

интегрированного скользящего среднего.

1. Карамбиров С. Н. Новые подходы в моделировании и оптимизации трубопроводных систем. Основы, концепции, методы. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 355 с.

2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов: Прогноз и управление; перевод с англ. – М.: Мир, 1974. – Вып. 1. – 406 с.

3. Евдокимов А. Г., Тевяшев А. Д., Дубровский В. В. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженер-

ных сетях. – М.: Стройиздат, 1990. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 13.05.13.

Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 153-97-66

E-mail: karamba.msuee@mail.ru

Буркова Юлия Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (499) 153-97-66

E-mail: burkova.msuee@mail.ru

Уманский Петр Михайлович, старший преподаватель

Тел. 8 (499) 976-18-69

УДК 502/504:628.1:628.3:631.6

Д. П. ГОСТИЩЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

В. А. ШИРОКОВА, А. О. ХУТОРОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет по землеустройству»

В. И. АКСЁНОВ, И. И. НИЧКОВА

Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

ЗАЩИТА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Загрязнение природных водных объектов происходит за счет сброса в них сточных вод, недостаточно очищенных или вообще без очистки. Авторами предложены мероприятия по повторному использованию сточных вод в системе замкнутого водоснабжения и подаче их в оросительную систему, сокращению затрат воды на единицу продукции, по снижению потерь воды при транспортировке.

Водопользование, водоснабжение, сточные воды, содержание НПК в сточных водах, экономические потери, водоподготовка, замкнутое водоснабжение, орошение.

Pollution of natural water bodies occurs due to the sewage discharge into them, insufficiently treated or non-treated at all. The authors propose measures on the sewage reuse in the closed system of water supply and its delivery into the irrigation system, reduction of water consumption per a unit of product, decreasing of water losses during transportation.

Water use, water supply, sewage, NPK content in waste water, economic losses, water preparation, closed water supply, irrigation

По данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации, объем использования свежей воды в 2009

году составил 57 677 млн м³, или 60 % от забора 1990 года, объем оборотной и повторно используемой воды – 170 563 млн м³,

или 80 % от забора 1990 года, сброс загрязненных сточных вод в водные объекты по отношению к 1990 году снизился до 57 % (15 854 млн м³). Сброс сточных вод наносит огромный ущерб флоре и фауне водных источников, здоровью населения [1].

Восстановление экологического равновесия между природой и антропогенным воздействием человека возможно по следующим направлениям:

- снижение объема водозабора за счет внедрения водосберегающих технологий;
- сокращение потерь воды при транспортировке;

увеличение мощности водооборотных систем водоснабжения;

использование сточных вод на орошение;

повышение степени очистки сточных вод перед сбросом в водоприемник.

На рисунке приведена схема забора воды из водоисточника, водопользования, очистки сточных вод на сооружениях по механической и биологической очистке и возможных вариантов утилизации с использованием их в виде водооборотного водоснабжения, по доочистке почвенным методом на оросительных системах и сбросу в открытые водные источники.

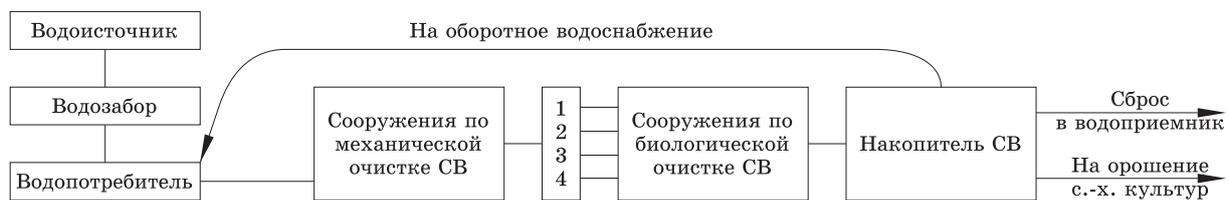


Схема забора, подготовки и варианты утилизации (сброса) сточных вод: 1...4 – секционные отстойники

При механической очистке из сточных вод удаляются загрязнения, находящиеся в нерастворенном виде и частично в коллоидном состоянии. Крупные частицы (тряпки, бумага, остатки овощей и фруктов) задерживаются решетками, другие, находящиеся во взвешенном состоянии, задерживаются с помощью различных сит, устанавливаемых на пути движения сточных вод. Задерживаемые механические отбросы направляются в решетки-дробилки [2].

