

# **Оптимизация и управление вибровоздействием на процессы диспергирования и коалесценции в многостадийной флотации сточных вод с помощью адаптивной нейро-нечеткой системы**

А.С. Битюцкий, Р. М. Валиев

*E-mail: bsalexey@gmail.com*

## **Краткое содержание**

Рассмотрены вопросы построения системы управления и оптимизации режимов вибрации в многостадийной флотационной машине. Предложена структура нейро-нечеткого регулятора для многостадийного технологического процесса флотации сточных вод. За счет применения предлагаемой системы управления, возможно повысить интенсификацию процесса очистки и внести вклад в энергетическую эффективность, а так же в целом в улучшить технико-экономические показатели работы виброфлотомашин и тем самым повысить конкурентоспособность среди других методов очистки сточных вод.

## **Ключевые слова**

Флотация; вода; регулятор; вибровоздействие; оптимизация; система управления.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Оптимизация и управление сложными технологическими процессами очистки сточных вод, как правило, осуществляется в условиях информационной неопределенности. Кроме того характерные для данных процессов динамические изменения свойств его протекания и условия в которых необходимо его реализовывать, как правило приводят к необходимости корректировки модели управления. Это, прежде всего, обусловлено нелинейными изменениями состава гидрофобных загрязнений поступающих совместно со сточными водами, значительной динамикой объем поступления и большой долей информационной неопределенности многостадийного процесса очистки. Данные технологические особенности приводят к недостаточно эффективной работе традиционных систем управления, которым не всегда удается уследить за динамикой процесса, при недостатке информации о ходе его протекания. Одним из таких технологических процессов очистки сточных вод является многостадийная флотация для различных видов гидрофобных загрязнений, с учетом явлений диспергирования пузырьков воздуха и коалесценции флотокомплексов под влиянием вибрационного воздействия. Впервые модификацию технологического процесса флотационной очистки сточных вод с созданием виброфлотомашин с диспергированием в корпусе аппарата осуществили на кафедре «Экологии и промышленной безопасности» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Решение схожих вышеописанных вопросов оптимального управления сложными технологическими процессами привели к применению интеллектуальных методов управления на основе нейроинформатики и нечеткой логики. Ведь одно из поразительных свойств человеческого интеллекта является способность принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации [1]. Математическая теория нечетких множеств, позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы, в свою очередь нейронные сети являются достаточно мощным и наилучшим методом для решения задач распознавания образов в ситуациях, когда в экспериментальных данных отсутствуют значительные фрагменты информации, а имеющаяся информация предельно

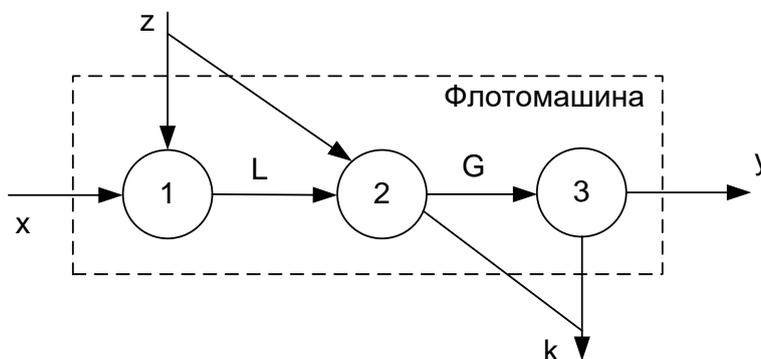
зашумлена [1-2].

Построение систем управления в режиме реального времени для технологических процессов имеющих сложные динамические свойства на основе экспертных понятий и знаний, а так же нейронных сетей имеющих свойство быстрой обучаемости представляют на сегодняшний день одну из важнейших направлений научно-технического развития субъектов экономической деятельности.

### ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССА

Модифицированный процесс виброфлотации гидрофобных загрязнений имеет значительные технико-экономические преимущества перед пневматической, механической, напорной и электро-флотацией, приведенные авторами в своих научных работах [3-4]. При этом стоит отметить основные показатели времени виброфлотации 10 - 15 мин, что в 1,5 - 2 раза меньше сравниваемых методов флотационной очистки, а так же показатели остаточной концентрации в 1 - 2 мг/л. Сама виброфлотомашина состоит из двух камер и блока тонкостенного осветления, активными с точки зрения управления очистки сточной воды являются флотационная камера диспергирования и коалесценции, где размещены исполнительные элементы вибростендов и аэраторы.

При построении информационной структуры обобщенной модели как технологического объекта управления процессом очистки воды от гидрофобных загрязнений состоит задача полноты определения информационных связей. Для этого была рассмотрена макроструктура технологического процесса, представленная на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Расходящаяся макроструктура процесса виброфлотации где  $x$  – исходная вода с гидрофобными загрязнениями;  $z$  - воздух для осуществления аэрирования;  $y$  – очищенная вода;  $k$  – гидрофобные загрязнения;  $L$  и  $G$  – промежуточные стадии технологического процесса виброфлотации.

