284 с.
2. Максимова, И.Н. Метрологическое обеспечение производства / И.Н. Максимова. – Пенза: ПГУАС, 2017. – 220 с.

## References

1. Maximova, I.N. Metrology / I.N. Maximova. – Penza: PGUAS, 2017. – 284 p.
2. Maximova, I.N. Metrological support of production / I.N. Maximova. – Penza: PGUAS, 2017. – 220 p.

Пензенский государственный университет  
Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, д.40  
тел.: (8412) 36-82-93

**Андреев Виктор Сергеевич,**  
студент

*Penza State University*

Russia, 440026, Penza, 40, Krasnaya St.,  
tel.: (8412) 36-82-93

**Andreev Viktor Sergeevich,**  
student

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

В.С. Андреев

Приведена математическая модель процесса электрообработки сточных вод в электрокоагуляторе с растворимыми металлическими плоскопараллельными электродами. Разработаны алгоритм и блок-схема расчета технологических и конструктивных параметров процессов коагуляционной обработки сточных вод. Использование предложенной методики позволит оптимизировать процесс очистки сточных вод по основному показателю экономической эффективности – величине приведенных затрат.

*Ключевые слова: сточные воды, электрокоагуляционная обработка, приведенные затраты, метод последовательных приближений, блок-схема расчета, оптимизация параметров, моделирование технологической системы*

## MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF WASTES COAGULATION TREATMENT WITH THE USE OF COMPUTERS

V.S. Andreev

A mathematical model of the process of waste water electric treatment in an electric coagulator with soluble metal plane-parallel electrodes is presented. The algorithm and the block diagram of calculation of technological and constructive parameters of processes of coagulation processing of sewage are developed. The use of the proposed method will optimize the wastewater treatment process according to the main indicator of economic efficiency of the reduced costs.

*Keywords: sewage, electrocoagulation treatment, the given costs, the method of successive approximations, block diagram, calculation, optimization of parameters, modeling of technological system*

Под электрокоагуляционной обработкой сточных вод понимают их очистку в электролизерах с растворимыми металлическими электродами (как правило, железными или алюминиевыми). Наибольшее распространение в технологических процессах очистки сточных вод получили электрокоагуляторы с плоскопараллельными пластинчатыми электродами [1]. Электрокоагуляционная обработка обеспечивает высокий эффект удаления из сточных вод загрязняющих веществ, находящихся в форме взвесей, коллоидов, а также некоторых веществ, находящихся в форме истинных растворов в молекулярном или ионном состоянии. Существенным преимуществом технологии электрокоагуляционной обработки перед реагентными методами очистки сточных вод, решающими те же задачи, являются компактность установок, занимающих значительно меньшие площади производственных помещений, а также простота обслуживания этих установок, что позволяет автоматизировать процесс их работы.

Учитывая определяющее значение экономических показателей, в качестве критерия оптимальности процесса электрокоагуляционной очистки наряду с показателями его эффективности может служить функция приведенных затрат.

$$ПЗ = P \cdot K + Э \text{ руб / год,} \quad (1)$$

где  $P$  – коэффициент эффективности капиталовложений, являющийся обратной величиной срока окупаемости капиталовложений  $T_k$  (для технологических процессов очистки сточных вод  $T = 8$  лет);

$$P = \frac{1}{T_k} = \frac{1}{8} = 0,125 \text{ год}^{-1}, \quad (2)$$

$K$  – капитальные затраты на процесс изготовления и монтаж электрокоагулятора (руб.);  $\mathcal{E}$  – эксплуатационные расходы (руб./год),

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_э + \mathcal{E}_а + \mathcal{E}_{тр} + \mathcal{E}_{зн} \text{ руб./год}. \quad (3)$$

Здесь  $\mathcal{E}_э$  – стоимость электроэнергии (руб./год);  $\mathcal{E}_а$  – стоимость амортизационных отчислений (руб./год);  $\mathcal{E}_{тр}$  – стоимость текущего ремонта, включающая в себя и плановую замену электродных блоков (руб./год);  $\mathcal{E}_{зн}$  – заработная плата обслуживающего персонала (руб./год).

Стоимость электроэнергии, потребляемая электрокоагулятором, может быть определена по формуле

$$\mathcal{E}_э = N_1 \cdot T_{сут} \cdot \mathcal{C}_э \cdot C_{э,ч} \text{ руб./год}, \quad (4)$$

где  $N_1$  – число рабочих дней в году;  $T_{сут}$  – продолжительность работы электрокоагулятора (часов в сутки);  $\mathcal{C}_э$  – цена 1 кВт·ч электроэнергии (руб.);  $C_{э,ч}$  – часовой расход электроэнергии на процесс электрокоагуляционной обработки сточных вод (кВт·ч).

Величина часового расхода электроэнергии определяется требуемыми параметрами обработки сточных вод (величиной концентрации ионов металла  $M^{n+}$ , образующихся в процессе электрохимического растворения ионов  $C_m$ , г/м<sup>3</sup>), величиной удельного сопротивления обрабатываемых сточных вод  $R_{уд}$  (Ом·м) и геометрическими характеристиками электродных блоков электрокоагулятора и может быть вычислена по формуле

$$C_{э,ч} = \frac{I \cdot V}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5)$$

где  $I$  – сила тока, пропускаемая через электродную систему электрокоагулятора (А);  $V$  – напряжение на электродах (В);  $\eta$  – коэффициент полезного действия выпрямительного устройства.

