

ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК [621.643.8:504.05](476)

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

П.Н. КАРПЕНКО, П.П. ПАВЛОВСКИЙ

(Представлено: д-р техн. наук, проф. В.К. ЛИПСКИЙ)

Рассматриваются возможные сценарии развития аварийного разлива нефти на магистральном нефтепроводе. Показаны все стадии, процессы и параметры процессов, происходящие от момента разгерметизации трубопровода до момента загрязнения окружающей среды самой нефтью либо продуктами горения.

Нефть при попадании на кожный покров человека оказывает раздражающее действие, губительно воздействует на растительный покров, а также на животный мир. При попадании в организм человека и животных нефть вызывает различные заболевания внутренних органов. Пары нефти, попадая в организм человека, вызывают различные респираторные заболевания. Кроме того, нефть и её пары пожароопасные, разливы и утечки при небрежном обращении с огнем могут вызвать локальные пожары. Применяемые в различных технологических процессах химические реагенты усиливают токсичность окружающей среды. Источниками образования токсичных компонентов в технологиях добычи нефти могут быть различные утечки на местах приготовления компонентов химических реагентов к закачке их в пласт или употребления в технологических операциях.

Загрязнение почвы и водных объектов нефтью при аварийном разливе нефти на магистральном нефтепроводе создаёт проблемную ситуацию как для предприятий магистрального трубопроводного транспорта нефти, так и для территорий, где проходят магистральные нефтепроводы.

Необходимо отметить, что это слабоструктурированная проблема и её решение не могут быть однозначными, поскольку постановка проблемы не всегда может быть определена полностью.

Пагубное влияние попадающей в воду нефти на природу проявляется в следующем: при концентрации нефтепродуктов более 0,05 мг/л вкусовые качества воды сильно падают, рыба приобретает неприятный и неустраняемый привкус, а при концентрации свыше 0,5 мг/л – гибнет. Одна тонна нефти образует на поверхности воды пленку площадью 12 км², затрудняющую поступление в воду кислорода. Это приводит к массовой гибели рыбы и водоплавающей птицы. Опасность для флоры и фауны может представлять не только сама нефть, но и поверхностно-активные вещества, которые используют для борьбы с нефтью.

Известно, что 1 л нефти загрязняет 1000 м³ воды, что обусловлено присутствием в ней природных поверхностно-активных веществ, с помощью которых образуются стабильные нефтеводные эмульсии. Даже по неполным данным установлено, что в открытые водные объекты ежегодно поступает более 5 млн. тонн нефти и нефтепродуктов, около 55 млн. тонн минеральных солей, в том числе 100 тыс. тонн нитратов, 70–90 тыс. тонн фенолов.

Ежегодно в окружающую среду выбрасывается более 3 млрд. тонн твердых отходов, 500 км³ сточных вод и около 1 млрд. тонн аэрозолей. В этих отходах насчитывается более 800 веществ, однако нефть и нефтепродукты доминируют. Необходимо отметить, что на всех этапах добычи и транспортировки нефти ежегодно теряется более 45 млн. тонн (на суше – 22 млн. тонн, на море – 7 млн. тонн, в атмосферу в виде продуктов неполного сгорания топлива поступает 16 млн. тонн).

Весьма значительные потери нефти произошли при разрывах труб нефтепроводов по целому металлу, вызванных различными механическими повреждениями, наездом техники. Самый большой разлив нефти за исследуемый период произошел в результате аварии, из-за нарушения требований «Строительных норм и правил» в 1985 году в НГДУ «Самотлор-нефть». Количество разлитой нефти составило 12000 т, а площадь залитых при этом земель оказалась равной 15 га.

Аварии и ликвидация их последствий оцениваются огромными суммами. К примеру, «Коминель» для ликвидации последствий разлива нефти потребовался кредит в 124 млн. долларов.

Существуют два направления, а точнее, два этапа минимизации последствий загрязнения: снижение аварийности магистральных нефтепроводов за счёт повышения надёжности трубопроводов и обес-

печение эффективной защиты почвы и водных объектов от загрязнения нефтью при авариях на магистральных нефтепроводах.

Как показывает мировой опыт, невозможно создать абсолютно надёжное оборудование и обеспечить абсолютную безопасность при его эксплуатации. Промышленные аварии на магистральных нефтепроводах неизбежны, и вероятность аварий существует всегда.