Из анализа, представленной макроструктуры на рисунке 1, можно выделить следующие статические зависимости, а так же динамические характеристики технологического процесса виброфлотации:

$$y = f(x; z), k = f(x), \quad (1)$$

$$y(t) = f[x(t); z(t)], \quad (2)$$

Математическая модель виброфлотации для каждой стадии, описывается следующими дифференциальными уравнениями [4]:

$$\frac{dC_A}{dt} = -(K_1 + K_2 + K_{10})C_A + K_2C_B C_C + K_4 + K_9 C_D, \quad (3)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = K_1 C_A - (K_2 + K_5) C_B + K_6 C_D, \quad (4)$$

$$\frac{dC_C}{dt} = K_3 C_A - (K_4 + K_7) C_C + K_8 C_D, \quad (5)$$

$$\frac{dC_D}{dt} = K_{10} C_A + K_5 C_B + K_7 C_C + (K_6 + K_8 + K_9) C_D, \quad (6)$$

где  $K_i$  - константы переходов из одного состояния в другое;  $C_i$  - стадии флотации (концентрация частиц в состоянии  $A, B, C, D$ ).

Тогда с учетом вышеописанной модели и макроструктуры процесса виброфлотации, общая математическая задача оптимизации эффективности захвата частиц всплывающими пузырьками газа, которую должна решать система управления, будет следующей:

$$E = \frac{K_n D k_0}{1,5q} \Rightarrow \max \quad (7)$$

где  $q$  - скорость барботирования;  $D$  - средний диаметр пузырьков;  $k_0$  - фактор полидисперстности пузырьков;  $K_n=K_l=K_3$  - константы характеризуют способы флотации.

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

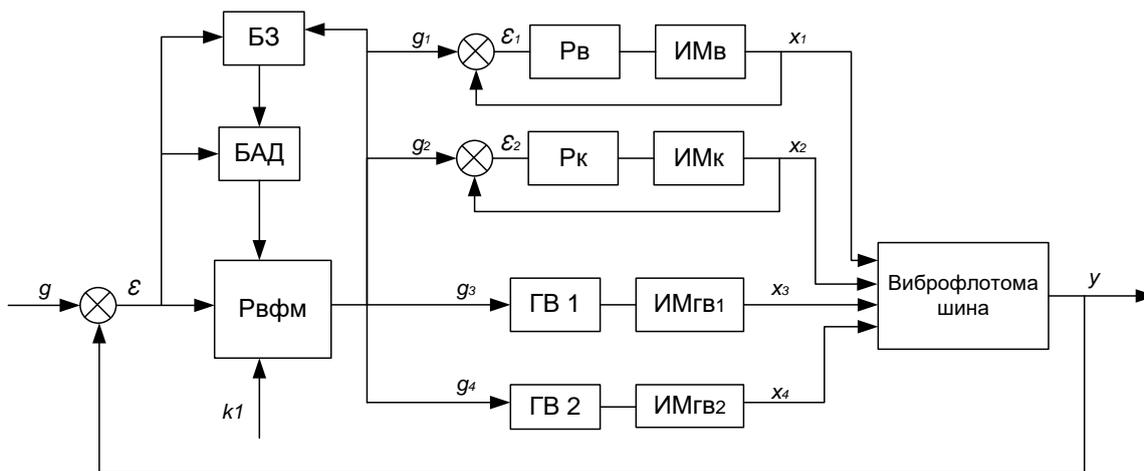
Решение поставленной задачи по оптимизации и управления технологическим процессом виброфлотации с помощью адаптивной нейро-нечеткой системы обусловлена, прежде всего, в значительной долей информационной неопределенности многостадийного процесса очистки, в неравномерной загрузке флотационной машины загрязнёнными стоками, включая их концентрацию, поступающими от производственных процессов, в возможных неточностях быстрого подбора и поддержания заданного эксплуатационного режима не только частоты, но и уровня вибровоздействия.

Кроме того, важное значение в оценке эффективности флотационного процесса имеет определение размера пузырьков воздуха, которые участвуют в образовании флотокомплексов и обеспечения их всплытия в пенный слой [4], так же на эффективность влияет скорость барботирования, значение частоты вибрации и ее ускорение.

Основной исходной информацией для нейро-нечеткой системы управления являются сигналы о качестве очищенных стоков, входные данные по исходной воде и количеству подаваемого воздуха на аэраторы, включая количество задействованных аэраторов и др. Кроме того, для системы создается перечень статической информации о конструктивных особенностях виброфлотомашин (например - общее количество аэраторов, их тип, объем активных камер и др.).

Настройку параметров создаваемой нейро-нечеткой системы и ее проверку реализуется формализацией обучающей и проверочной выборки данных о работе виброфлотомашин. Кроме того, экспертами-технологами создается матрица нечетких множеств с формализацией условий, определяющих взаимосвязь между входной и выходной информацией, с выработкой четких правил, учитывая нечеткую информацию и условия информационной неопределенности о протекании технологического процесса виброфлотации.