С учетом закона Ома

$$V = I \cdot R, \text{ В}, \quad (6)$$

где  $R$  – электрическое сопротивление электродной системы электрокоагулятора (Ом).

Формула (5) примет вид:

$$C_{э,ч} = \frac{I^2 \cdot R}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (6)$$

Необходимая величина силы тока  $I$  должна обеспечивать требуемую концентрацию ионов коагулянта  $C_{уд}$  (г/м<sup>3</sup>), растворяемых в обрабатываемых сточных водах в процессе электролиза.

В соответствии законом Фарадея

$$C_{уд} = \frac{K_v \cdot A_{эx} \cdot I \cdot T_{сут}}{Q_{сут}}, \text{ г/м}^3, \quad (7)$$

где  $Q_{сут}$  – суточный расход обрабатываемых сточных вод (м<sup>3</sup>/сут);  $K_v$  – коэффициент выхода ионов металла по току;  $A_{эx}$  – электрохимический эквивалент металла анодов (г/А·ч).

Из формулы (7) имеем:

$$I = \frac{C_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{сут}}}{K_{\text{в}} \cdot A_{\text{эх}} \cdot T_{\text{сут}}}, \quad A. \quad (8)$$

Подставляя (8) в формулу (6), получаем:

$$C_{\text{эч}} = \left( \frac{C_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{сут}}}{K_{\text{в}} \cdot A_{\text{эх}} \cdot T_{\text{сут}}} \right)^2 \cdot \frac{R}{1000 \cdot \eta}, \quad \text{г/м}^3. \quad (9)$$

Сопротивление всех электродных ячеек одинаково, электроды подключены параллельно. Сопротивление одной электродной ячейки составляет  $R_{\text{я}}$  (Ом). Общее электрическое сопротивление электродной системы электрокоагулятора может быть определено по формуле

$$R = \frac{R_{\text{я}}}{n-1}, \quad \text{Ом}, \quad (10)$$

где  $n$  – количество электродов в электродном блоке (шт.).

Электрическое сопротивление электродной ячейки может быть определено аналогично сопротивлению металлического проводника:

$$R_{\text{я}} = R_{\text{уд}} \cdot \frac{l_{\text{э}}}{F_{\text{э}}}, \quad \text{Ом}, \quad (11)$$

где  $R_{\text{уд}}$  – удельное электрическое сопротивление обрабатываемых сточных вод (Ом·м);  $l_{\text{э}}$  – расстояние между электродами (длина прохождения тока в растворе) (м);  $F_{\text{э}}$  – площадь электрода (сечение слоя электролита) (м<sup>2</sup>).

Тогда

$$R = \frac{R_{\text{уд}} \cdot l_{\text{э}}}{F_{\text{э}} \cdot (n-1)}, \quad \text{Ом}. \quad (12)$$

Площадь электрода может быть определена с учетом величины плотности тока на электродной системе  $i$  (А/м<sup>2</sup>).

$$F_{\text{э}} = \frac{I}{(n-1) \cdot i}, \quad \text{м}^2. \quad (13)$$

С учетом формул (8) и (13) формула (12) может быть записана в виде

$$R = \frac{R_{\text{уд}} \cdot l_{\text{э}} \cdot (n-1) \cdot i}{I} = R_{\text{уд}} \cdot l_{\text{э}} \cdot i \cdot \frac{K_{\text{в}} \cdot A_{\text{эх}} \cdot I \cdot T_{\text{сут}}}{C_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{сут}}}, \quad \text{Ом}. \quad (14)$$

Подставляя (14) в формулу (9), получим:

$$C_{\text{эч}} = \frac{C_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{сут}}}{K_{\text{в}} \cdot A_{\text{эх}} \cdot T_{\text{сут}}} \cdot \frac{R_{\text{уд}} \cdot l_{\text{э}} \cdot i}{1000 \cdot \eta}, \quad \text{г/м}^3. \quad (14)$$

Капитальные затраты на изготовление и монтаж электрокоагулятора будут являться функцией от площади электродной системы  $F$  (м<sup>2</sup>), а следовательно, отношения  $\frac{I}{i}$  (м<sup>2</sup>).

$$K = f\left(\frac{I}{i}\right) = f\left(\frac{C_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{сут}}}{i \cdot K_{\text{в}} \cdot A_{\text{эх}} \cdot T_{\text{сут}}}\right) \text{ руб}. \quad (15)$$



Анализ уравнений (14) и (15) показывает, что независимыми переменными являются:  $i$  – величина плотности тока ( $A/m^2$ );  $l_3$  – расстояние между электродами (м);  $C_{уд}$  – концентрация в обрабатываемых сточных водах ионов коагулянта  $г/м^3$ ;  $Q_{сут}$  – суточный расход обрабатываемых сточных вод ( $м^3/сут$ );  $T_{сут}$  – продолжительность работы электрокоагулятора (ч/сут); величины коэффициента выхода по току  $K_B$  и электрохимического эквивалента металла материала анодов  $A_{эx}$  ( $г/А·ч$ ); удельное сопротивление сточных вод  $R_{yд}$  ( $Ом·м$ ).