Разработка другого направления – обеспечение защиты почвы и водных объектов при аварийных разливах нефти на магистральном нефтепроводе – является актуальной. Однако невозможно защитить всю территорию, по которой проходит магистральный нефтепровод, так как это экономически не выгодно и невозможно предугадать, где произойдёт аварийный разлив нефти. Очевидно, что два указанных направления не являются взаимоисключающими, а дополняют друг друга. Добиться максимальной минимизации последствий загрязнения можно, работая по этим двум направлениям.

На рисунке приведена схема развития аварийного разлива нефти на магистральном нефтепроводе, на которой указаны все возможные стадии движения нефти и сопровождающие их физические процессы от места истечения через отверстие в аварийной трубе до места её извлечения из почвы и водных объектов.

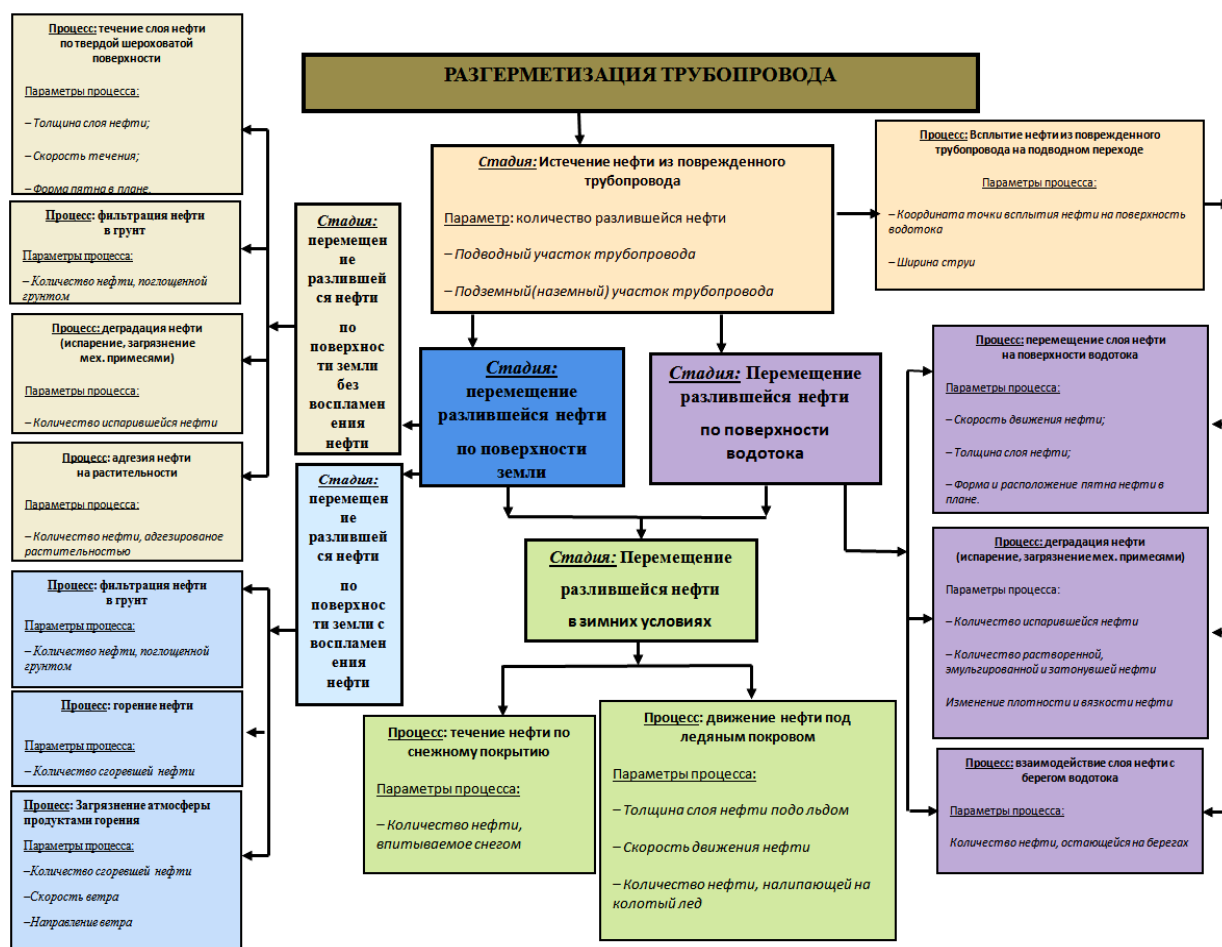


Схема развития аварийного разлива нефти

Необходимо еще раз подчеркнуть, что приведенное разделение явления развития аварийного разлива нефти на стадии и сопровождающие их физические процессы, с одной стороны, позволяет выявить факторы, влияющие на экологические последствия аварийного разлива нефти; с другой – служит основанием для обоснования выбора технологий и технических средств, предназначенных для защиты водных объектов при аварийном разливе нефти на магистральных нефтепроводах.

На данный момент разработано несколько оригинальных способов удаления нефти с поверхности воды. Оригинальный способ очистки продемонстрирован американскими учеными в Атлантическом океане. Под нефтяную пленку на определенную глубину опускается керамическая пластинка. К ней подсоединяется акустическая пластинка. Под действием вибрации нефть сначала скапливается толстым слоем над местом, где установлена пластинка, а затем смешивается с водой и начинает фонтанировать. Электрический ток, подведенный к пластинке, поджигает фонтан, и нефть полностью сгорает.