Загрязнения (песок, шлак и др.), удельный вес которых выше удельного веса воды, осаждаются в песколовках. Песок из них в виде пульпы направляется на песковые площадки, где обезвоживается и периодически удаляется.

Основная масса органических загрязнений, находящаяся во взвешенном состоянии, выделяется из сточных вод в отстойниках. Загрязнители, удельный вес которых больше удельного веса воды, с течением времени выпадают на дно отстойника, более легкие – жиры, смола, нефть, масло – всплывают на поверхность, после чего их отделяют от сточных вод.

Сооружения биологической очистки

городских сточных вод можно подразделить на два основных типа.

К первому типу относятся поля фильтрации и биологические пруды. Сточные воды очищаются в них медленно за счет кислорода в почве и воде, а также вследствие жизнедеятельности микроорганизмов, солнечной радиации.

Ко второму типу сооружений относятся биологические фильтры и аэротенки. В них искусственно создаются условия, при которых процессы очистки сточных вод идут значительно интенсивнее.

В процессе очистки сточных вод в сооружениях механической и биологической очистки скапливаются большие массы осадка. Осадок из первичных отстойников подвержен гниению, его нельзя использовать без предварительной обработки. Поэтому в комплексе очистных сооружений предусматривают специальные сооружения для обработки осадка. К ним относятся септики: двухъярусные отстойники и осветлители-перегниватели, метантенки, в которых осадок только перегнивает, так как ил подсушивают на иловых площадках. В последнее время осадок обезвоживают

механическим способом на вакуум-фильтрах, а затем применяют термическую сушку и центрифугирование.

При использовании сточных вод для орошения в почву поступают N, P, K (таблица) [2].

Внесение питательных веществ в почву с оросительной нормой сточных вод 3000 м³/га

Вид сточных вод		Содержание в сточной воде, мг/л				Вносится в почву, кг/га / в стандартных туках, ц/га			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca
Хозяйственно-бытовые		50	10	17	76	150/7,5	30/1,5	60/2	230/3
Заводов	сахарных	65	5	70	150	195/10	15/1	210/5	540/8
	крахмальных	100	30	150	80	300/15	90/4,5	450/11	240/3,5
	крахмало-паточных	130	45	110	70	390/19	135/7	330/8	210/3
	гидролизных	340	35	65	250	1020/50	105/5	195/5	750/11
	биохимических	180	15	70	320	540/27	75/4	210/5	960/14

Механическая очистка служит для извлечения из сточных вод в основном минеральных загрязнений. С этой целью применяют процеживание, отстаивание, осветление в гидроциклонах и фильтрование. Биохимическая очистка следует за механической и служит для извлечения органических загрязнений.

К физико-химическим методам очистки относятся: сорбция, экстракция, эванорация, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен, кристаллизация и др.

Россия – одно из богатейших государств планеты по запасам пресных вод, суммарный объем которых составляет около 60 тыс. км³. Доступными для использования населением и объектами хозяйственного комплекса страны являются ежегодно возобновляемые водные ресурсы рек, подземные воды верхних водоносных горизонтов. По объему речного стока, составляющему 4275 км³ в год, Россия занимает второе место в мире. Однако водные ресурсы распределены по территории страны крайне неравномерно: свыше 71 % объема речного стока приходится на районы Сибири и Дальнего Востока; на районы южного склона Европейской России, где сосредоточено до 80 % населения и производственного потенциала, приходится лишь 8 % речного стока [3].

Основной потребитель воды – промышленность – 40 км³, в том числе энергетический комплекс – 31 км³, жилищно-коммунальное хозяйство – 14 км³. Сельское хозяйство потребляет 13 км³, из них на орошение расходуется 9 км³.