Величина эксплуатационных расходов  $\mathcal{E}$  (руб/год) при увеличении значения плотности тока  $i$  ( $A/m^2$ ) будет повышаться вследствие увеличения расходов электроэнергии  $C_{эч}$  (кВт·ч) на процесс электрокоагуляционной обработки сточных вод, при этом капитальные затраты на изготовление электрокоагулятора  $K$  (руб) будут уменьшаться вследствие уменьшения размеров электродной системы. При некотором оптимальном значении величины плотности тока  $i_{оп}$  величина приведенных затрат будет иметь минимальное значения  $ПЗ_{min}$  (рис. 1).

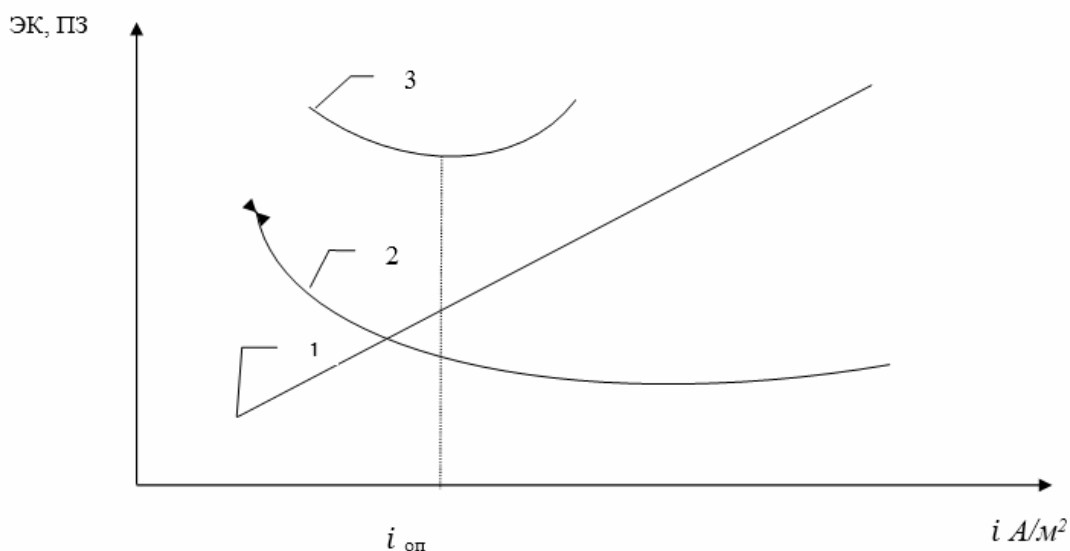


Рис. 1. Графики зависимостей величин эксплуатационных расходов  $\mathcal{E}$  (руб./год) (1), капитальных затрат  $K$  (руб.) (2) и приведенных затрат  $ПЗ$  (руб./год) (3) от значения величины плотности тока на электродной системе электрокоагулятора  $i$  ( $A/m^2$ )

В настоящее время существует два основных, в определенном смысле диаметрально противоположных, подхода к моделированию технологических систем:

- а) глобальный (композиционный);
- б) последовательный (декомпозиционный).

Первый подход подразумевает формирование глобальной системы уравнений, описывающих работу технологической системы в целом, с последующим совместным решением созданной системы уравнений.

Второй подход подразумевает существование отдельных моделирующих блоков, соответствующих различным объектам моделируемой технологии, которые стыкуются с помощью координирующей программы и рассчитываются последовательно один за другим [2].

Для оптимизационного расчета технологических и конструктивных параметров электрокоагулятора нами был выбран метод декомпозиционного моделирования и разработана математическая модель, предусматривающая нахождение оптимального значения рассматриваемого параметра методом последовательных приближений (итераций). Блок-схема алгоритма расчета оптимальных, конструктивных и технологических параметров электрокоагулятора представлена на рис. 2 .