Для удаления с поверхности прибрежных вод пятен масел американские ученые создали модификацию полипропилена, притягивающего жировые частицы. На катере-катамаране между корпусами поместили своеобразную штору из этого материала, концы которой свисают в воду. Как только катер попадает на пятно, нефть прочно прилипает к «шторе». Остается лишь пропустить полимер через валики специального устройства, которое отжимает нефть в приготовленную емкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/>
2. Аварии и несчастные случаи в нефтяной и газовой промышленности России / под ред. Ю.А. Дадонова, В.Я. Киршенбаума. – М.: Технонефтегаз, 2001.
3. Бородавкин, П.П. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов / П.П. Бородавкин, Б.И. Ким. – М.: Недра, 1986.
4. Магданов, А.Р. На страже экологической безопасности // А.Р. Магданов. – Трубопроводный транспорт нефти, 2003.

УДК [621.643.8:504.05](476)

СЕГМЕНТИРОВАНИЕ ТРАССЫ НЕФТЕПРОВОДА С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

П.П. ПАВЛОВСКИЙ, П.Н. КАРПЕНКО

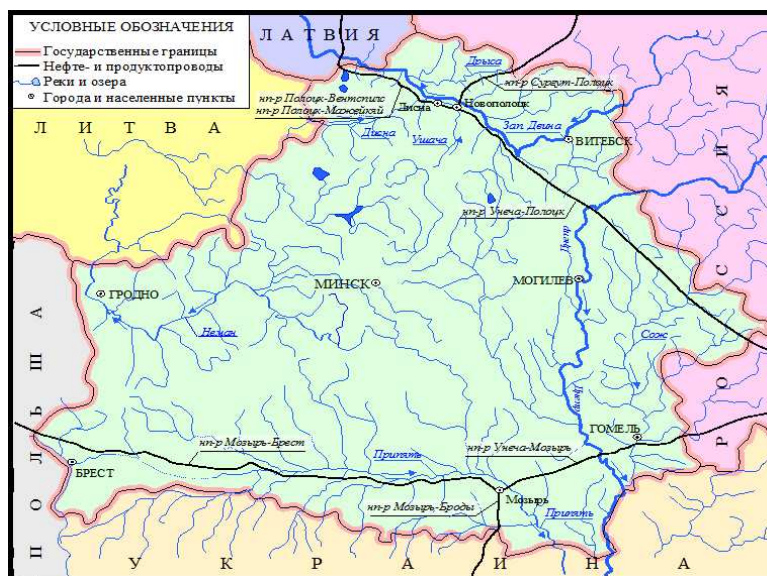
(Представлено: д-р техн. наук, проф. В.К. ЛИПСКИЙ)

Обосновывается необходимость разбиения трассы нефтепровода на участки с целью разработки планов по ликвидации аварий для каждого из них. Предложен метод сегментирования по принадлежности участка к водосборному бассейну реки, на территории которого он проходит.

Одним из часто встречающихся видов техногенных чрезвычайных ситуаций являются разливы нефти при авариях на нефтепроводах.