Опыт показывает, что задача охраны водных ресурсов и окружающей среды от загрязнения сточными водами и животноводческим стоком (ЖС) не может быть решена путем строительства только индустриальных очистных сооружений, в которых степень очистки в среднем составляет 80...85 %. Такие сооружения не обеспечивают защиты водоисточников от загрязнения сточными водами, из-за чего вода, используемая для питьевого водоснабжения, недостаточно очищается, создавая серьезную опасность для здоровья населения.

Почвенный метод доочистки сточных вод в значительно большей степени обеспечивает степень поглощения и переработки органических и минеральных загрязнителей, содержащихся в них, за счет почвенной микрофлоры, солнечной радиации и усвоения корнями растений, самоочищения почвы от патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. Решающую роль приобретают экономически и экологически оправданные методы первичной подготовки сточных вод, ЖС с последующим использованием их на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО) при выращивании кормовых культур [3].

В 1994 году со сточными водами в водоемы сброшено загрязняющих веществ, тыс. т: нефтепродуктов – 14,4; взвешенных веществ – 895,6; фосфора общего – 44,9; азота аммонийного – 129,3; фенола – 0,1; СПАВ – 4,9; соединений меди – 0,3; железа – 40,9; цинка – 1,1. В этих загрязнениях существенна доля смыва с площади водосборов, а также при авариях [4].

Несмотря на уменьшение сброса сточных вод в 1991–1992 годах, ухудшается качество воды открытых водоемов, увеличивается число контрольных створов с высоким уровнем загрязнения воды – более 10 ПДК и число случаев экстремально высокого загрязнения – свыше 100 ПДК. Проблема сокращения сброса загрязненных сточных вод является первоочередной для 26, а улучшения гидрохимического состояния водоемов

– для 29 регионов России. Основные реки – Волга, Дон, Кубань, Обь, Енисей, Печора, Лена – оцениваются как загрязненные, а их крупные притоки – Ока, Кама, Томь, Иртыш, Тобол, Миасс, Тура, а также река Урал – сильнозагрязненные. Особенно неблагоприятно состояние многих малых рек из-за загрязнений от продуктов водной эрозии в зонах водосбора и водоохраных зонах [4].

Загрязнение водоемов и плохое техническое состояние водохозяйственных фондов наносит стране ежегодный ущерб в размере 5,5 трлн р. (уровень 1994 года). Социально-экономический ущерб проявляется в увеличении затрат на водоподготовку (в 1,5–2,5 раза), здравоохранение и социальное обеспечение (рост заболеваемости), восстановление водных объектов в рекреационных целях [1].

Один из путей решения задачи утилизации сточных вод – уменьшение загрязнения за счет повышения качества очистки сбрасываемых в них сточных вод. Кроме того, актуальна проблема обезвреживания образующихся при очистке до 80 млн м³ в год осадков городских сточных вод. Использование осадков в качестве удобрений не превышает 1,2...1,5 % их объема.

Санитарное благоустройство получило развитие в Древней Греции, а затем в Древнем Риме, где в I веке до нашей эры имелись водопровод, закрытые трубопроводы для отвода жидких нечистот и дождевых вод, а также поля орошения и фильтрации – прообразы канализации и очистных сооружений [3, 5, 6].

Многолетний опыт использования животноводческих стоков для орошения кормовых культур показал их высокую эффективность. Урожай таких растений по сравнению с урожаем на богаре возрастает в 2-3 раза и более. Особенно эффективно данное мероприятие в Центрально-Черноземном, Поволжском, Северо-Кавказском и Западно-Сибирском регионах.

По экспериментальным данным, орошение многолетних трав животноводческими сточными водами в течение 11 лет обеспечило повышение плодородия почвы: содержание гумуса увеличилось в среднем на 15 %, степень насыщенности основаниями возросла на 3...7 %, количество калия и фосфора увеличилось в 2–3 раза, повысилось содержание марганца, меди, никеля [7, 8].

