

# Вертикальные мешалки российского производства для процессов очистки сточных вод



**А.Н. Григорьева<sup>1</sup>,**  
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ  
ДИРЕКТОР АО  
«АСТЕРИОН»

**Р.Ш. Абиев<sup>2</sup>,**  
Д-Р ТЕХН. НАУК, ПРОФ.,  
ЗАВ. КАФЕДРОЙ ОХБА  
СПбГТИ (ТУ)

Проектировщики очистных сооружений и предприятия по очистке сточных вод находятся перед выбором оптимальных конструктивно-технологических решений для преодоления проблемы использования неаэрируемых зон, иловая смесь в которых должна перемешиваться.

В статье обобщены основные преимущества и недостатки различных типов перемешивающих устройств, дан сравнительный анализ стоимости жизненного цикла перемешивающих устройств различных производителей. Публикация адресована тем, кто хочет разобраться в вопросе, какие электромеханические мешалки следует использовать в целях наибольшей эффективности.

<sup>1</sup> E-mail: an@ast-pump.ru.

<sup>2</sup> E-mail: abiev.rufat@gmail.com.

Современным стандартом биологической очистки сточных вод поселений и схожих с ними по составу является применение технологий нитри-денитрификации. Также все большее распространение получает биологическое удаление фосфора. Оба этих решения требуют использования неаэрируемых зон, иловая смесь в которых должна перемешиваться. В настоящее время производители перемешивающих устройств предлагают всего несколько технических решений для обеспечения перемешивания иловой смеси на очистных сооружениях. К ним относятся вертикальные лопастные, погружные (горизонтальные) лопастные и вертикальные гиперболические мешалки.

Гиперболической мешалкой называют перемешивающее устройство, имеющее рабочее колесо «гиперболической» формы. Схема работы такой мешалки представлена на рис. 1.

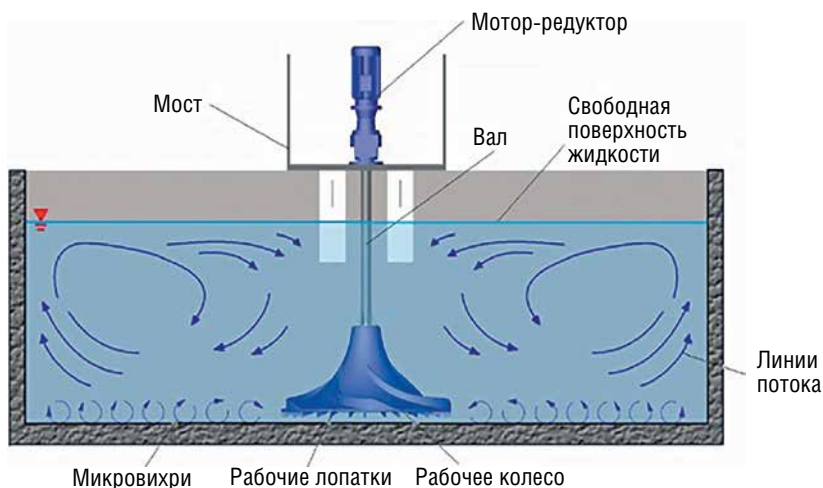
Учитывая сложность процесса очистки сточных вод, проектировщики очистных сооружений и предприятия по очистке сточных вод поставлены в непростые условия выбора оптимальных конструктивно-технологических решений, осложненных отсутствием необходимой информации. Так, например, СП 32.13330 «Канализация. Наружные сети и сооружения» гласит: «В аноксидных зонах (либо

при аноксидных условиях) следует обеспечивать перемешивание для предотвращения осаждения активного ила. Перемешивание рекомендуется осуществлять электромеханическими мешалками». Вопрос о том, какие электромеханические мешалки следует использовать в целях наибольшей эффективности, остается открытым.

В настоящее время предприятия, связанные с очисткой сточных вод, применяют в основном погружные горизонтальные мешалки. Методика их подбора и расстановки в аэротенках хорошо изучена и стандартизирована. Погружные мешалки, в отличие от вертикальных, не требуют устройства дополнительных строительных конструкций (мостиков) для их установки. Однако при их использовании необходимо устройство дорогостоящей системы КИП для мониторинга работы мешалки (датчики наличия воды в двигателе и т. д.), визуальная диагностика работы устройства затруднена, существенны затраты на обслуживание (требуется периодическая замена торцевых уплотнений).