Это обусловлено наличием большого количества нефтепроводов: магистральных, промысловых, внутризаводских, причем многие построены 30–40 лет назад и сильно изношены.

Общая протяженность трасс нефте-и-нефтепродуктопроводов в Республики Беларусь составляет более 4 тыс. км. Расположение трасс магистральных нефтепроводов Беларуси представлено на рисунке. Увеличение протяженности трасс трубопроводов, строительство трубопроводов в районах, где природная среда особенно чувствительна к вредному воздействию, а также увеличение сроков нахождения трубопроводов в эксплуатации повышает их экологическую опасность.



Расположение трасс магистральных нефтепроводов Беларуси

Аварии на линейной части нефтепроводов с разливом нефти могут создать опасность загрязнения окружающей среды как в Республике Беларусь, так и странах Балтийского и Черноморского региона.

Поэтому проблема защиты окружающей среды от нефтяных загрязнений для Республики Беларусь является весьма актуальной.

Объекты, на которых может произойти розлив нефти, имеют значительные различия. Условно их можно разделить на площадочные, линейно-протяженные и передвижные.

В случае аварийного разлива нефти (АРН) на объектах площадочного типа экологический ущерб минимален, так как авария происходит на ограниченном участке, который разбит на зоны. Для каждой зоны имеется свой план ликвидации аварии, поэтому устранение происходит в кратчайшие сроки.

Абсолютно другая ситуация происходит при аварии на линейно-протяженных объектах. Аварийный разлив может произойти в любой точке линейной части нефтепровода, нефть растечется по суше и затем, в силу особенностей рельефа, может попасть в реки.

Заранее предугадать точное место, время и масштабы разливов нефти невозможно. Однако в целях обеспечения эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов разработан и утвержден комплекс нормативных документов, регламентирующий деятельность всех предприятий, осуществляющих добычу, транспортировку, переработку и реализацию нефти и нефтепродуктов.

В число таких мероприятий входит обязательная разработка предприятиями планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Современная практика борьбы с нефтяными загрязнениями накопила опыт в этой области: имеются технические средства для локализации и ликвидации экологических последствий аварий, структурные подразделения предприятия задачей которых является борьба с нефтяными загрязнениями и т.д.

Для планирования действий по предотвращению и ликвидации возможных аварийных разливов необходимо уметь прогнозировать их последствия.

Однако существует объективная проблема – разработка единого плана по ликвидации аварии на всей протяженности трубопровода невозможна, так как геоландшафтная ситуация на отдельных участках различна. Поэтому возникает необходимость в делении трассы нефтепровода на участки. Наиболее рациональным является деление трассы по принадлежности к водосборному бассейну водотока, по территории которого проходит трасса.

Этот выбор обоснован тем, что границы площадей водосборных бассейнов являются естественными и жесткими границами распространения нефти по рельефу.

Точки пересечения линии трассы с границами водосборных бассейнов водных объектов («водораздельные точки») являются естественными границами участков трассы, на которые она сегментируется.

Так как нефть, разлившаяся из любой точки трассы, расположенной на этом участке, не может перемещаться за границы этого участка, то участки являются автономными. *Вся трасса магистрального нефтепровода (МНП) представляет собой последовательность таких автономных участков.*

Главным признаком, по которому определяются границы каждого участка, является то, что на данном участке, в случае аварии в любой точке трубопровода, миграция нефти от места аварии в русло большой реки в конечном итоге будет происходить по одной траектории, привязанной к поперечному водотоку. Границами участков будут точки пересечения трассы с водораздельными линиями бассейнов двух соседних поперечных водотоков.

Разбиение трассы на участки производится поэтапно. Путем рассмотрения геодезического профиля трассы и ситуационного плана выявляются поперечные водотоки и водораздельные точки трассы, и проводится предварительное ранжирование поперечных водотоков по величине стока.

Следующим этапом работы является рекогносцировка выявленных опасных участков. Цель рекогносцировки – подробное ознакомление с характером водотоков, выявление характеристик примыкающих к нему рельефов, предварительный выбор сооружений и технических средств по задержанию, локализации и сбору нефти и мест их установки.

Полученные материалы позволяют представить всю трассу нефтепровода в виде совокупности отдельных участков, для каждого из которых можно подготовить сценарий развития аварии и составить **план ликвидации**.