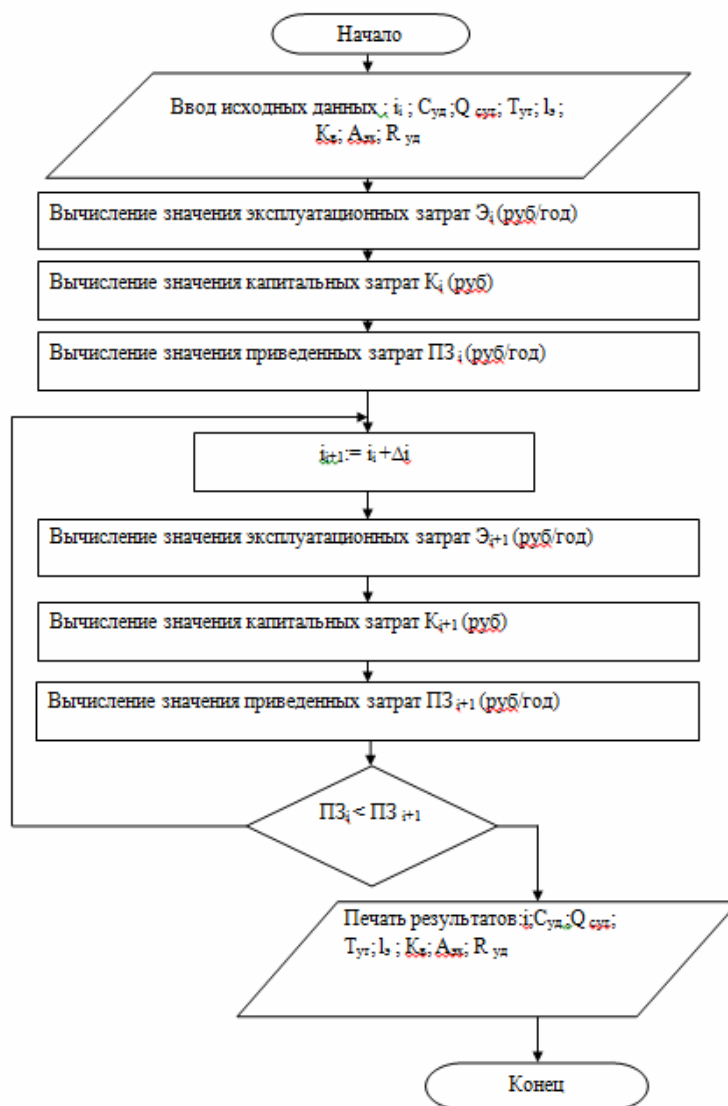


Рис 2. Блок-схема программы расчета оптимальных конструктивных и технологических параметров электрокоагулятора

Созданная математическая модель расчета параметров электрокоагулятора, предусматривающая использование ЭВМ, позволяет найти оптимальное значение величины плотности тока на электродной системе, обеспечивающее минимальную величину приведенных затрат.

### Список литературы

1. Гогина, Е.С. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения / Е.С. Гогина, А.Д. Гуринович, Е.А. Урецкий. – М.: АСВ, 2012. – 312 с.
2. Байбурин, В.Б. Модели и методы планируемого эксперимента / В.Б. Байбурин. – Саратов: Саратовский университет, 1997. – 92с.

### References

1. Gogina, E.S. resource-saving technologies of industrial water supply and sanitation. / E.S. Gogina, A.D. Gurinovich, E.A. Uretski. – M.: ASV, 2012. – 312 p.
2. Bayburin, V.B. Models and methods of the planned experiment / V.B. Bayburin. – Saratov: Saratov University, 1997. – 92 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение, водоотведение  
и гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Князев Александр Анатольевич,**  
старший преподаватель кафедры  
«Инженерная экология»

**Князев Владимир Александрович,**  
кандидат технических наук,  
инженер 1 категории АО «НПП «Рубин»»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Water supply, sewerage and  
hydraulic engineering»  
E-mail:andreev3007@rambler.ru

**Knyazev Alexander Anatolyevich,**  
Senior Lecturer of the department of «Engineering  
Ecology»

**Knyazev Vladimir Aleksandrovich**  
Candidate of Sciences, 1st Category Engineer,  
«NPP «Rubin»»

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ДИНАМИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА ФАЗ «ВОДА – ВОЗДУХ» В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ФЛОТАТОРЕ

С.Ю. Андреев, А.А. Князев, В.А.Князев

Приведены результаты теоретических исследований процесса массопередачи в динамической двухфазной смеси «вода – воздух». Получено уравнение, позволяющее определять оптимальные параметры систем аэрирования и барботирования сточных вод. Использование предложенной методики расчета позволит оптимизировать процесс работы пневматических аэраторов и снизить удельные энергозатраты на очистку сточных вод.

*Ключевые слова: коэффициент массопередачи, водовоздушная смесь, коэффициент газо-наполнения, скорость массопередачи, диспергированная газовая фаза, воздухораспределительное устройство*

## MATHEMATICAL MODELING OF MASS TRANSMISSION PROCESSES THROUGH THE DYNAMIC SURFACE OF THE SECTION OF PHASES «WATER-AIR» IN THE PNEUMATIC FLOTATOR

S.Yu. Andreev, A.A. Knyazev, V.A. Knyazev

The results of theoretical researches of mass transfer process in dynamic two-phase mixture «water-air» are given. The equation is obtained allowing to determine optimum parameters of sewage aeration and barbotage systems. The use of the offered calculation method allow to optimize the process of pneumatic aerators and to reduce specific power inputs for sewage treatment.

*Keywords: mass transfer coefficient, water-air mixture, gas-filling coefficient, mass transfer rate, dispersed gas phase; air distribution device*

Динамической двухфазной системой «вода – воздух» является система, в которой сплошной средой является «жидкость – вода», а диспергированной фазой – «газ – воздух». Поскольку плотность газовой фазы существенно меньше плотности жидкости, на пузырьки воздуха действует сила Архимеда, выталкивающая их на поверх-

ность, в связи с чем динамическая двухфазная система может существовать лишь в процессе движения.

В процессе движения пузырьки воздуха непрерывно всплывают к поверхности воды, где происходит практически мгновенный разрыв их оболочек (при отсутствии в воде ПАВ). Состояние динамического равновесия в этом случае может сохраняться только при условии непрерывной подачи воздуха в жидкость, что позволит скомпенсировать убыль газовой фазы.

Технологические операции, в которых используется барботаж газовой смеси через слой жидкости, весьма разнообразны. Теоретический анализ всего многообразия процессов, связанных с генерацией и технологическим использованием динамических двухфазовых систем «вода – воздух», позволяет выделить четыре их основных вида:

1. Процессы, обуславливаемые специфическим гидродинамическим перемешиванием локальных объемов жидкости, прилегающих к поверхности всплывающего пузырька воздуха.

2. Образование границы раздела фаз (воздух – вода), обладающей избыточной поверхностной энергией.

3. Десорбцией (отдувкой) из воды растворенных в ней газов и других летучих соединений.

4. Насыщение воды кислородом и другими содержащимися в воздушной смеси соединениями.