Приведенные выше технологические условия стали основой для разработки укрупненной функциональной структуры, рисунок 2, адаптивной нейро-нечеткой системы управления.



**Рисунок 2.** Укрупненная функциональная структура адаптивного управления.

где *БД* – блок адаптации; *Рвфм* - нейро-нечеткий регулятор с блоком предварительной настройки; *БЗ* – база данных; *ГВ* – генератор вибрации; *ИМ* - исполнительный механизм; *Р* – классический ПИД регулятор.

В качестве проверки работы создаваемого регулятора применяется ANFIS-редактор MatLAB, позволяющий автоматически синтезировать из экспериментальных данных нейро-нечеткие сети. Редактор ANFIS реализует систему нечеткого вывода Сугено в виде пятислойной нейронной сети прямого распространения сигнала [5]. Для обучения построенного регулятора применяется гибридный метод, объединяющий метод обратного распространения ошибки с методом наименьших квадратов.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Ранее предлагаемые методы выбора и оптимизации режимов вибровоздействия для диспергирования и коалесценции пузырей воздуха возможно реализовать при совместном использовании нейронной сети и нечетких правил вывода, основанных на матрице нечетких ассоциаций, тем самым удастся построить эффективную систему управления и оптимизации вибровоздействием, а так же в целом всей виброфлотомашинной, при этом дополнительно повысив эффективность очистки сточных вод.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотухин Ю.Н. (1995) Нечёткие множества в системах управления.
2. Ежов А.А. Чечеткин В.Н. (2007) Нейронные сети в медицине. *Открытые системы*, 4, 34–37.
3. Ксенофонтов Б.С., Иванов М.В. (2012) Интенсификация флотационной очистки в оборотных системах водопользования с использованием вибровоздействий. *Электронное издание Наука и Образование*, 2, 1-26.
4. Иванов М.В. (2012) Виброфлотационная очистка сточных вод как способ уменьшения экологического ущерба окружающей среде». *Автореферат*.
5. Штовба С.Д. (2010) Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику.

**Bityutskiy A.S.** Optimization and control of vibration impact on the processes of dispersion and coalescence in multi-stage wastewater flotation using an adaptive neuro-fuzzy system

**Summary**

The issues of building a control system and optimizing vibration modes in a multi-stage flotation machine are considered. The structure of a neuro-fuzzy controller for a multi-stage technological process of wastewater flotation is proposed. Through the use of the proposed control system, it is possible to increase the intensification of the treatment process and contribute to energy efficiency, as well as in general to improve the technical and economic performance of the flotation machine and thereby increase the competitiveness among other wastewater treatment methods.

Organised by:  
Организаторы:

	International Water Association
	European Water Association
	UNESCO-IHE Institute for Water Education
	Ukrainian Water Society "WaterNet"
	National University of "Kyiv-Mohyla Academy"
	National University of Water Management and Nature Resources Use
	National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
	Water Works Kiev (Київводоканал)
	MosvodokanalNIPProject
	Polish Academy of Sciences scientific Station in Kiev

# Proceedings of the IWA 5<sup>th</sup> Eastern European Young and Senior Water Professionals Conference Part 2

# Сборник статей IWA 5<sup>ая</sup> Восточно- Европейская конференция «Опыт и Молодость в решении водных проблем» Часть 2

**26-28 JUNE 2013  
PREMIER PALACE  
KIEV UKRAINE**

**26-28 ИЮНЯ 2013  
ПРЕМЬЕР ПАЛАС  
КИЕВ УКРАИНА**

**[www.iwahq.org](http://www.iwahq.org)**



## **Организационный Комитет**

**Председатель:** Марина Терешук

Моб.: +32 492 27 19 34

e-mail: [maryna.tserashchuk@waterleau.com](mailto:maryna.tserashchuk@waterleau.com)

### **Члены комитета:**

Полина Вакулук (Киев, Украина)  
 Арлинда Ибрахимллари (Тирана, Албания)  
 Артём Кулаков (Вологда, Россия)  
 Ольга Новицкая (Ровно, Украина)  
 Филип Ваннер (Прага, Чехия)  
 Анастасия Галаева (Алмага, Казахстан)  
 Целика Рудик (Белград, Сербия)  
 Анастасия Степанова (Москва, Россия)  
 Иоана Станеску (Бухарест, Румыния)  
 Патрик Войтович (Вроцлав, Польша)  
 Едип Авсар (Стамбул, Турция)  
 Николетт Сцилаги (Будапешт, Венгрия)  
 Сильвана Вельтен (Гамбург, Германия)

## **Organising Committee**

**Chairman:** Maryna Tserashchuk

Mob.: +32 492 27 19 34

e-mail: [maryna.tserashchuk@waterleau.com](mailto:maryna.tserashchuk@waterleau.com)

