

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор

ЗАО «Астерион»



С.Ю. Веровенко

2018

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
филиала – главный инженер филиала
«Водоотведение Санкт-Петербурга»



А.И. Житенев

2018

Отчет по результатам
проведения производственных испытаний
по применению гиперболических мешалок производства
ЗАО «Астерион» на канализационных очистных сооружениях
г. Кронштадт Территориального комплекса водоотведения «Север»

Санкт-Петербург
2018

Общие положения

Биологическая очистка сточных вод представляет собой технологические процессы очистки сточных вод, основанные на способности биологических организмов разлагать загрязняющие вещества на безопасные для природы продукты [1]. При реализации биологических процессов очистки сточных вод в аэротенках биологические организмы, участвующие в разложении загрязнений, которые поступают со сточными водами, пребывают во взвешенном состоянии и представляют собой «флоки» (хлопья) - зооглейные скопления микроорганизмов, простейших, червей, водных грибов и дрожжей. Ил, содержащий микроорганизмы, которые сорбируют и разлагают загрязняющие вещества в сточных водах, называется активным илом [1]. Одним из условий жизнедеятельности микроорганизмов является эффективное перемешивание иловой смеси, в противном случае происходит загнивание. Таким образом, в технологическом процессе биологической очистки сточных вод ключевую роль играет перемешивание и аэрация (насыщение кислородом) активного ила. В свою очередь, повышение эффективности перемешивания иловой смеси в аэротенках позволяет повысить эффективность процессов нитрификации без увеличения эксплуатационных затрат на аэрацию [2].

В настоящее время производители перемешивающих устройств предлагают всего несколько технических решений для обеспечения перемешивания сточных вод на очистных сооружениях. К ним относятся вертикальные лопастные, погружные лопастные и гиперболические мешалки. Учитывая сложность процесса очистки сточных вод, проектанты очистных сооружений и предприятия по очистке сточных вод поставлены в непростые условия выбора оптимальных конструктивно-технологических решений, осложненных отсутствием необходимой информации. Так, например, п.9.2.7.6 СНиП 2.04.03-85 «КАНАЛИЗАЦИЯ. НАРУЖНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ» [3] гласит: «В аноксидных зонах (либо при аноксидных условиях) следует обеспечивать перемешивание для предотвращения осаждения активного ила. Перемешивание рекомендуется осуществлять электромеханическими мешалками. Допускается при обосновании осуществлять перемешивание воздухом, обеспечив минимальное растворение в иловой смеси кислорода воздуха, либо рециркулирующего газа, а также с помощью пневмомеханических, гидравлических и других подобных устройств. Допускается осуществлять перемешивание путем создания в двух и более коридорах аэротенка продольного циркуляционного потока со скоростью, достаточной для поддержания ила во взвешенном состоянии». Вопрос о том, какие электромеханические мешалки наиболее эффективно следует использовать, остается открытым.

Производственные испытания гиперболической мешалки серии GMS проводились в соответствии с утвержденной «Программой проведения испытаний по тестированию гиперболической мешалки Микс GMS 2000-2,2-28-5000 производства ЗАО «Астерион» на канализационных очистных сооружениях г. Кронштадт Территориального комплекса водоотведения «Север»

Перемешивающие устройства производятся на основе 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 рабочего колеса при контакте со сточными водами исключена. В данный момент мешалки оснащаются мотор-редукторами Sew Eurodrive. Производство этих приводов немецкой компании локализовано в России в г. Санкт-Петербурге. Перемешивающее устройство Микс GMS имеет максимальную скорость вращения 28 оборотов в минуту и оборудована частотным преобразователем для снижения частоты вращения.

Все комплектующие проходят полный входной контроль. Мешалки серии GMS применяется вместо зарубежных аналогов в рамках импортозамещения.

Опытно-промышленные испытания (ОПИ) гиперболической мешалки серии МиксGMS 2000-2,2-28-5000 производства ЗАО «Астерион» проводились на основании участия ЗАО «Астерион» в Кластере водоснабжения и водоотведения в Санкт-Петербурге

Цель проведения испытаний:

Оценка эффективности и стабильности работы гиперболической мешалки серии МиксGMS по ТУ 3618-035-09706470-2017 производства ЗАО «Астерион» 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.