С целью типизации и унификации технологических процессов и технологических средств для ликвидации загрязнения нефтью разработана классификация участков трассы. В качестве основного классификационного признака использован характер водного объекта, к которому примыкает данный участок.

Все водные объекты и болота, пересекающие трассу или расположенные в непосредственной близости от неё, можно разделить на главные реки (по этим рекам возможен трансграничный перенос); притоки главных рек; ручьи, каналы; водоемы со стоящей водой; болота.

Для каждого участка трассы разрабатывается технологическая карта ликвидации загрязнения нефтью (ТКЛЗН), в которой с учетом особенностей местности представлены технологические процессы,

техника и оборудование, которые должны использоваться при аварии на этом участке, планы производства работ, вопросы охраны труда и т.д.

Сегментирование трассы нефтепровода позволяет условно рассматривать нефтепровод как совокупность самостоятельных и независимых опасных производственных объектов. Выявление внутри автономных участков локальных отрезков трассы позволяет осуществлять обоснованный выбор технологических процессов и технических средств, используемых для проведения в конкретных условиях работ по предотвращению загрязнения водных объектов, локализации и сбору разлившейся нефти.

Данный способ сегментирования применим не только к существующим нефтепроводам, но и должен использоваться при разработке планов строительства новых объектов.

Модели для оценки и прогнозирования загрязнений водосборных бассейнов находят применение не только в научных исследованиях, но и в инженерной практике. Развитие природоохранного законодательства и возросшее экологическое сознание общества требуют при освоении территории принимать во внимание не только экономическую целесообразность проектов, но и оценивать их возможное влияние на экологическое состояние водных объектов, на водосборах которых планируется строительство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черняев, В.Д. Ликвидация аварий на подводных переходах / В.Д. Черняев, К.А. Забела // Трубопроводный транспорт нефти. – 1995. – № 3 – С. 6 – 10.
2. Безопасность пересечений трубопроводами водных преград / К.А. Забела, [и др.]; под общ. ред. К.А. Забелы. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 195 с.
3. Чеботарев, А.И. Общая гидрология (вода суши) / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 543 с.

УДК 621.7:621.64(476)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПУТЕМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

М.В. ДРОЗДЕЦКИЙ

(Представлено: А.Н. ЯНУШОНОК)

Представлена общая характеристика магистральных трубопроводов Республики Беларусь. Исследовано их состояние, рассмотрены основные мероприятия по поддержанию прочности трубопроводов, существующие на данный момент. Также предложен новый эффективный способ поддержания прочности трубопроводов методом восстановительной термической обработки.

Проведенный анализ показал, что в Республике Беларусь эксплуатируется в одноконтинентном исчислении 11381,5 км магистральных трубопроводов. Из них 66,5 % (7490 км) – магистральные газопроводы, 6,9 % (781,5 км) – магистральные нефтепродуктопроводы, 26,6 % (2996,5 км) – магистральные нефтепроводы. Пик их сооружения пришелся на начало семидесятых годов, что определило возрастную структуру современной системы (рис. 1).

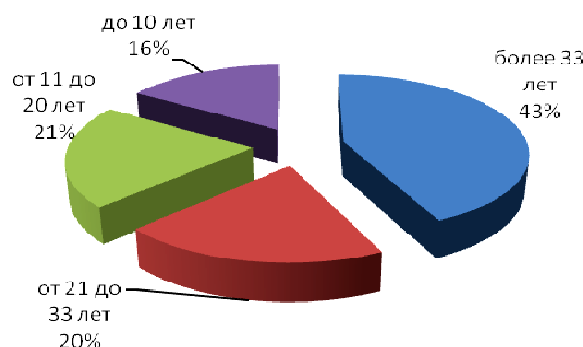


Рис. 1. Возрастная структура магистральных трубопроводов Республики Беларусь

Установлено, что 80 % эксплуатируемых в Республике Беларусь магистральных трубопроводов, транспортирующих жидкие углеводороды, и более 25 % магистральных газопроводов работают за пре-

делами расчетного ресурса. Еще 25 % магистральных газопроводов вплотную подошли к данному возрасту. При этом часть магистральных трубопроводов построены в начале 60-х годов XX века и срок их эксплуатации приближается к 50 годам. Таким образом, характерной чертой эксплуатируемой системы транспорта углеводородов является ее прогрессирующее старение, что увеличивает вероятность аварии и требует оценки фактического состояния металла труб с целью обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации.