### **Committee members:**

Polina Vakuliuk (Kiev, Ukraine)  
 Arlinda Ibrahimllari (Tirana, Albania)  
 Artem Kulakov (Vologda, Russia)  
 Olha Novytska (Rovno, Ukraine)  
 Filip Wanner (Prague, Czech Republic)  
 Anastasiya Galaeva (Almaty, Kazakhstan)  
 Zeljka Rudic (Belgrade, Serbia)  
 Anastasiya Stepanova (Moscow, Russia)  
 Ioana Stanescu (Buharest, Romania)  
 Patryk Wójtowicz (Wroclaw, Poland)  
 Edip Avşar (Istanbul, Turkey)  
 Nikolett Szilagyi (Budapest, Hungary)  
 Silvana Velten (Hamburg, Germany)

## **Программный Комитет**

**Председатель:** Брдянович Д.  
 (ЮНЕСКО, Делфт, Нидерланды)

### **Члены комитета:**

Пупырёв Е. (МосводоканалНИИПроект, Россия)  
 Собчук Г. (Академия Наук, Польша)  
 Милойкович И. (Научный Институт, Сербия)  
 Егизбаев Д. (НТЦ развития ЖКХ, Казахстан)  
 Гогина Е. (МГСУ, Россия)  
 Ковак Ю. (Акта Либеры, Хорватия)  
 Орт Г. (Рур Университет Бохум, Германия)  
 Хямяляйнен М. (Водоканал Санкт Петербурга, Россия)  
 Гироль Н. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Украина)  
 Арнаудова Ф. (Программа Молодых Специалистов в Болгарии)  
 Хусманн Ж. (Университет Штутгарт, Германия)  
 Шлахта М. (Врославский Университет, Польша)

## **Programme Committee**

**Chairman:** Brdjanovic D.  
 (UNESCO-IHE, Delft, The Netherland)

### **Committee members:**

Pupyrev E. (MosvodokanalNIIProekt, Russia)  
 Sobczuk H. (Polish Academy of Sciences, Poland)  
 Milojkovic I. (Research Institute Jaroslav Cerni, Serbia)  
 Yegizbayev D. (Center for Housing and Utilities Development LLP, Kazakhstan)  
 Gogina E. (MGSU, Russia)  
 Kovac J. (Aqua Libera, Croatia)  
 Orth H. (Ruhr University of Bochum, Germany)  
 Hyamyalyainen M. (Vodokanal of St.Petersburg, Russia)  
 Girol N. (National University of Water Management and Nature Resources Use, Ukraine)  
 Arnaudova F. (Bulgarian YWP Committee, Bulgaria)  
 Husemann J. (University of Stuttgart, Germany)  
 Szlachta M. (Wroclaw University, Poland)

## СОДЕРЖАНИЕ

<u>ВОДНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ</u>	Ст.
<b>Абиров А.А., Егизбаев Д.А., Жаркенов Е.Б., Молчанов В.В.</b> Использование вторичных вод как фактор сохранения экологического равновесия водных объектов	7
<b>Ангольд Е.В., Жарков В.А.</b> Особенности технологии капельно-дождевального орошения	13
<b>Вербецкая К.Ю.</b> Критерии качества поверхностных вод Грузии, бассейна Черного моря	19
<b>Галич О.А.</b> Учет околоритических потоков при работе гидротехнических сооружений	25
<b>Гальперин Р.И.</b> Водные проблемы Казахстана и возможные пути их решения.	30
<b>Жарков В. А., Ангольд Е.В.</b> Прогноз развития орошаемого земледелия в Казахстане при рациональном управлении природными водными ресурсами	37
<b>Когутенко Л.В.</b> Создание каталога ледников трансграничных рек с применением ГИС-технологий на примере рек Кюнес и Коксу	43
<b>Мальковский И.М. , Толеубаева Л.С. , Сорокина Т.Е. , Толекова А.</b> Озёрные системы дельты реки Сырдарии: современное состояние, предложения к реконструкции	51
<b>Михневич Э.И.</b> Улучшение гидроэкологического и гидрологического режимов на каскаде водохранилищ Вилейско-Минской водной системы	57
<b>Омарова. Г.Е.</b> Автоматизации проектирования и прогнозирования гидромелиоративных систем на базе данных ГИС	64
<b>Осадчая Н.М., Лузовицкая Ю.А.</b> Основные источники формирования биогенной нагрузки в бассейне р. Десны	70
<b>Парий А.В.</b> Создание системы национального отраслевого бенчмаркинга предприятий водоснабжения и водоотведения в России	78
<b>Рыжий В. Н.</b> Оценка возможности строительства малых ГЭС при существующих плотинах на примере гидроузлов в Житомирской области и Печенежского гидроузла в Харьковской области	82
<b>Сенников М.Н., Омарова Г.Е.</b> Особенности эффективной эксплуатации оросительных систем в условиях орошения	91
<b>Сенников М.Н., Омаров Е.О., Омарова Г.Е.</b> Прогнозирование водообеспеченности орошаемых земель юга Казахстана на основе ГИС- технологий	96