В основе процессов массопередачи в динамической двухфазной системе «вода – воздух» лежит механизм межмолекулярной диффузии через пограничный слой, образующийся на поверхности диспергированной газовой фазы. В середине XIX века трудами Фика, установившими физическую аналогию процессов диффузии газа через границу раздела фаз и теплопередачи, было положено начало систематического изучения механизма массопередачи. Для количественного описания скорости диффузионного переноса газа через стенки воздушного пузырька было использовано уравнение Фурье

$$\frac{dm}{dt} = -DA \frac{dC}{dy}, \quad (1)$$

где  $\frac{dm}{dt}$  – скорость процесса массопередачи, кг/с;  $D$  – коэффициент диффузии газа через границу раздела фаз «вода – воздух» (относительное количество газа, переносимое через единицу поверхности контакта фаз), м<sup>2</sup>/с;  $A$  – площадь поверхности межфазового контакта, м<sup>2</sup>;  $\frac{dC}{dy}$  – градиент концентрации растворенного газа в направлении диффузии (в нормальном направлении к площади диффузии), кг/м<sup>4</sup>.

Общее решение уравнения диффузии (1) имеет вид

$$\frac{dm}{dt} = K_L A (C_H - C), \quad (2)$$

где  $K_L$  – коэффициент массопередачи жидкой пленки (пленочный коэффициент массопередачи), м/с;  $C_H$  – концентрация насыщения жидкости газом кг/м<sup>3</sup>;  $C$  – концентрация растворенного газа в жидкости кг/м<sup>3</sup>.

Движущей силой процесса массопередачи через границу раздела фаз в всплывающем в воде пузырьке воздуха является разность концентраций насыщения воды газом  $C_H$  и текущей концентрации газа в жидкости  $C$  (кг/м<sup>3</sup>) [1, 2].

Концентрация насыщения воды газом  $C_H$  (кг/м<sup>3</sup>) зависит от концентрации газа в воздухе внутри пузырька  $C_T$  (кг/м<sup>3</sup>), давления  $P$  (Па) и температуры  $t$  (°C) [3].

При барботировании жидкости чистым газом величина концентрации насыщения воды  $C_{нг}$  (кг/м<sup>3</sup>) при нормальном давлении ( $P=1,01 \cdot 10^5$  Па) связана с величиной коэффициента  $\alpha$  (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) и плотностью газа  $\rho_g$  кг/м<sup>3</sup> соотношением

$$C_{нг} = \alpha \cdot \rho_g. \quad (3)$$

Коэффициент абсорбции Бунзена  $\alpha$  характеризует величину объема газа, поглощенного единицей объема жидкости при данной температуре  $t$  (°C) и стандартном парциальном давлении газа ( $P=1,01 \cdot 10^5$  Па).

При барботировании воды воздухом, содержащим в своем составе распределяемый газ в концентрации  $C_g$  (кг/м<sup>3</sup>), величина концентрации насыщения воды газом  $C_n$  (кг/м<sup>3</sup>) определяется как

$$C_n = \alpha \cdot C_g. \quad (4)$$

В случае, если разность концентрации насыщения воды газом  $C_n$  и текущей концентрации газа  $C$  является положительной величиной, имеет место процесс сорбционного перехода газа из воздуха в жидкость, если эта разность является отрицательной величиной, то наблюдается процесс десорбции – перехода газа из воды в воздух.

Для практических расчетов процессов массопередачи газа через поверхность контакта фаз «вода – воздух» принято вместо пленочного коэффициента массопередачи  $K_L$  (м/с) применять объемный коэффициент массопередачи  $K_\omega$  (с<sup>-1</sup>) и выражать скорость массопередачи в объемных единицах концентрации  $\frac{dC}{dt}$  (кг/м<sup>3</sup>·с) [4]. В этом случае правая и левая части уравнения (2) делятся на объем барботируемой воды  $W_{ж}$  (м<sup>3</sup>):

$$\frac{dm}{W_{ж} dt} = \frac{dC}{dt} = K_L \cdot \frac{A}{W_{ж}} (C_n - C) = K_\omega (C_n - C), \quad (5)$$

где  $K_\omega = K_L \cdot \frac{A}{W_{ж}}$  – объемный коэффициент массопередачи, с<sup>-1</sup>;  $\frac{A}{W_{ж}}$  – удельная межфазовая площадь контакта фаз (площадь границы раздела фаз, приходящаяся на единицу объема воды, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>);  $W_{ж}$  – объем барботируемой воды, м<sup>3</sup>.

Разделяя переменные в уравнении (5) и интегрируя его в интервале изменения переменных  $dt$  от 0 до  $T$  и  $dC$  от  $C_0$  до  $C$ , получим

$$K_\omega = \frac{1}{T} \ln \frac{(C_n - C_0)}{C_n - C}, \quad (6)$$

где  $T$  – продолжительность процесса барботирования, с;  $C_n$  – концентрация насыщения жидкости газом, кг/м<sup>3</sup>;  $C_0$  – концентрация газа в воде в начальный момент барботирования, кг/м<sup>3</sup>;  $C$  – концентрация газа в воде в конечный момент барботирования, кг/м<sup>3</sup>.

Формула (6) широко используется при определении величины объемного коэффициента массопередачи методом переменного дефицита кислорода в процессе аэрации воды. Пневматическая аэрация является примером процесса сорбционного перехода газа из всплывающего пузырька воздуха в воду, обусловленного положительной величиной движущей силы этого процесса – разности концентрации насыщения воды газом  $C_n$  и текущей концентрации газа в воде ( $\Delta C = C_n - C$ ).