Гиперболические мешалки известны за рубежом с 90-х годов прошлого столетия, подобными устройствами оснащены очистные сооружения Берлина, Токио, Нью-Йорка, Вашингтона и др. крупнейших мировых предприятий по очистке сточных вод.

**Рис. 1.**  
**СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ**  
**ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ МЕШАЛКИ**  
**С УКАЗАНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ**  
**ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ**  
**ПЕРЕМЕШИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ**



## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

В России, к сожалению, данный тип оборудования пока не нашел большого распространения, в то время как в отличие от лопастных мешалок гиперболические имеют следующие преимущества:

Рис.2. Монтаж мешалки GMS, 2017 г.



- Двигатель перемешивающего устройства расположен над поверхностью жидкости. Таким образом, эксплуатация мешалки упрощается отсутствием необходимости замены уплотнений, мониторинга сложной системы датчиков наличия воды внутри корпуса в отличие от погружных мешалок. Визуальная диагностика работы устройства простая, затраты по обслуживанию минимальны.

- По сравнению с вертикальными лопастными мешалками гиперболическая мешалка – самоцентрирующаяся, не требуется установка дополнительных опор на дне емкости при длине вала до 6 м. При работе миксера радиальные силы, действующие на лопасти, делятся на количество лопаток. У гиперболического типа миксеров их 8, поэтому нагрузка на вал и подшипники меньше.

- Отсутствие «мертвых зон» и образования залежей активного ила при соблюдении условия размещения одной гиперболической мешалки в резервуаре, в котором соотношение длины к ширине не превышает 2 к 1.

- Высокая коррозионная стойкость.

- Бережное и эффективное перемешивание, гомогенный поток без пульсации.

Несколько лет назад компания «Астерион» разработала новое перемешивающее устройство [1] для эффективного суспендирования в системе жидкость–твердое, особенно в резервуарах больших объемов. Перемешивающие устройства производятся из композитного материала, рабочие лопасти и вал изготавливаются в Российской Федерации. Данный материал имеет высокую удельную прочность, твердость, износостойкость при малом весе (по сравнению с металлом). Коррозия мешалки при контакте со сточными водами исключена.

К настоящему времени освоен серийный выпуск оборудования, основные технические характеристики стандартных моделей представлены в табл. 1 (следует отметить, что частота вращения, мощность двигателя, длина вала подбирается индивидуально исходя из геометрических размеров емкостей для перемешивания):

**Таблица 1. Основные технические характеристики перемешивающих устройств Микс GMS**

Диаметр рабочего колеса	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения вала, об/мин	Зона перемешивания, м
500	1,1	73	1-3
1000	1,5	55	2-5
1500	2,2	37	3-6
2000	3	32	6-14
2500	4,0	25	10-18
2800	5,5	22	12-22

Опытно-промышленная эксплуатация мешалки серии GMS проводилась на канализационных очистных сооружениях г. Кронштадт с целью оценки эффективности и стабильности работы при различных режимах работы (подбор частоты вращения вала для эффективного перемешивания при оптимальном энергопотреблении) для поддержания активного ила во взвешенном состоянии по рабочей глубине зон денитрификации или зон дефосфатации в аэротенке.

В процессе проведения испытаний проводилась сравнительная оценка работы гиперболической мешалки серии Микс GMS с работой импортной мешалки в аналогичной зоне секции № 2 аэротенка, определя-

лась возможность применения гиперболической мешалки для нужд ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», как оборудования отечественного производства;

В программе испытаний были установлены следующие критерии успешной оценки опытно-промышленной эксплуатации:

1. Поддержание требуемых технологических параметров (доза ила по всей глубине зоны, отсутствие растворенного кислорода в иловой смеси, отсутствие отложений ила на дне зоны).

2. Срок эксплуатации оборудования – стабильная работа гиперболической мешалки серии Микс GMS без поломок и сбоев.