Сравнительная оценка работы гиперболической мешалки серии МиксGMS по ТУ 3618-035-09706470-2017 производства ЗАО «Астерион» с работой мешалкиС компанииТ в аналогичной зоне секции №2 аэротенка.

Определение возможности применения гиперболической мешалки серии МиксGMS для нужд ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», как оборудования отечественного производства.

Сравнительные технические характеристики оборудования.

Таблица 1. Сравнительные технические характеристики

№	Наименование	Микс GMS, РоссияС, Германия
1	Диаметр рабочего колеса, мм	2000	2000
2	Мощность двигателя, кВт	2,2	0,55
3	Частота вращения вала, об/мин	От 16 до 28	18
4	Материал изготовления вала и рабочего колеса	композит	композит
5	Мотор-редуктор	Sew Eurodrive, сборочное производство в России	Sew Eurodrive, сборочное производство в Германии
6	Рабочие лопатки на внутренней поверхности колеса	присутствуют	отсутствует
7	Возможность регулирования частоты сращения вала	присутствуют	отсутствует

Критерии успешной оценки опытно-промышленной эксплуатации:

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

Срок эксплуатации оборудования – стабильная работа гиперболической мешалки серии МиксGMS без поломок и сбоев;

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

Затраты электроэнергии;

Преимущество перед аналогичным оборудованием других фирм-производителей.

Место проведения испытаний:

г. Кронштадт, ул. Гидростроителей д.2

Сроки проведения испытаний:

с 30.06.2017г. по 15.07.2018г.

Порядок проведения испытаний.

На КОС г. Кронштадт была установлена мешалка МиксGMS 2000-2,2-28-5000 в 1 АНКС зоне 3 секции аэротенка в количестве 1 шт. В аналогичной зоне 2 секции аэротенка и в других зонах, установлены мешалки Н.....сТ.

Еженедельно в течении трех месяцев (июль-сентябрь) проводились заборы проб в различных точках аэротенка на глубине 1, 3 и 5 метров. Концентрация твердых включений определялась по средствам анализа на содержание сухого остатка. Мешалка GMS была запущена на максимальной частоте вращения 28 об/мин. После проведения анализов при положительном результате (в случае значения коэффициента вариации менее 10%) частота вращения снижалась. С октября 2017 года по июль 2018 мешалка GMS работала на аналогичных скорости вращения как и импортная мешалка - 18 об/мин. Коэффициент вариации рассчитан в соответствии с приложением 1 программы ОПИ.

Анализ эффективности перемешивания также производился путем измерения скорости потока, создаваемой мешалкой в аэротенке при помощи микровертушки гидрометрической ГМЦМ-1. Место измерений – симметричные, на расстоянии 1 метр от стенки аэротенка в зоне 3 и в зоне 2.

В каждой точке турбулентного течения истинная скорость не остается постоянной во времени из-за хаотичности движения частиц. Ее мгновенные течения испытывают флуктуации и нерегулярные пульсации [4]. Скорости пульсируют около некоторого осредненного значения, становясь то больше, то меньше его. Для измеряемой точки осредненная скорость в времени рассчитана из соотношения:

$$V_{\text{оср}} = \frac{\int V_i dt}{t}$$

Где $V_{\text{оср}}$ – осредненная скорость потока, м/с

V_i - мгновенная скорость потока, м/с

dt – время между измерениями, с

t – общее время измерений, с

04.08.2017, 06.10.2017 и 11.05.2018 года проведены контрольные опорожнения аэротенка на предмет определения количества отложений на дне, а также сравнения количества залежей в углах аэротенка и под мешалками.

Изменение мгновенной скорости в зависимости от времени представлена на рис 1.