Орошение животноводческим стоком повышает качество многолетних трав. Так, в злаковом травостое на дерново-подзолистых

почвах возрастает содержание сырого протеина в 1,5 раза, общее количество аминокислот – в 1,4, калия – в 1,7, фосфора – в 1,1 раза [7, 8].

Расчеты показывают, что для обеспечения орошения на площади 12 млн га сельскохозяйственных угодий потребуется 24...30 км³ природной воды [4]. Прогнозная оценка такова: объем сточных вод жилищно-коммунального хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности, пригодных для орошения, животноводческих стоков составляет более 17 км³. Целесообразно значительную часть их объема использовать на орошение.

Во многих странах Восточной Азии и западной части Океании практика внесения экскрементов и нечистот в почву позволяет уже более четырех тысяч лет сохранять ее плодородие и остается основным способом их обезвреживания [4].

Почвенный метод обезвреживания нечистот и сточных вод по мере развития промышленности и градостроительства оставался единственным до конца XIX века. Известно организованное использование сточных вод в сельском хозяйстве с 1559 года в городе Бунплан в Германии. В 1879 году часть сточных вод города Эдинбурга в Англии была направлена на Крайгентинские поля, благодаря чему за короткий срок поля с бесплодными песками превратились в плодородный луг, обеспечивающий урожай зеленой массы трав 109 т/га. Несмотря на преобладание промышленных методов очистки сточных вод, поля орошения сохранились спустя 80–90 лет после их создания (например, в городах Мельбурн в Австралии, Мехико в Мексике).

В Москве и других городах России в допетровские времена было организовано удаление нечистот и отходов. Аптекарский приказ 1620 года помог осуществить не только медицинскую помощь населению, но и провести санитарные мероприятия по оздоровлению обстановки населенных мест. При Петре I полиции было поручено следить за уборкой улиц, вести борьбу с засорением каналов и рек. С открытием в 1764 году при Московском университете медицинского факультета предпринималась попытка организации систематического контроля за состоянием внешней среды, особенно воды.

Среди первых специалистов по очистке городов от нечистот, оздоровлению окружающей среды можно назвать гигиениста

Шафонского (1740–1811), ученого и врача Дядьковского (1784–1841) и других, но приоритет по созданию фундаментальных основ научной гигиены и ее развитию принадлежит А. П. Доброславинову (1842–1889) и Ф. Ф. Эрисману (1842–1915). Во второй половине XIX века обязательным стало преподавание гигиены на медицинских факультетах, стали создаваться первые гигиенические лаборатории [4, 6, 8–11].

Определение загрязнения почв города Петербурга А. П. Доброславин основывал на их химическом состоянии, в частности по содержанию аммиака. Руководитель кафедры гигиены Московского университета Ф. Ф. Эрисман в 1891 году для санитарного надзора создал Московскую городскую санитарную станцию. Весьма важным является мнение Ф. Ф. Эрисмана о гигиеническом значении почвы, в том числе полей орошения, для профилактики инфекционных заболеваний. Еще в 1875 году он писал, что «влияние полей орошения на распространение брюшного тифа, холеры или других заболеваний фактически не наблюдалось, а если оно подозревалось, то при тщательном изучении всегда опровергалось» [4, 6, 9–12].

В те же годы В. Р. Вильямс разработал основные принципы организации земледельческих полей орошения для Москвы и дал анализ их работы в связи с запросами сельского хозяйства. В 1912 году В. Р. Вильямс отмечал, что высокий уровень урожайности на полях орошения – это объективный показатель хорошей очистки сточных вод, так как культурные растения требуют условий жизни, аналогичных для микроорганизмов, обезвреживающих сточные воды.

При советской власти развитие полей орошения шло за счет создания мелиоративных товариществ землепользователей – Темниковского, Люберецкого и Подосиновского в Московской области. В 1933–1937 годах были построены поля орошения под городами Магнитогорском и Харьковом [6, 7, 12].

В большинстве развитых стран мира за последние 10–15 лет четко прослеживается тенденция создания замкнутых систем водоснабжения (ЗСВ) предприятий. Сегодня применение таких систем является одним из рациональных решений задачи обеспечения промышленности водой. Началом перехода к созданию замкнутых систем водоснабжения послужил Всемирный конгресс энергетиков в

Австралии в 1993 году, на котором внедрение этих систем (по зарубежной терминологии – предприятий с нулевым сбросом стоков) было признано единственным путем реконструкции водного хозяйства в промышленности [12, 13].