3. Объем технического обслуживания, необходимый для безаварийной эксплуатации, количество и качество расходных средств и трудозатрат в период проведения регламентных работ при эксплуатации оборудования.

4. Затраты электроэнергии.

5. Преимущество перед аналогичным оборудованием других фирм-производителей.

Еженедельно в течение трех месяцев (июль–сентябрь 2017 г.) проводились заборы проб батометром в различных точках аэротенка на глубине 1, 3 и 5 м. Концентрация твердых включений определялась средствами анализа содержания сухого остатка. По окончании эксплуатации в течение года контрольное опорожнение аэротенка показало отсутствие залежей на дне.

**Таблица 2. Сравнительные технические характеристики**

№	Наименование показателей	Микс GMS, Россия	НС, Германия
1	Диаметр рабочего колеса, мм	2000	2000
2	Потребляемая мощность двигателя при частоте вращения 18 об/мин, кВт	0,4	0,4
3	Возможная частота вращения вала, об/мин	От 16 до 28	18
4	Установленная мощность двигателя, кВт	2,2*	0,55
5	Материал изготовления вала и рабочего колеса	композит	композит
6	Мотор-редуктор (страна-производитель)	Россия	Германия
7	Рабочие лопасти на внутренней поверхности колеса	присутствуют	отсутствует
8	Возможность регулирования частоты вращения вала	присутствуют	отсутствует

\* Двигатель 2,2 кВт с частотным регулированием привода на российской мешалке установлен в связи с проведением опытных работ по измерению скоростей потока, создаваемой мешалкой на различных скоростях вращения.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Методика проведения анализа стоимости жизненного цикла (LCC) проведена по аналогии с насосным оборудованием и подробно изложена в [2].

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d,$$

где  $C_{ic}$  – начальная стоимость, стоимость приобретения,

$C_{in}$  – стоимость монтажа и пусконаладочных работ,

$C_e$  – стоимость электроэнергии в течение установленного срока службы,

$C_o$  – эксплуатационные затраты (затраты на обслуживающий персонал при штатной работе оборудования),

$C_m$  – стоимость обслуживания и ремонта (расходы на запчасти и человеко-часы),

$C_s$  – стоимость потерь от простоя оборудования,

$C_{env}$  – стоимость природоохранных мероприятий (загрязнение от перекачиваемой среды и вспомогательного оборудования),

$C_d$  – стоимость работ по демонтажу и утилизации оборудования.

Результаты расчета и сравнения стоимости жизненного цикла перемешивающих устройств представлены в табл. 3. Показатели  $C_o$ ,  $C_s$ ,  $C_{env}$  и  $C_d$  не рассчитывались, так как они одинаковы для обоих перемешивающих устройств.

Наиболее существенными факторами в стоимости жизненного цикла перемешивающего устройства является стоимость приобретения, а также стоимость электроэнер-

гии. Из приведенного выше анализа видно, что мешалка Микс GMS имеет более выгодную стоимость жизненного цикла даже при работе на более высоких оборотах с увеличенным энергопотреблением. Если сравнивать работу в одинаковых условиях, то стоимость российской мешалки ниже в 2,6 раза. Отметим, что при технико-экономическом анализе принято много допущений и его стоит проводить для каждого конкретного случая. Например, стоимость приобретения мешалки НС указана для одной мешалки, если же будет поставлена партия, наверняка ценовой показатель импортной мешалки также может быть существенно снижен. Однако стоимость приобретения российской мешалки GMS в любом случае ниже, чем импортной по причине отсутствия таможенных пошлин и платежей, транспортировки из Германии, оплаты посреднических услуг по поставке продукции.

В результате проведения производственных испытаний установлено:

- Обе мешалки обеспечивают достаточный уровень качества перемешивания, коэффициент вариации концентрации сухого вещества не превышает 10 %.

- По энергоэффективности мешалки имеют одинаковые показатели.

- Контрольные опорожнения аэротенка показали, что в зоне работы мешалки Микс GMS залежей осадка не обнаружено, что обусловлено наличием лопастей на нижней стороне рабочего колеса.