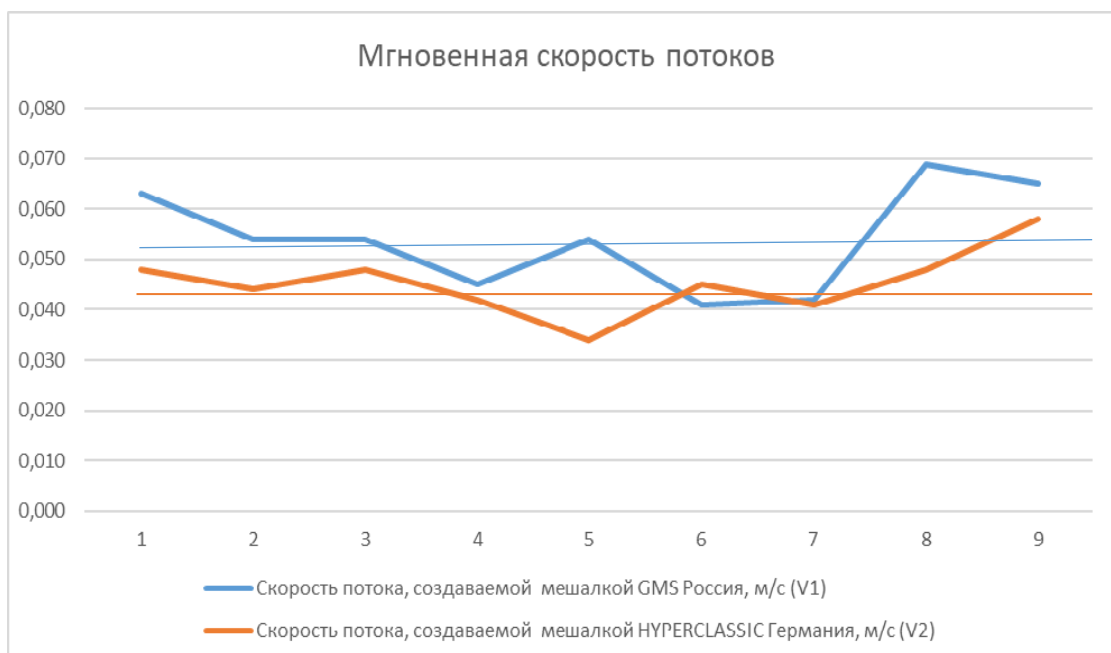


Рис 1. Изменение мгновенной скорости потока, создаваемого перемешивающими устройствами.

Осредненная скорость мешалки GMS выше на 25% чем мешалки

Н.....С.

Результаты определения профиля концентрации активного ила представлены в Приложении 1.

Фотоматериалы контрольного опорожнения аэротенка представлены в Приложении 2.

Сравнительный анализ стоимости жизненного цикла

Методика проведения анализа стоимости жизненного цикла (LCC) проведена по аналогии с насосным оборудованием и подробно изложена в [6].

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

C_{ic} – начальная стоимость, стоимость приобретения

C_{in} - стоимость монтажа и пусконаладочных работ

C_e – стоимость электроэнергии в течении 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.

При расчете приняты следующие допущения:

- Информация относительно стоимости импортной мешалки и стоимости комплекта запасных частей получена путем маркетингового исследования: запроса технико-коммерческих предложений у российских поставщиков.

- Фирма изготовитель мешалки производит только шеф монтаж (задействован 1 сотрудник инженерной специальности). Согласно исследованию, проведенному Союзом немецких инженеров (VDI), в настоящее время начинающие свой карьерный путь специалисты зарабатывают от €48 тыс в год. Годовой доход инженеров с опытом работы от двух лет и больше составляет около €65 800. Таким образом, в расчете принимается оплата труда иностранному специалисту в размере 35 евро в час. Стоимость шеф монтажа российской мешалки определена на основании действующего прайс-листа ЗАО «Астерион»

- В самом монтаже участвуют сотрудники предприятия-потребителя в количестве 2-х человек. По данным исследований ведущего сайта по поиску работы www.hh.ru средняя заработная плата механика составляет 40 000 руб/мес [7], т.е. 238 рублей/час.

- Показатели C_o , C_s , C_{env} и C_d не рассчитаны, так как они одинаковы для обоих перемешивающих устройств.

- Курс евро принят 75,30 рублей по состоянию на 15.08.2018 г.