В нашей стране накоплен богатый опыт создания и эксплуатации замкнутых систем водоснабжения. Первая в мире система крупного металлургического предприятия была введена в эксплуатацию на Верх-Исетском металлургическом заводе (Екатеринбург) в 1973 году. Такая система успешно работает и в настоящее время. В последующие годы на территории бывшего СССР было сооружено более 350 замкнутых систем водоснабжения на предприятиях различных отраслей промышленности.

Замкнутая система водоснабжения промышленного предприятия представляет собой химико-технологический комплекс (цех) по производству чистой воды внутри предприятия. Это неотъемлемая и одна из главных составных частей любого безотходного производства.

Технологические схемы обработки сточных вод и осадков в замкнутых системах водоснабжения весьма разнообразны и зависят от многих факторов: характеристик сточных вод, возможностей предприятия использовать очищенную воду того или иного состава, возможности утилизации концентратов и осадков на самом предприятии или рядом расположенных и т. д. Распространенная технологическая схема обработки промышленных стоков различного состава включает следующие узлы: усреднения – накопления сточных вод с использованием интенсивного перемешивания воздухом безреагентной и реагентной (химической, физико-химической, физической, биотехнологической) обработки сточных вод с разрушением токсичных и выделением в виде взвеси вредных (агрессивных) примесей; хлопьеобразования (флокуляции) – для интенсификации процесса удаления взвеси из стока; осветления (отстаивания) – обработанных сточных вод в скоростных (тонкослойных) отстойниках; доочистки осветленной воды на зернистых фильтрах с использованием местных фильтрующих материалов – отходов производства типа шлаков.

Подобные схемы внедрены на Верх-

Исетском металлургическом, Кыштымском медеэлектролитном заводах и других предприятиях. Представленная технологическая цепочка узлов (с возможными дополнениями) – это основа системы водного хозяйства промышленного предприятия. В этих схемах к наиболее значимым узлам относятся блок обессоливания (выпарная установка), блоки обработки осадков – механической (обезвоживание) и термической (сушка, прокалка). Они позволяют получить замкнутые системы очистки и повторного использования промышленных сточных вод, обеспечивающие значительную экономию свежей воды при снижении ее потребления до уровня безвозвратных потерь, утилизацию выделяемых из стоков загрязнителей (полезное использование, уничтожение либо складирование). В результате можно ликвидировать все сбросы промышленных стоков в окружающую среду.

Важно, что появление установок малой и средней производительности, оснащенных надежными и эффективными системами автоматического управления, позволило изменить подходы к созданию замкнутых систем водоснабжения и вместо крупных комплексов создавать локальные замкнутые системы водоснабжения (ЛЗСВ), включаемые в состав отдельных производственно-технологических установок. Переход к созданию локальных замкнутых систем водоснабжения дает ряд существенных преимуществ:

при переработке сточных вод отдельной технологической установки образующийся концентрат не является смесью многочисленных загрязнителей, поэтому, как правило, может быть утилизирован или возвращен в технологический процесс. Например, концентрат, образовавшийся при переработке промывных вод хромирования, может возвращаться в ванну нанесения гальванопокрытия;

образующийся при переработке сточных вод дисцилят представляет собой особо чистую воду и при возвращении в технологический процесс, как правило, повышает качество основной продукции (например, переход на промывку дисцилятом после травления или обезжиривания значительно повышает качество гальванических или лакокрасочных покрытий);

поэтапное исключение из общезаводских сточных вод их части, обрабатываемой на локальных замкнутых системах водоснабжения, повышает эффективность общезаводских очистных сооружений и значительно снижает экологическую нагрузку на окружающую среду;

создание локальных замкнутых систем водоснабжения не требует значительных временных и капитальных затрат (как правило, такие системы удается разместить на существующих производственных площадях), что повышает экологическую эффективность.