- В ходе испытаний не отмечено каких-либо отрицательных факторов, влияющих на работу оборудования, перемешивающее устройство находилось в непрерывной рабо-

Таблица 3. Сравнительный анализ стоимости жизненного цикла перемешивающих устройств

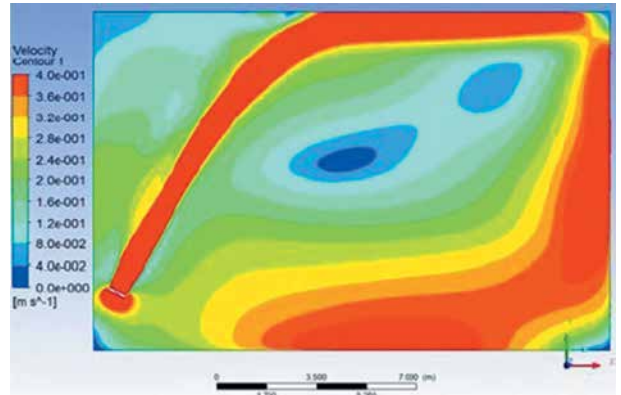
	Наименование показателей	Мешалка Микс GMS, Россия, 28 об/мин	Мешалка Микс GMS, Россия, 18 об/мин	Мешалка НС, Германия, 18 об/мин
1	$C_{ic}$ – стоимость приобретения, руб. с НДС	420 190	420 190	1 468 350
2	$C_{in}$ – стоимость монтажа и пусконаладочных работ, в т. ч.	11 308	11 308	47 492
3	$C_e$ – стоимость электроэнергии, руб.	646 800	161 700	161 700
4	$C_m$ – стоимость обслуживания и ремонта, руб. в т. ч.	153 210	153 210	280 670
	<b>Итого, руб.</b>	<b>1 231 508</b>	<b>746 408</b>	<b>1 958 212</b>

те более года, поломок при работе выявлено не было.

При установке гиперболической мешалки в коридорном аэротенке она сможет перемешивать зону длиной не более 200 % от ширины коридора (примерно такое же соотношение длины зоны к ширине коридора – до 2,3:1 рекомендовано и для погружных мешалок). В случае квадратных резервуаров вертикальные мешалки, установленные по центру емкости, характеризуются более эффективным суспендированием активного ила. В статье [3] приведено математическое моделирование потоков, создаваемых погружными мешалками (рис. 3). Мешалка расположена в левом нижнем углу, красным цветом обозначены области, где скорость потока максимальна, а синим – где скорость приближается к нулевой отметке. Наглядно видно, что помимо застойных зон в углах аэротенка (что характерно для любого типа перемешивающего оборудования, работающего в аппарате прямоугольной формы) в центре возникает область низких скоростей потока, что может служить причиной образования залежей.

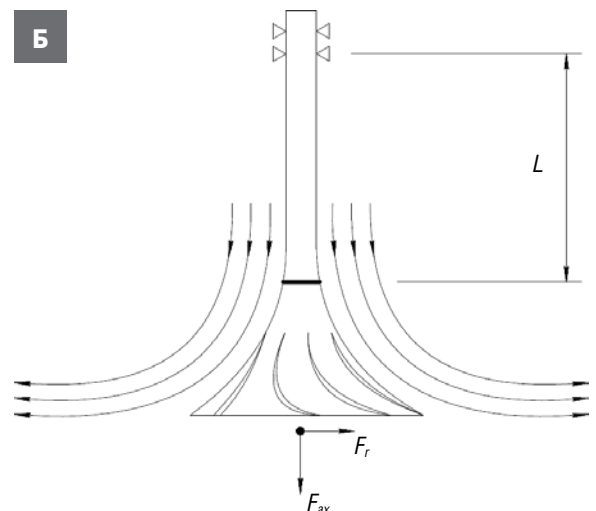
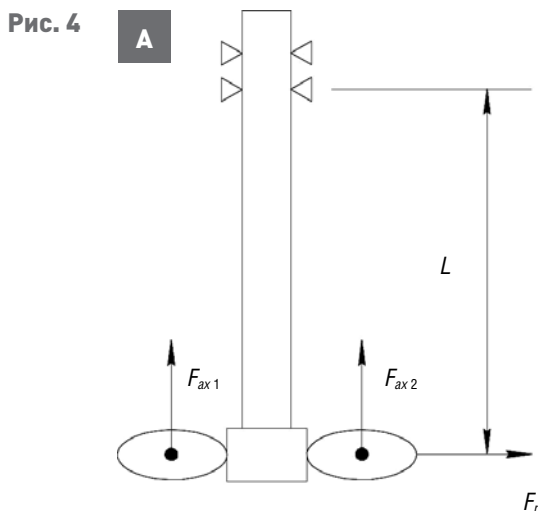
Возвращаясь к принципу работы гиперболических мешалок с указанием направления движения жидкости (см. рис. 1), отметим, что рабочее колесо расположенное у дна, создает преимущественно радиальный поток, способствующий поднятию твердых