Наиболее характерной особенностью проявления старения трубных сталей является снижение ударной вязкости металла, в значительной мере определяющей надежность магистральных трубопроводов. Качественные зависимости указанного снижения практически одинаковы для основных отечественных трубных сталей: через 30 лет эксплуатации ударная вязкость снижается в 3–5 раз и ее значения могут оказаться ниже требуемого уровня установленного СНиП 2.05.06. При этом указанные изменения наиболее существенны для металла сварных соединений. Из-за значительного снижения уровня ударной вязкости увеличивается потенциальная возможность возникновения и роста трещин, а, следовательно, возрастает вероятность аварийного разрушения.

В настоящее время основными мероприятиями по поддержанию прочностной надежности линейной части магистральных трубопроводов являются: испытания повышенным давлением, выборочный ремонт по результатам диагностических обследований и замена существующих трубопроводов. Однако каждый из перечисленных методов имеет ряд существенных недостатков. Кроме того, применение данных методов не позволяет решить проблему сохранения надежности магистральных трубопроводов исходя из критерия поддержания требуемого уровня значений ударной вязкости, а тотальная замена линейной части требует, значительных капиталовложений и не всегда целесообразна.

Для определения технологических параметров (время и температура) восстановительной термической обработки магистральных трубопроводов, подвергшихся длительной эксплуатации, были изготовлены образцы размером 55×10×2 мм, которые подвергались термической обработке отдельными партиями при температуре 580, 630, 680 и 730 °С в течение 15, 30 и 60 минут, и охлаждению на спокойном воздухе. Исследования характеристик сопротивления ударному воздействию сварных соединений проводились на образцах с U-образным надрезом при помощи маятникового копра МК-30А согласно ГОСТ 9454 и ГОСТ 6996.

Выявлено, что время выдержки незначительно влияет на повышение ударной вязкости: в целом с увеличением продолжительности термической обработки наблюдается увеличение ударной вязкости сварного соединения. Наиболее существенный прирост происходит при увеличении времени выдержки с 15 до 30 минут. Дальнейшее увеличение до 60 минут при росте энергозатрат на проведение восстановительной термической обработки приводит к меньшему росту ударной вязкости, а в некоторых случаях и к незначительному снижению по сравнению с 30 минутной обработкой.

Постепенное увеличение температуры ведет к более интенсивному повышению значений ударной вязкости, по сравнению с увеличением времени выдержки и достигает своего максимума при температуре 680 °С. Дальнейшее повышение температуры до 730 °С приводит к ее снижению. На рисунке 2 представлена зависимость изменения значений ударной вязкости сварного соединения при низком отжиге в зависимости от температуры и времени термической обработки.

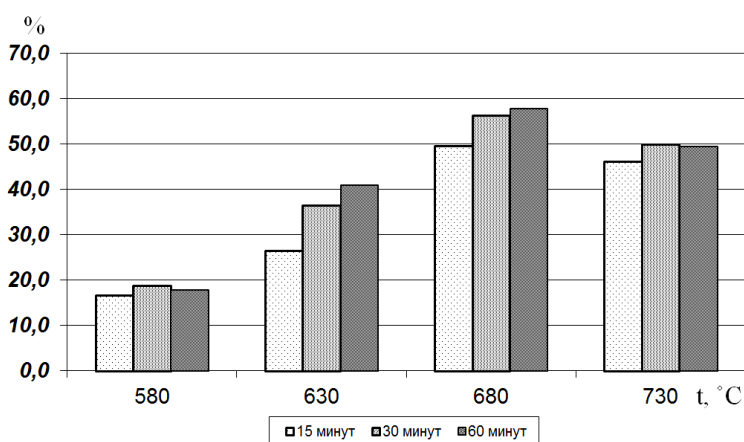


Рис. 2. Изменение значений ударной вязкости сварного соединения при низком отжиге

Контроль твердости и испытания на статическое растяжение плоских образцов сварных соединений до и после проведения восстановительной обработки в соответствии с ГОСТ 6996 показали, что вос-

становительная термическая обработка приводит к незначительному снижению значений твердости и предела прочности (типичные значения представлены в таблице). При этом изменение значений предела прочности невелико и может не учитываться в прочностных расчетах.