- Стоимость электроэнергии рассчитана для трех вариантов эксплуатации: российская мешалка 28 об/мин (потребление 2,2 кВт в час), российская мешалка 18 об/мин (потребление 0,55 кВт/час) и импортная мешалка 18 об/мин (потребление 0,55 кВт/час). Стоимость киловатта в час принята условно 3,5 руб/кВт.ч

- При формировании стоимости замены масла учтен тот фактор, что габарит редуктора мешалки GMS чуть больше, чем мешалки Н.....с. Это связано с установкой более мощного двигателя. Объем необходимого масла на з а м е н у составляет 3,8 и 3,4 литров соответственно [10]. Принято, что замена масла проходит ежегодно (т.е. 10 раз за 10 лет), используется синтетическое масло класса CLP PG со стоимостью 135 руб/литр.

- Расчет произведен при сроке службы мешалки 10 лет, в условиях работы мешалки 24 часа круглогодично, за исключением времени, необходимого для технического обслуживания мешалки: 8400 часов работы в год, 84000 часов работы за весь срок службы.

Результаты расчета представлены в таблице 2

Таблица.2

Сравнительный анализ стоимости жизненного цикла перемешивающих устройств

		Мешалка Микс GMS, Россия, 28 об/мин	Мешалка Микс GMS, Россия 18 об/мин	МешалкаR С....., Германия
1	Сis стоимость приобретения, руб с НДС	420 190	420 190	1468350
2	Сin стоимость монтажа и пусконаладочных работ, в т.ч.	11 308	11 308	47 492
2.1	· Заработная плата одного сотрудника для проведения шеф-монтажа за 8 часов работы, руб	7 500	7 500	21 084
2.1	· Заработная плата механиков за 8 часов работы, руб	3 808	3 808	3 808
2.3	· Расходы на проезд к месту монтажа (до г. Санкт-Петербург), руб	0	0	15 600
2.4	· Расходы по проживанию, руб	0	0	7 000
3	Се стоимость электроэнергии, руб	646 800	161 700	161 700
4	Ст стоимость обслуживания и ремонта, руб в т.ч.	153 210	153 210	280 670
4.1	· Стоимость комплекта ЗИП на 5 лет	110 000	110 000	238 000
4.2	· Заработная плата механиков, 160 часов за 10 лет	38 080	38 080	38 080
4.3	· Стоимость замены масла в течении 10 лет, руб	5130	5130	4590
	Итого, руб	1 231 508	746 408	1 958 212

Выводы:

В результате проведения производственных испытаний мешалки Микс GMS 2000-2,2-28-5000 установлено:

1. Скорость потока, создаваемой мешалкой GMS на 25% выше, чем скорость потока мешалки Н..... объясняется различиями в геометрии рабочих колес, увеличенными отверстиями в лопастях, которые встроены в профиль лопатки, что обеспечивает большую насосную производительность, скорость циркуляции. Различия в геометрии рабочих колес представлены в Приложении 3.
2. Обе мешалки обеспечивают достаточный уровень качества перемешивания, коэффициент вариации не превышает 10%. Критерий профиля концентрации не может быть использован как единственный, т.к. на данный показатель

оказывает влияние не только степень турбулентности в аэротенке, но и реологические характеристики поступающего стока.

3. По энергоэффективности мешалки имеют одинаковые показатели. Двигатель 2,2 кВт установлен на мешалке GMS по причине работы мешалки на более высокой скорости вращения. В случае использования импортной мешалки на такой скорости вращения двигатель 0,55 кВт также подлежал бы замене на более мощный. В Приложении 4 представлена выписка из инструкции мешалки Н.....С, свидетельствующая о необходимости установки двигателя 2,2 кВт при работе мешалки на скорости 28 об/мин.
4. Наиболее существенными факторами в стоимости жизненного цикла перемешивающего устройства является их стоимость приобретения, а также стоимость электроэнергии. По приведенному выше анализу видно, что мешалка 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. Хотя стоит отметить, что при технико-экономическом анализе принято много допущений и его стоит проводить для каждого конкретного случая. Например, стоимость приобретения мешалки Н.....С указана для одной мешалки, если будет поставлена партия, наверняка стоимость импортной мешалки также может быть существенно снижена. Однако стоимость приобретения российской мешалки GMS все равно будет ниже, чем импортной по причине отсутствия таможенных пошлин и платежей, транспортировки из Германии, оплаты посреднических услуг по поставке продукции
5. Контрольные опорожнения аэротенка показали, что в зоне работы мешалки GMS образуется меньше залежей, чем в зоне работы импортной мешалки. Небольшие отложения, которые образуются в зоне работы мешалки GMS связаны с бетонным выступом на дне аэротенка. Благодаря наличию лопастей на внутренней стороне мешалки GMS залежи под ней не образуются.