Текущая концентрация кислорода в воде в соответствии с формулой (6) в процессе пневматической аэрации может быть определена по формуле

$$C = C_n - e^{-K_\omega T} (C_n - C_0). \quad (7)$$

В формуле (7) предполагается, что концентрация насыщения воды кислородом воздуха  $C_H$  является постоянной величиной. В реальности при всплывании пузырька воздуха в процессе массопередачи концентрация кислорода  $C_\Gamma$  в газовой смеси внутри пузырька будет снижаться, что предполагает введение формулу (7) коэффициента, учитывающего истощения газовой среды  $K_{\text{И}}$ .

Определить величину поправочного коэффициента (коэффициента истощения газовой фазы) можно, учитывая баланс масс сорбируемого газа в газовой и жидкой фазе:

$$\Delta m_{\text{ж}} = \Delta m_{\Gamma}; \quad (8)$$

$$\Delta C_{\text{ж}} W_{\text{ж}} = \Delta C_{\Gamma} W_{\Gamma}, \quad (9)$$

где  $\Delta m_{\text{ж}}$  и  $\Delta m_{\Gamma}$  – соответственно масса кислорода, растворяемого в воде и адсорбируемого из воздуха через границу раздела фаз «вода – воздух» (кг) за время контакта фаз (продолжительность всплывания пузырька воздуха)  $t_{\text{П}}$  (с);  $\Delta C_{\text{ж}}$  и  $\Delta C_{\Gamma}$  – изменение концентрации кислорода в воде и воздухе (кг/м<sup>3</sup>) за время  $t_{\text{П}}$  (с);  $W_{\text{ж}}$  и  $W_{\Gamma}$  – объем жидкой и газовой фазы (м<sup>3</sup>) в водовоздушной смеси, образующейся в аэрационном бассейне.

Из (9) имеем

$$\Delta C_{\Gamma} = \Delta C_{\text{ж}} \frac{W_{\text{ж}}}{W_{\Gamma}} = \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{\bar{W}}, \quad (10)$$

где  $\bar{W} = \frac{W_{\Gamma}}{W_{\text{ж}}}$  – относительный объем водовоздушной смеси.

Средняя концентрация кислорода внутри пузырька воздуха  $C_{\Gamma, \text{ср}}$  (кг/м<sup>3</sup>) за период его всплывания составит

$$C_{\Gamma, \text{ср}} = C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\Gamma}}{2} = C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{2\bar{W}}. \quad (11)$$

С учетом (4) и (10) формула (5) может быть записана в виде

$$\frac{dC}{dt} = K_{\omega} \left[ \alpha \left( C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{2\bar{W}} \right) - C \right]. \quad (12)$$

Учитывая, что прирост концентрации кислорода в воде за период контакта газовой и жидкой фаз  $t_{\text{П}}$  составит  $\Delta C_{\text{ж}}$ , разделяя переменные в уравнении (12), считая, что  $C \approx \text{const}$  (поскольку  $\Delta C \ll C$ ) и интегрируя уравнение (12) в интервале изменения переменной  $dt$  от 0 до  $t_{\text{П}}$ , получим

$$\Delta C_{\text{ж}} = K_{\omega} \left[ \alpha \left( C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{2\bar{W}} \right) - C \right] t_{\text{П}} = K_{\omega} t_{\text{П}} C_{\Gamma} \alpha - \frac{K_{\omega} t_{\text{П}} \Delta C_{\text{ж}} \alpha}{\bar{W}} - K_{\omega} t_{\text{П}} C. \quad (13)$$

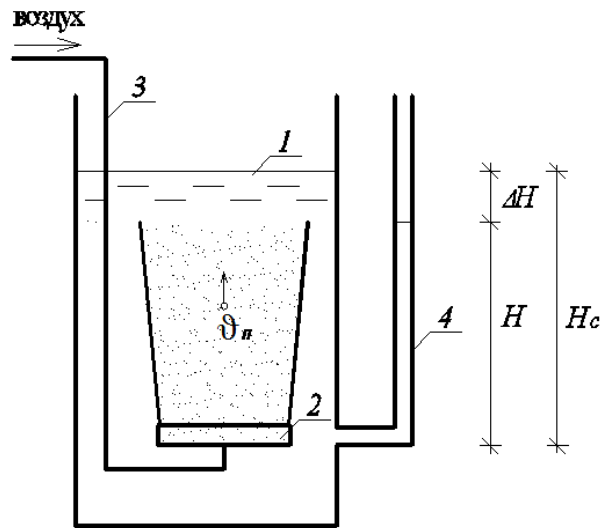
Отсюда

$$\Delta C_{\text{ж}} = K_{\omega} t_{\text{П}} (\alpha C_{\Gamma} - C) \left( 1 + \frac{K_{\omega} t_{\text{П}} \alpha}{\bar{W}} \right)^{-1} = K_{\omega} t_{\text{П}} (C_H - C) K_{\text{ГИ}}, \quad (14)$$

где  $K_{\text{ГИ}}$  – коэффициент истощения газовой фазы пузырька воздуха,

$$\Delta K_{\text{ГИ}} = \left( 1 + \frac{K_{\omega} t_{\text{П}} \alpha}{\bar{W}} \right)^{-1}. \quad (15)$$

Статический режим в аэрационном объеме возникает при условии сопоставимости размеров факела воздушных пузырьков, поднимающихся с поверхности воздухораспределительного устройства, с размерами аэрационного бассейна (см. рисунок).