В настоящее время лидерство в создании замкнутых систем водоснабжения российскими компаниями утеряно, особенно это касается локальных замкнутых систем. Очевидно, причина такого положения объясняется отсутствием экономических стимулов, которые необходимо срочно разработать и внедрить.

1. О состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2009 году: Государственный доклад. – М.: НИА «Природа», 2010. – 288 с.

2. Гостищев Д. П., Кастрикина Н. Н. Использование СВ для орошения сельскохозяйственных культур. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 48 с.

3. Сельскохозяйственное использование сточных вод: справочник / Л. П. Овцов [и др.]. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 223 с.

4. Концепция мелиораций сельскохозяйственных земель в России / Г. А. Романенко [и др.]. – М.: МГУП, 2005. – 70 с.

5. Овцов Л. П., Кутепов Л. Е., Мишин С. И. Агроэкологические основы орошения сточными водами. – Королев: ООО «Витапресс Графикс», 1997. – 167 с.

6. О состоянии окружающей среды: Государственный доклад. – М.: НИА «Природа», 1995 – 339 с.

7. Орлов В. П. Земледельческие поля орошения. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 143 с.

8. Сергиенко Л. И. Использование сточных вод завода органического синтеза для орошения в зоне светло-каштановых солонцеватых почв Волгоградского Заволжья: автореф. дис... канд. с. – х. наук. – М.: МГУП, 1974.

9. Водное хозяйство промышленных

предприятий: Справочное издание / В. И. Аксенов [и др.]. – М.: Теплотехник, 2007. – Кн. 4. – 240 с.

10. Аксенов В. И. Замкнутые системы водного хозяйства металлургических предприятий. – М.: Металлургия, 1983. – 88 с.

11. Аксенов В. И., Балакирев В. Ф., Филиппенков А. А. Проблемы водного хозяйства металлургических, машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 267 с.

12. Мишустин Е. Н., Перцовская М. И., Горбов В. А. Санитарная микробиология почвы. – М.: Наука, 1979. – 304 с.

13. Кутепов Л. Е. Состояние вопроса почвенной очистки СВ // Почвоведение.

– 1968. – № 11. – С. 57–69.

Материал поступил в редакцию 23.10.13.

Гостищев Дмитрий Петрович, доктор технических наук

Тел. 8-916-279-46-65

E-mail: gostishchev46@mail.ru

Широкова Вера Александровна, доктор географических наук

Тел. 8-916-917-81-97

E-mail: shirocova@gmail.com

Хуторова Алла Олеговна, кандидат географических наук

Тел. 8-926-560-40-04

E-mail: hutorova.alla@mail.ru

Аксёнов Валентин Иванович, кандидат технических наук

Ничкова Ирина Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук

УДК 502/504:628.12:001.5

Д. С. БЕГЛЯРОВ, Д. Т. БАУТДИНОВ, А. И. ПОПОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

Д. М. ГРЕКОВ

ОАО «Институт Гидропроект», Москва

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ДОПУСТИМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ УДАРЕ

Приведены результаты исследований переходных процессов и напряжений на напорный трубопровод. В качестве средства для снижения давления в напорных трубопроводах применяется стабилизатор давления.

Напорные системы, переходные процессы, пульсация давления, гидравлический удар, стабилизатор давления.

There are given investigation results transients study and stresses on the pressure pipeline. As a means for pressure reduction in pressure pipelines a pressure stabilizer is used.

Pressure systems, transients, pressure pulsation, hydraulic impact, pressure stabilizer.

Большая степень износа трубопроводов и оборудования, недостаточный уровень технической оснащённости трубопроводных систем приводят к повышенной аварийности и значительным затратам на ремонт. В этих условиях все большее внимание уделяется поиску путей и принятию мер с целью повыше-

ния безопасности объектов трубопроводной инфраструктуры. Для нормальной работы гидросистем в штатном режиме (расчетном давлении) определяют прочностные показатели труб и оборудования. Такие показатели рассчитывают на максимальное рабочее давление с учетом его значений при переходных, нештатных