<b>Турсунова А.А., Сапарова А.А.</b> <b>Временные колебания водных ресурсов Южного Казахстана:</b> <b>теория и практика</b>	<b>101</b>
<b>Тухтаева Х.Т.</b> Изучение локальных систем орошения и выбор наиболее целесообразных характеристик для эффективного использования водно-земельных ресурсов	<b>109</b>
<b>Чередниченко В.С., Чередниченко А.В., Мадибеков А.С., Байхонова Т.А.</b> Динамика расходов воды реки Урал (Жайык) и ее связь с режимом осадков на территории водосбора	<b>113</b>
<b>Черноморец Ю.А., Лукьянец О.И.</b> Выбор оптимального варианта распределения стока воды за весенний сезон при прогнозе гидрографа половодья, на примере реки Припять	<b>116</b>
<b>Шашкина П.С.</b> Оценка фитопланктонного сообщества малых рек-водоприемников (на примере р. Десны и р. Сходня)	<b>124</b>
<b>Шумов С.Н., Лузовицкая Ю. А., Ишук А. А.</b> О классификации притоков	<b>130</b>
<b><u>ВОДОСНАБЖЕНИЕ</u></b>	
<b>Абиров А.А., Егизбаев Д.А., Жаркенов Е.Б., Саменова С., Молчанов В.В.</b> Пути повышения производительности насосной станции	<b>135</b>
<b>Балгабаев Н.Н., Тумлерт В.А., Тумлерт Е.В.</b> Новая технология обессоливания минерализованных подземных вод обратным осмотическим методом во внутренней полости водозаборной скважины	<b>139</b>
<b>Безрукова М.Р.</b> Использование техники оптимизационных расчетов при рассмотрении вариантов реконструкции СПРВ с 2 источниками	<b>145</b>
<b>Карабенин М.С., Феофанов Ю.А.</b> Формирование алгоритма работы системы управления и контроля событиями на водопроводной сети	<b>152</b>
<b>Касымбеков Ж.К.</b> Новое устройство для очистки обводнительных шахтных колодцев	<b>157</b>
<b>Коваленко Е.А., Ветров Д.И.</b> Технологическая вода для приготовления напитков на основе чайного сырья в заведениях общественного питания	<b>161</b>
<b>Коваленко Е.А., Курчевич И.В., Васылив О.Б.</b> Особенности подготовки природной минеральной воды с использованием метода вымораживания для приготовления напитков для спортсменов	<b>168</b>
<b>Нечипуренко С.В., Ефремов С.А., Наурызбаев М.К.</b> Модернизация схемы прямого и обратного водоснабжения с использованием композиционного углерод-минерального брикетированного материала на основе шунгитовых пород Восточного Казахстана	<b>174</b>
<b>Новицкая О.С.</b> Рациональное потребление воды в жилищном секторе	<b>179</b>

<b>Хмелевская О.Н., Никипелова Е.М., Николенко С.И., Мокиенко А.В., Бамбура О.Ф.</b>	<b>188</b>
Контроль безопасности и качества минеральных природных вод в Украине	
<b>Чебан В.Г., Тумин А.Н.</b>	<b>194</b>
Теоретическое исследование характера течения разделяемой смеси в ультрафильтрационных модулях с полыми волокнами	
<b>Шалыгин А.В., Стрикаленко Т.В., Тищенко В.Н., Дудник Ю.В.</b>	<b>200</b>
Моделирование процесса диспергирования жидкости в центробежном поле и разработка устройства	
<b>Янушевская Е.И., Нижник Т.Ю., Супрунчук В.И.</b>	<b>206</b>
Взаимодействие полигексаметиленгуанидина с ионами купрум(II)	
<b><u>ВОДООТВЕДЕНИЕ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД</u></b>	
<b>Абиров А.А., Кульмагамбетов Д.Б., Молчанов В.В.</b>	<b>211</b>
Практика применения биореакторов с полимерной загрузкой на малых очистных сооружениях	
<b>Агарёв А.М., Ванюшина А.Я.</b>	<b>216</b>
Оценка перспективности технологий интенсификации сбраживания осадков сточных вод на КОС	
<b>Акментина А.В.</b>	<b>224</b>
Исследование эффективности аэрационных систем в реальных режимах эксплуатации аэротенков московских очистных сооружений	
<b>Ануфриев В.Н.</b>	<b>232</b>
Совершенствование норм и стандартов по очистке сточных вод в Республике Беларусь	
<b>Басюк М.Н.</b>	<b>236</b>
Глубокая очистка малых расходов сточных вод на биофильтрах с переменным кислородным режимом по высоте	
<b>Валиев Р.М., Битюцкий А.С.</b>	<b>242</b>
Оптимизация и управление вибровоздействием на процессы диспергирования и коалесценции в многостадийной флотации сточных вод с помощью адаптивной нейро-нечеткой системы	
<b>Газизова Н.Г., Ванюшина А.Я.</b>	<b>246</b>
Влияние предварительного сгущения осадков на эффективность процесса метанового сбраживания	
<b>Грицина А.А.</b>	<b>251</b>
Метод расчета аэротенка с аноксидными и аэробными зонами	
<b>Громов Г.Н., Шапошников Д.А.</b>	<b>258</b>
Подходы к обоснованию перекрытий открытых сооружений на канализационных очистных станциях	
<b>Есин М.А., Смирнов А.В.</b>	<b>267</b>
Опыт реализации схем биологического удаления фосфора	