Принципиальная схема работы пневматического аэратора в статическом режиме:  
1 – объем перемешиваемой жидкости (аэрационный объем); 2 – диспергирующее устройство (барботер); 3 – воздуховод; 4 – пьезометр

Средняя скорость движения газовой фазы в этом случае равна средней скорости коллективного всплывания воздушных пузырьков  $v_{\Gamma}$  (м/с, жидкая фаза при этом является неподвижной средой).

В случае, когда расстояние между стенками, ограничивающими аэрационный объем, будет существенно превышать размеры аэрационного факела в аэрационном объеме, будет наблюдаться динамический режим, при котором пузырьки воздуха будут всплывать в потоке жидкости, движущемся в одном направлении с ними.

Одной из наиболее важных характеристик водовоздушной смеси, образующейся в аэрационном бассейне, является коэффициент ее газонаполнения, величина которого определяется как отношение суммарного объема, занимаемого газовой фазой  $W_{\Gamma}$  (м<sup>3</sup>), к объему газовоздушной смеси, определяемому как сумма объема жидкой  $W_{\text{ж}}$  (м<sup>3</sup>) и газовой  $W_{\Gamma}$  фаз:

$$\varphi = \frac{W_{\Gamma}}{W_{\text{ж}} + W_{\Gamma}}. \quad (16)$$

В соответствии с формулой (16) относительный объем водовоздушной смеси в аэрационном бассейне может быть определен как

$$\bar{W} = \frac{W_{\Gamma}}{W_{\text{ж}}} = \frac{\varphi}{1 - \varphi}. \quad (17)$$

В процессе работы пневматического аэратора в статическом режиме (см. рисунок) установится динамическое равновесие, при котором гидростатический напор столба водовоздушной смеси над барботером высотой  $H_{\text{с}} = H_{\text{ж}} + \Delta H$  будет уравновешиваться гидростатическим напором жидкости в пьезометре, имеющем высоту  $H_{\text{ж}}$ .

С учетом того, что объем, занимаемый водовоздушной смесью в аэрационном бассейне определяется как  $W_{\text{а}} = H_{\text{с}} \cdot F_{\text{а}}$  и  $W_{\text{ж}} = H_{\text{ж}} \cdot F_{\text{а}}$ ;  $W_{\Gamma} = \Delta H \cdot F_{\text{а}}$  (где  $F_{\text{а}}$  – площадь поперечного сечения зоны аэрации, м<sup>2</sup>;  $H_{\text{ж}}$  – глубина жидкости, м), можно записать:

$$\varphi = \frac{\Delta H F_{\text{а}}}{H_{\text{ж}} F_{\text{а}} + \Delta H F_{\text{а}}} = \frac{\Delta H}{H_{\text{ж}} + \Delta H}. \quad (18)$$

При подаче в распределительную систему пневматической аэрации сжатого воздуха с расходом  $Q_B$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) суммарный объем, занимаемый газовой фазой  $W_\Gamma$  ( $\text{м}^3$ ) в водовоздушной смеси аэрационного бассейна, может быть определен как

$$W_\Gamma = t_\Pi \cdot Q_\Gamma, \quad (19)$$

где  $t_\Pi$  – период контакта газовой и жидкой фаз (период обновления газовой фазы), равный среднему времени всплывания пузырька воздуха (с).

Из (19) имеем

$$t_\Pi = \frac{W_\Gamma W_{\text{ж}}}{Q_\Gamma W_{\text{ж}}} = \overline{W} \frac{F_a H_{\text{ж}}}{Q_\Gamma} = 3600 \frac{H_{\text{ж}} \overline{W}}{I} = 3600 \frac{H_{\text{ж}}}{I} \cdot \frac{\varphi}{\varphi - 1}, \quad (20)$$

где  $W_{\text{ж}}$  – объем аэрационного бассейна ( $\text{м}^3$ );  $I = \frac{Q_\Gamma}{3600 F_a}$  – интенсивность аэрации ( $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ).

Период контакта газовой и жидкой фаз  $t_\Pi$  также может быть определен по формуле

$$t_\Pi = \frac{H_{\text{ж}} + \Delta H}{v_\Gamma}, \quad (21)$$

где  $v_\Gamma$  – средняя скорость всплывания воздушных пузырьков в аэрационном бассейне ( $\text{м}/\text{с}$ ).

Из (18) имеем

$$\Delta H = H_{\text{ж}} \frac{\varphi}{1 - \varphi}. \quad (22)$$

С учетом (22) формула (21) может быть записана в виде

$$t_\Pi = \frac{H_{\text{ж}}}{v_\Gamma (1 - \varphi)}. \quad (23)$$

Из (20) и (23) имеем

$$\varphi = \frac{I}{3600 v_\Gamma} \quad (24)$$

и

$$t_\Pi = \frac{H_{\text{ж}}}{v_\Gamma \left( 1 - \frac{I}{3600 v_\Gamma} \right)}. \quad (25)$$

Окислительная способность системы пневматической аэрации ОС ( $\text{кг}/\text{ч}$ ) в аэрационном бассейне объемом  $W_a$  ( $\text{м}^3$ ) при подаче сжатого воздуха  $Q_\Gamma$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) может быть определена по формуле

$$\text{ОС} = 3600 Q_\Gamma K_{\text{И}} C_{\text{КВ}}, \quad (26)$$

где  $C_{\text{КВ}}$  – концентрация кислорода в воздухе ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $K_{\text{И}}$  – коэффициент полезного использования кислорода воздуха, являющийся показателем эффективности системы пневматической аэрации.