Типичные значения изменения твердости
и предела прочности сварных соединений труб магистральных трубопроводов

№	Режим термообработки		σ_b , МПа		Твердость (сварной шов/ЗТВ), НВ	
	температура, °С	время выдержки, мин	до термообработки	после термообработки	до термообработки	после термообработки
1.	680	15	495	450	157/146	153/144
2.	680	30	467	447	168/177	156/166
3.	680	60	530	521,5	175/173	160/156

Эффективность термической обработки основного металла труб по предложенному режиму не много меньше по сравнению с термической обработкой сварных соединений (прирост ударной вязкости составил 50–55 % – для сварных соединений и 35–45 % для основного металла).

Исследования микроструктуры методом световой микроскопии с увеличениями 100^x, 400^x и 1000^x выявили отсутствие изменений размера зерна основного металла после проведения низкого отжига. Структура корневого и заполняющих слоев кольцевого сварного соединения в процессе сварки подвергаются рекристаллизации и имеют структуру близкую к равноосной, которая практически не изменяется при низком отжиге. На участке зоны термического влияния, подвергшемся в процессе сварки нормализации, значительных изменений после термической обработки в геометрии структурных составляющих не наблюдается. Особенности кристаллизации облицовочного слоя сварного шва приводят к образованию дендритной структуры наплавленного металла, обладающей относительно низкими механическими свойствами. В результате термической обработки в этой области протекают процессы дробления дендритов и образования более энергетически выгодной и обладающей более высоким комплексом механических свойств ферритно-перлитной структуры. Зоны термического влияния основного металла представляют собой узкий участок перегрева (видманштеттова структура) переходящий в участок нормализации. Феррит и цементит на участке перегрева образует длинные иглы. Данные структуры обладают низкими пластическими и вязкими свойствами, т.е. склонны к хрупкому разрушению. Под воздействием высокой температуры наблюдается исправление этой структуры (закругление игл), что приводит к возрастанию ударной вязкости.

Реализация подобной термической обработки в производстве ремонтных работ выглядит следующим образом: специальный нагревательный элемент, представляющий собой манжету, покрывает интересующее сечение трубопровода, предварительно раскопанного и очищенного от изоляции с целью проведения ремонтных работ. Далее следует нагрев сечения с вышеописанными временными параметрами.

Таким образом, предложенный метод позволяет эффективно повысить параметры сварочных швов и металла трубы в случае, когда труба находилась в длительной эксплуатации. Такие меры особенно перспективны для применения в Республике Беларусь в связи с текущим состоянием трубопроводной системы. Однако требуется дополнительное изучение негативных явлений, возникающих при подобной термической обработке, в частности требуется оценка величины напряжений, возникающих в металле трубы при температурном расширении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазур, И.И. Конструктивная надёжность и экологическая безопасность трубопроводов / И.И. Мазур, О.М. Иванцов, О.И. Молдованов. – М.: Недра, 1990. – 264 с.
2. Трещиностойкость металла труб нефтепроводов / А.Г. Гумеров [и др.]. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 231 с.
3. Липский, В.К. Методика восстановительной термической обработки магистральных трубопроводов, основанная на неразрушающей оценке фактического уровня механических свойств металла / В.К. Липский, А.Н. Янушонок, А.С. Снарский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2006. – № 12. – С. 93–96.
4. Методика исследования фактических дефектов элементов труб, выявленных по результатам диагностики магистральных нефтепродуктопроводов ОАО «АК «Транснефтепродукт» и определение их влияния на остаточный ресурс нефтепродуктопроводов: СО 11-04-АКТНП-008-2007. – М., 2007.

УДК 624.042.63:621.64

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДЕ ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

М.В. ДРОЗДЕЦКИЙ

(Представлено: А.Н. ЯНУШОНОК)

Представлено решение задачи распределения температур и температурных напряжений по оси открытого и свободного от изоляции магистрального трубопровода, поперечный участок которого нагрет специальной манжетой с целью изменения свойств металла трубы.

Республика Беларусь обладает развитой сетью магистральных трубопроводов, сооружение которых происходило преимущественно в 60-е – 70-е годы прошлого века. Это обусловило возраст трубопроводной системы: 80 % магистральных трубопроводов, транспортирующих жидкие углеводороды, работают за пределами нормативного срока службы.