включений снизу вверх. При правильном расчете скорости вращения образование залежей по всей зоне аэротенка исключено.



**Рис. 3 Математическое моделирование потока, создаваемого погружными мешалками**

Общепризнанным недостатком вертикальных перемешивающих устройств является наличие в конструкции длинного вала для крепления рабочего колеса мешалки, в случае несбалансированной работы которого вибрации будут передаваться на подшипники мотор редуктора и, в конце концов, приведут к поломке привода. Рассмотрим подробнее силы, действующие на рабочее колесо традиционной лопастной мешалки (рис. 4а) и гиперболической мешалки (рис. 4б).



**Таблица 4. Основные преимущества и недостатки различных типов перемешивающих устройств**

Тип перемешивающего устройства	Преимущества	Недостатки
Погружные лопастные мешалки	Имеют широкое распространение на предприятиях водоочистки, имеется богатый опыт эксплуатации, обслуживания и установки. Наличие автоматизированных программ для быстрого подбора и расстановки в аэротенке. Наличие нормативной базы для проектирования и испытаний мешалок (например, ISO2130:2007)	Сложное дорогостоящее обслуживание. Трудная визуальная диагностика работы устройства. Неравномерное распределение скоростей потока по дну
Вертикальные лопастные мешалки	Создают равномерное распределение скоростей потока не только на дне, но и вдоль оси. Простое обслуживание, низкие эксплуатационные затраты (необходима только периодическая замена масла в редукторе)	Наличие длинного вала, создающего риски повышенной вибрации и выходу из строя мотора-редуктора. Требуется установка дополнительных подшипниковых опор для компенсации вибрации, что ведет к удорожанию конструкции
Гиперболические мешалки	Простое обслуживание, низкие эксплуатационные затраты. Низкий уровень сдвиговых напряжений вблизи лопаток мешалки, что препятствует нежелательному повреждению частиц (например, активного ила или клеток микроорганизмов). Пониженные вибрации, гомогенный поток без пульсаций	Отсутствие достаточного опыта применения в России. Нет доступной простой методики подбора для конечного пользователя (каждый проект должен быть просчитан производителем)

Круглое рабочее колесо создает постоянный однородный радиальный поток без периодических колебаний. Аксиальные силы по сравнению с лопастной мешалкой действуют не вверх, а вниз [4]. Таким образом, нагрузка на подшипники двигателя и опоры мешалки снижаются. Это ведет к снижению вибрации в месте установки мешалки и как следствие – к более продолжительному сроку службы двигателя, отсутствию необходимости установки промежуточных подшипниковых узлов, снижению веса и материалоемкости опорных мостиков для монтажа мешалки.

На основании всего вышеизложенного, можно обобщить преимущества и недостатки различных типов перемешивающих устройств (см. табл. 4). ●

## ЛИТЕРАТУРА

- Абиев Р.Ш., Григорьева А.Н. «ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО». Россия Патент 2 683 078, 06 06 2018.**
- Стоимость жизненного цикла насоса (LCC): руководство по анализу LCC насосных систем. М.: ООО «Софтком», 2010.**
- Баженов В.И., Божьева С.М., ПОГРУЖНЫЕ МЕШАЛКИ, КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ. ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК, 2015.**
- MARCUS HOEFKEN. ABOUT THE DESIGN OF MIXING SYSTEMS FOR ANAEROBIC AND ANOXIC BASINS FOR LARGE WASTEWATER TREATMENT PLANTS.**