Величина коэффициента полезного использования кислорода воздуха определяется как отношение массы кислорода, растворенного в воде  $\Delta m$  ( $\text{кг}$ ), к массе кислорода в воздухе, поданном в систему аэрации  $m_{\text{КВ}}$  ( $\text{кг}$ ). Некоторые исследователи рекомендуют определять величину коэффициента полезного использования кислорода  $K_{\text{И}}$  при стандартных условиях ( $t=20^\circ\text{C}$ ) и выражать ее в процентах. В этом случае коэффициент  $K_{\text{И}}$



принято называть стандартной эффективностью переноса кислорода (SOTE) [3]. Величина коэффициента  $K_{и}$  может быть определена по формуле

$$K_{и} = \frac{\Delta C_{г}}{C_{кв}}. \quad (27)$$

С учетом формул (10), (14) и (17) формула (27) может быть записана в виде

$$K_{и} = K_{w} t_{п} \frac{(C_{н} - C)}{C_{кв}} K_{гн} \frac{1 - \varphi}{\varphi}. \quad (28)$$

Подставляя (28) в (26), получим

$$OC = 3600 Q_{г} K_{w} t_{п} (C_{н} - C) K_{гн} \frac{1 - \varphi}{\varphi}. \quad (29)$$

Наряду с технологиями сорбционного насыщения воды кислородом воздуха в практике очистки производственных сточных вод используются и процессы десорбции – перехода растворенных в воде веществ в воздух при отдувке легколетучих соединений.

Примером такого процесса может служить технология отдувки из сточных вод аммиака сжатым воздухом.

Начальная концентрация аммиака в пузырьке воздуха, образующегося на выходе из воздухораспределительного устройства, равна нулю ( $C_{г}^{вв} = 0$ ).

При всплывании пузырька воздуха через слой сточных вод, содержащих растворенный аммиак, концентрация аммиака в газовой смеси внутри пузырька будет увеличиваться, пока не достигнет величины  $C_{г}^{вв}$  на поверхности жидкости, где произойдет разрыв оболочки пузырька и обогащенный аммиаком воздух перейдет в газовую фазу.

Средняя концентрация аммиака в пузырьке воздуха за период  $t_{п}$  составит

$$C_{г} = \frac{C_{г}^{вх} + C_{г}^{вв}}{2} = \frac{C_{г}^{вв}}{2} = \frac{\Delta C_{г}}{2}, \quad (30)$$

где  $\Delta C_{г} = C_{г}^{вв}$  – величина изменения (увеличения) концентрации аммиака в газовой смеси внутри пузырька воздуха за период  $\Delta t_{п}$ .

Концентрация насыщения сточных вод аммиаком в этом случае может быть определена по формуле (4).

Величина концентрации аммиака в пузырьке воздуха на поверхности жидкости может быть определена по формуле

$$\Delta C_{г} = K_{\omega} t_{п} (C_{н} - C) \frac{1 - \varphi}{\varphi}. \quad (31)$$

Подставляя значение  $C_{н} = \frac{\alpha C_{г}}{2}$  в формулу (31) и проводя математические преобразования, получим

$$\Delta C_{г} = \frac{K_{\omega} t_{п} C \frac{1 - \varphi}{\varphi}}{K_{\omega} t_{п} \alpha \frac{1 - \varphi}{2\varphi} - 1}. \quad (32)$$

Используя теоретические формулы (6), (24), (25) и (32), можно рассчитать технологические параметры процесса отдувки аммиака из производственных сточных вод сжатым воздухом.

---

Технологические параметры процесса аэрирования сточных вод могут быть рассчитаны по формулам (6), (24), (25), (28) и (29).

### Список литературы

1. Брагинский, Л.Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Л.Н. Брагинский, М.А. Евилевич. – Л.: Химия, 1980. – 198 с.
2. Андреев, С.Ю. Теоретические основы процессов генерации динамических двухфазовых систем вода-воздух и их использование в технологиях очистки воды / С.Ю. Андреев. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 194 с.
3. Андреев, С.Ю. Математическое моделирование кинетики процессов массопередачи из всплывающих газовых пузырьков в технологиях очистки сточных вод / С.Ю. Андреев, В.Г. Гамбург, А.А. Петрунин, В.А. Князев // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С.134–139.
4. Андреев, С.Ю. Теоретические основы расчета работы эрлифтных устройств / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев // Региональная архитектура и строительство. – 2017.

### References

1. Braginskiy, L.N. Modeling of aeration facilities for sewage treatment / L.N. Braginskiy, M.A. Evilevich. – L.: Khimia, 1980. – 198 p.
2. Andreev, S.Yu. Theoretical grounds of processes of dynamic two-phase systems water-air generation and their use in water treatment technologies / S.Yu. Andreev. – Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2005. – 194 p.
3. Andreev, S.Yu. Mathematical modeling of mass transfer processes kinetics from floating gas bubbles in waste water purification technologies / S.Yu. Andreev, V.G. Gamburg, A.A. Petrunin, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2013. – No.3. – P. 134–139.
4. Andreev, S.Yu. Theoretical grounds of calculation of airlift devices operation / S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2017.