<b>Жарков А.В., Кевбрина М.В., Казакова Е.А., Дорофеев А.Г., Асеева В.Г., Николаев Ю.А.</b>	
Свойства новых Анаммокс бактерий, выделенных из реактора очистки фильтрата ленточных сгустителей на Курьяновских очистных сооружениях (г. Москва)	278
<b>Козлов И.М., Кевбрина М.В., Николаев Ю.А.</b>	
Оценка эффективности удаления биогенных элементов из сточных вод г. Москвы по технологии университета Ганновер (MISAH)	284
<b>Колбасов Г.А., Кевбрина М.В.</b>	
Испытания технологии дисковой микрофльтрации для осветления иловой смеси азротенков	291
<b>Коробцова В.Г., Кевбрина М.В.</b>	
Расчет объемов образующихся осадков Курьяновских очистных сооружений	295
<b>Кулаков А.А.</b>	
Оценка техногенной нагрузки на водные объекты Вологодской области	300
<b>Моисеев В.Л.</b>	
Актуальность применения радиальных и горизонтальных отстойников	308
<b>Мойжес С. И., Кевбрина М.В., Казакова Е.А., Дорофеев А.Г., Грачев В.А., Николаев Ю.А.</b>	
Полупромышленные испытания технологии М-Дефанокс.	313
<b>Муравьёва Т.С.</b>	
Влияние гидравлической и биогенной нагрузок на проектирование очистных сооружений биологической очистки	321
<b>Немшилова М.Ю., Самойлов В.И., Матюшенко Е.Н.</b>	
Обработка бытовых сточных вод в мембранном биореакторе напорного типа	326
<b>Новикова О. К., Вострова Р. Н., Роденко А.В.</b>	
Использование осадка сточных вод городских очистных сооружений в качестве компонента при производстве компостов	333
<b>Павлов Д.В., Лакеев Д.Б.</b>	
Очистка сточных вод от красителей с применением мембранных технологий	340
<b>Рожков В.С., Васильева Ю.В.</b>	
Сравнение подходов к моделированию биологической очистки сточных вод в Украине и других странах	344
<b>Саблий Л.А., Жукова В.С., Козарь М.Ю.</b>	
Удаления соединений азота и фосфора: проблемы и их решения	351
<b>Тимашева Н. А., Бражник И. А., Кубарева А.С., Азопков С.В.</b>	
Изучение сорбирующих глинистых композитов при фильтрации растворов свинца	359
<b>Черников Е.Г.</b>	
Об условиях совместного использования очищенных ливневых и моечных сточных вод	364
<b>Шуршин К.А.</b>	
Использование микроводорослей для очистки сточных вод в фотобиореакторе открытого типа. Результаты лабораторных исследований	370

## Динамика расходов воды реки Урал (Жайык) и ее связь с режимом осадков на территории водосбора

В.С. Чередниченко, А.В. Чередниченко, А.С. Мадибеков, Т.А. Байхонова

Научно-Исследовательский Институт Проблем Экологии Казахского Национального Университета имени аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, г. Алматы, Республика Казахстан  
email: [madibekov@mail.ru](mailto:madibekov@mail.ru)

### Краткое содержание

Рассмотрена динамика стока во взаимосвязи с динамикой осадков и температуры на территории водосбора отдельно для незарегулированного и зарегулированного периодов. Показано, что такая связь имеет место.

### Ключевые слова

Расход воды; приток; осадки; температура, типы процессов.

## ВВЕДЕНИЕ

Река Жайык берет начало на Южном Урале (хребет Уралтау) на территории Российской Федерации. В нижней части у г. Оренбурга она принимает один из своих крупнейших притоков р. Сакмара. Ниже по течению р. Жайык пересекает границу между Российской Федерацией и Республикой Казахстан.

Основная территория водосбора, таким образом, находится в России восточнее Южного Урала (собственно р. Урал) и западнее от него (бассейн р. Сакмары) и только небольшая часть - на территории Казахстана - бассейн р. Илек (север Уральской и Актюбинской областей).

Суммарный приток воды из РФ по р. Урал (Жайык) оценивается как сумма стока рек Урал - г. Оренбург, Сакмара - с. Каргала (Сакмара), Шаган и других. Средний многолетний суммарный приток воды из РФ по р. Урал (Жайык) оценивается в 8674 млн. м<sup>3</sup>, из них 4510 и 3312 млн. м<sup>3</sup> поступает по рекам Урал и Сакмара соответственно.