Рис.2. Фотографии отложений под мешалкой Н.....С (справа) и отсутствия залежей под мешалкой GMS (слева).

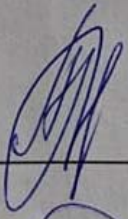
6. В ходе испытаний не отмечено каких-либо отрицательных факторов, влияющих на работу оборудования, перемешивающее устройство находилось в непрерывной работе более одного года, поломок при работе выявлено не было.
7. Применение гиперболической мешалки серии МиксGMS для нужд ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», как оборудования отечественного производства, возможно.

Библиография:

1. ГОСТ 25150—82. Канализация. Термины и определения. М., 1982.
2. Харькина, О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О. В. Харькина. Волгоград : Панорама, 2015. — 433. стр.92.
3. СНиП 2.04.03-85 «КАНАЛИЗАЦИЯ. НАРУЖНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ»
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии 10 изд. — Москва: Альянс, 2004г.
5. DWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M 229-2. Systeme zur Belueftungung and Durchmischung von Belebungsanlagen. Teil 2. Betrieb. Juny, 2016.
6. Стоимость жизненного цикла насоса (LCC): руководство по анализу LCC насосных систем.-М.: Издательство ООО «Софтком», 2010 г.
7. Ситуация на рынке труда Санкт-Петербурга и Ленинградской области с рабочим персоналом <https://spb.hh.ru/article/20040?>
8. Инструкция по монтажу и эксплуатации перемешивающего устройства ~~журнал «СЗХМ»~~
9. Руководство по эксплуатации миксера электрического серии Микс GMS PЭ 28.99.39-214-09706470-2017, ЗАО Астерион
10. Инструкция по монтажу и эксплуатации редукторов серии F...7, ф. SewEurodrive.

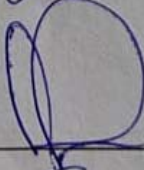
Разработано:

Исп. Директор ЗАО «Астерион» _____

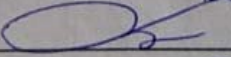

А.Н. Григорьева

Согласовано:

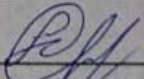
Начальник ТКВ «Север» _____


В.А. Кузьмин

Зам начальника ТКВ «Север» _____


О.А. Ломинога

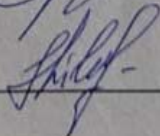
Начальник цеха эксплуатации _____


А.О. Рыжков

КОС и КНС ТКВ «Север» _____

Ведущий инженер-технолог цеха эксплуатации _____

КОС и КНС ТКВ «Север» _____


И.С. Любченко

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Результаты расчета коэффициента вариации (КВ), выполненных по
 «Программе проведения испытаний по тестированию
 гиперболической мешалки МиксGMS 2000-2,2-28-5000 производства ЗАО «Астерион» на канализационных очистных
 сооружениях г. Кронштадт Территориального комплекса водоотведения «Север»

Дата	03/07/17	11/07/17	18/07/17	25/07/17	02/08/17	08/08/17	22/08/17	30/08/17	14/09/17	20/09/17
КВ в зоне работы мешалки GMS, Россия	6,9	6,15	13,11	9,2	5,2	9,09	7,8	9,3	6,3	4,04
КВ в зоне работы мешалки HC, Германия		8,42		9,8		9,17		23,45		4,74