По р. Жайык в настоящее время поступает в среднем 8390 млн. м<sup>3</sup>, примерно такое количество воды поступало и в 1974...2007 гг. В естественных условиях за 1940...2007 гг. поступало бы 9588 млн. м<sup>3</sup>, а за 1974...2007 гг. - 10093 млн. м<sup>3</sup> [1].

В данной работе мы попытались исследовать наличие связей между временными рядами осадков и температуры в Западном Казахстане, с одной стороны, и колебаниями стока реки Жайык - с другой. Для этой цели мы использовали данные средней годовой температуры воздуха, средние значения температуры воздуха за теплый период (апрель-октябрь), годовые суммы осадков, а также расходы воды за период 1921-2003 гг.

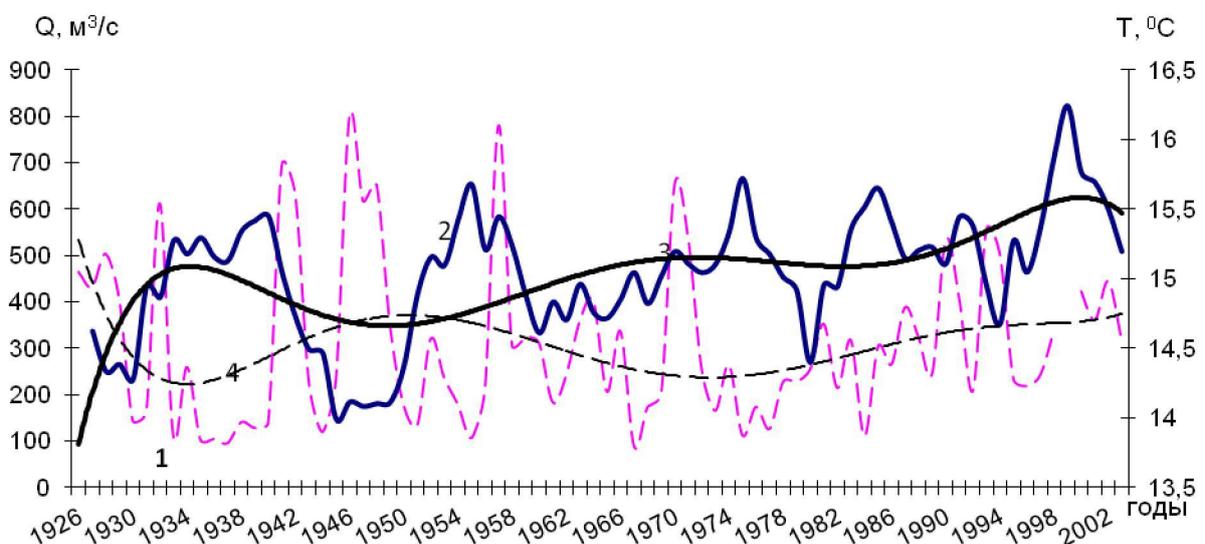
## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Известно, что реки, сток которых зарегулирован, демонстрируют слабую связь между осадками и температурой на территории водосбора с одной стороны и величиной стока с другой. Поэтому мы разделили временные ряды на две части: до 1958 г. - незарегулированный сток и после 1958 г. - зарегулированный сток.

Рассмотрим сначала результаты анализа связей для всего временного ряда величины стока. Временной ход расхода воды на станции Кушум показывает, что за период 1921-2007 гг. он изменялся от 89,1 до 800,0 м<sup>3</sup>/с (рисунок 1).

Можно заметить большую изменчивость величины стока от года к году, особенно до 1973 г. При этом полиномиальный тренд показывает, что с 1921 г. до 1940 г. наблюдается уменьшение расхода воды, а с 1941 г. отмечается увеличение расхода воды. С 1958 г. до 1978 года наблюдается уменьшение расхода воды, далее до 2002 г. - увеличение расхода воды.

На рисунке 1 показана межгодовая изменчивость стока после 1958 г., которая заметно уменьшилась, что подтверждает необходимость отдельного анализа. Также представлен временной ход расхода воды р. Жайык и средней температуры воздуха за теплый период на МС Уральск, рассчитанных за скользящий пятилетний период (рис. 1).



1 - расход воды р. Жайык; 2 - средняя температура воздуха за теплый период на МС Уральск, за скользящий пятилетний период; 3 - линия тренда средней температуры воздуха за теплый период, 4 - линия тренда расхода воды

**Рисунок 1.** Временной ход расхода воды р. Жайык и средней температуры воздуха за теплый период на МС Уральск, рассчитанных за скользящий пятилетний период

На рисунке, представленном выше, наблюдается обратная корреляция, а именно: повышению температуры воздуха соответствует уменьшение расхода воды, с 1941 по 1957 г. а понижению средней температуры воздуха соответствует увеличение расхода воды. Затем с 1958 до 1977 года на фоне повышения средней температуры воздуха происходит уменьшение расхода воды.