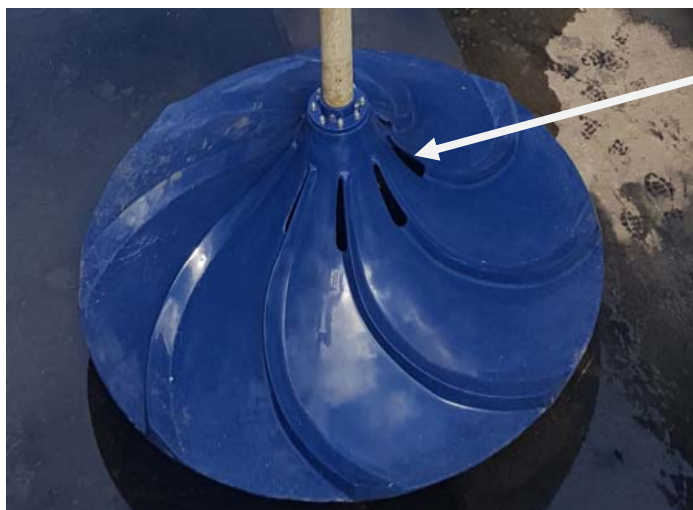
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Фотоматериалы по результатам контрольных опорожнений аэротенков, проведенных по «Программе проведения испытаний по тестированию гиперболической мешалки МиксGMS 2000-2,2-28-5000 производства ЗАО «Астерион» на канализационных очистных сооружениях г. Кронштадт Территориального комплекса водоотведения «Север»



Визуальный осмотр аэротенка вначале испытаний при первом опорожнении в августе 2017г. (слева) и по окончании испытаний в мае 2018 г. (справа)

Сравнительные характеристики геометрии рабочих колес.



Мешалка GMS
оборудована
отверстиями
большого размера,
которые встроены в
лопасть. Таким
образом, существует
принудительная
закачка жидкости,
что способствует
более высокому
насосному эффекту и
эффективной
циркуляции жидкости
в объеме азротенка.



Обратные лопасти
перемешивающего
устройства Микс
GMS для
предотвращения
образования
залежей под



Выписка из инструкции мешалки Н.....С компании

1.5.5 Перемешивающее устройство ~~XXXXXX~~ НXXXXXXSXX® серии 2000

Тип	Диаметр [мм]	Скорость [об/мин]	Номин. мощность [кВт]	Энергопо- требление [кВт]	Перенос энергии [кВт]	Номин. ток [А]
НСМ/2000-18-0,55	2.000	18	0,55	0,6	0,4	1,5
НСМ/2000-20-0,75	2.000	20	0,75	0,8	0,6	2,0
НСМ/2000-22-1,1	2.000	22	1,1	1,0	0,7	2,7
НСМ/2000-24-1,5	2.000	24	1,5	1,2	0,9	3,5
НСМ/2000-26-2,2	2.000	26	2,2	1,8	1,4	4,8
НСМ/2000-28-2,2	2.000	28	2,2	2,0	1,6	4,8
НСМ/2000-30-3,0	2.000	30	3,0	2,4	1,9	6,4
НСМ/2000-32-3,0	2.000	32	3,0	3,1	2,4	6,4

Таблица 1.13: Технические данные перемешивающего устройства ~~XXXXXX~~® серии 2000 (1/3)

Тип	Пусковой ток [А]	Номин. момент [Нм]	Пусковой момент [Нм]	Динам. осе- вое усилие [N]	Макс. глубина резервуара [м]
НСМ/2000-18-0,55	6,0	300	660	950	7,1
НСМ/2000-20-0,75	8,4	370	890	1.200	6,7
НСМ/2000-22-1,1	13,5	490	1.180	1.470	6,3
НСМ/2000-24-1,5	17,5	610	1.470	1.730	6,0
НСМ/2000-26-2,2	25,4	780	2.030	2.250	5,7
НСМ/2000-28-2,2	25,4	760	1.980	2.420	5,5
НСМ/2000-30-3,0	34,6	970	2.530	2.730	5,3
НСМ/2000-32-3,0	34,6	890	2.320	3.230	5,1