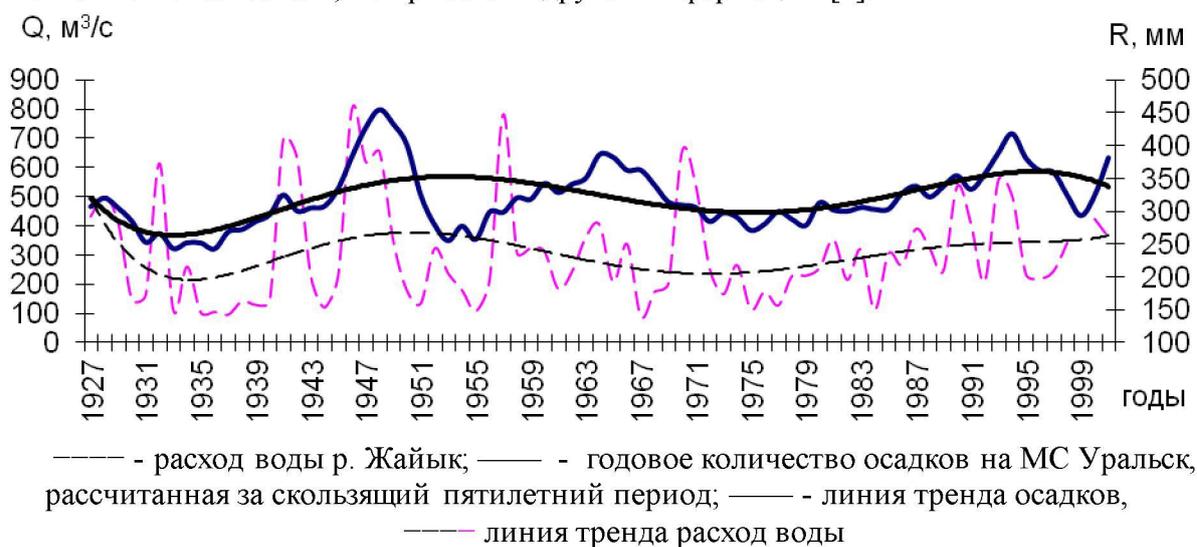
Рассчитанная нами корреляционная зависимость между стоком и температурой воздуха за теплый период, для станции Уральск составляет -0,30, то есть связь очень слабая.

При этом слабая связь также получилась и для температуры воздуха за теплый период, рассчитанной за трехлетний скользящий период и для средней температуры воздуха за теплый период без расчета со скользящим. Заметим что, при определении корреляционной связи между годовым расходом воды и температурой воздуха за теплый период были удалены начальные (1926-1930 гг.) и конечные (1999-2003 гг.) пять лет, чтобы исключить

влияние неопределенности, характерной для концов временного ряда. Для температуры воздуха связь между годовой суммой осадков и расходом воды р. Жайык более тесная, но корреляционная связь прямая, что естественно [2]. Так, временной ход годовой суммы осадков на МС Уральск повторяет ход расхода воды, даже при количестве осадков, рассчитанном за скользящий трех- и пятилетний период (рисунок 2).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исключая начало и конец рядов, мы можем констатировать, что на всем их протяжении временной ряд расхода воды повторяет временной ход количества осадков. Можно поэтому заключить, что временной ряд количества осадков, как и временной ход температуры, в Уральске хорошо отражает временной ход стока и в задачах по оценке изменения стока под влиянием глобальных изменений климата, по крайней мере, на уровне общих оценок, эти данные можно использовать, не прибегая к другой информации [3].



**Рисунок 2.** Временной ход расхода воды р. Жайык и годовой суммы осадков на МС Уральск, рассчитанные за скользящий пятилетний период

Что касается величины связи между расходом воды р. Жайык и годовой суммой осадков на МС Уральск, то коэффициент корреляции составляет 0,56.

Вместе с тем, очевидно, что после 1958 г., ход аппроксимирующих кривых более плавный, чем ранее. Это указывает на необходимость раздельного анализа временных рядов для периодов незарегулированного и зарегулированного стока после 1958г. водохранилищами, что нами и сделано далее.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давлетгалиев С.К. Поверхностные водные ресурсы Жайык - Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология, -2011. -№1.- С.56-65.
2. Чередниченко А.В., Давлетгалиев С.К., Кожаметова Э.П., Чередниченко В.С., Байхонова Т.А. О влиянии температуры воздуха и количества осадков на расход воды р. Жайык (Урал) - с. Кушум. //Вестник КазНУ, серия географическая ,2010.-№1 (30).-с. 17-24.
3. Шкляев А.С. Особенности распределения осадков и стока на среднем и южном Урале и их связь с атмосферной циркуляцией. /Ученые записки Пермского государственного университета им. А.М. Горького № 112, 1961-108с.