В процессе старения в металле трубопроводов протекают процессы старения, которые проявляются в изменении микроструктуры и механических свойств. Наиболее выраженным следствием старения является снижение ударной вязкости металла, которая характеризует способность сопротивления хрупкому разрушению, т.е. является одним из факторов определяющим его надежность. За 30 лет эксплуатации в трубных сталях происходит снижение ударной вязкости в 3–5 раз и ее значения могут оказаться ниже требуемых техническими нормативными правовыми актами. Восстановление ударной вязкости возможно путем специальной термической обработки, режим которой определен в работе обеспечение надежности магистральных трубопроводов путем восстановительной термической обработки. В то же время высокотемпературное воздействие приведет к тому, что в металле трубы возникнут внутренние температурные напряжения, которые могли бы привести к развитию нежелательных деформаций в процессе обработки и осложнить технологию ее проведения. Определим возникающие в металле напряжения.

Постановка задачи. Расчет будет производиться для открытого очищенного от изоляции участка магистрального трубопровода длиной L , м; Внешним диаметром D , м, и внутренним диаметром d , м.

Труба нагревается до температуры T_n , К специальной манжетой, надетой на середину участка. За начало координат принято правое окончание манжеты, ось координат направлена вдоль оси трубы в сторону правого конца. Определим температуру в любой точке заданного участка, если температура окружающей среды равна T_o , К.

Принятые допущения. Теплообмен с окружающей средой в любой точке внешней поверхности трубы одинаков. Внутренняя поверхность трубы не совершает теплоотдачу. Время нагрева бесконечно большое, манжета всегда включена. Металл трубы однородный, сплошной и не имеет дефектов. Расчет производится для максимально возможных температур, вследствие поиска максимальных температурных напряжений.

Решение. Запишем уравнение теплопроводности для стенки трубопровода:

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right),$$

где ρ – плотность металла трубы; c_v – теплоемкость при постоянном объеме; t – время; x – координата.

Считаем среду однородной. Как следствие $\lambda = const$.

Преобразуем выражение:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

где $\chi = \frac{\lambda}{\rho c_v}$ – коэффициент теплопроводности среды. Учтем потери тепла в окружающую среду через внешнюю поверхность трубы

$$\rho c_v S \frac{\partial T}{\partial t} = S \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \alpha \rho (T - T_0),$$

где α – коэффициент внешней теплопроводности; S – площадь через которую проходит тепловой поток; T_0 – температура окружающей среды.

Так как для поиска максимальных температурных напряжений необходимо найти максимально возможные температуры, возможно не учитывать процесс остывания металла. И, как следствие, не важна зависимость температурного распределения от времени

Получаем:

$$S\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \alpha \rho (T - T_0) = 0.$$

Преобразуем уравнение:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \beta (T - T_0) = 0,$$

$$b = \sqrt{\frac{\alpha \pi D}{\rho^2 c \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right)}}$$

$$\beta = \frac{b}{\sqrt{\chi}}.$$

Полученное уравнение есть дифференциальное уравнение второго порядка, общий вид решения которого выражается следующим образом:

$$T = Ae^{\beta x} + Be^{-\beta x} + T_0.$$

Определим коэффициенты A и B путём решения задачи Коши, подставив значения граничных условий. То есть при $x = 0$, $T = T_n$. При x , стремящемся к бесконечности, $T = T_0$. Исходя из граничных условий получаем $A = 0$, $B = T - T_0$.

Итоговое преобразование:

$$T = (T_1 - T_0)e^{-\beta x}.$$

Данная формула является общим решением практической задачи поиска значений температур по длине открытого участка магистрального трубопровода, нагретого специальной манжетой.

Зная распределение температур по оси трубопровода, возможно рассчитать возникающие температурные напряжения. Находим линейные удлинения участков трубопровода вследствие температурного расширения:

$$\frac{\Delta L}{2} = \alpha_T T L_0,$$

где α_T – коэффициент линейного расширения металла, $\frac{\Delta L}{2}$ – удлинение участка трубы по одну сторону от манжеты.

Зная удлинение, можем определить максимальные сжимающие напряжения, возникающие в трубопроводе:

$$\Delta L = \frac{NL}{AE},$$

$$\frac{N}{A} = \frac{E\Delta L}{L},$$

где E – модуль Юнга.

Данное напряжение следует сравнить с максимально допустимым сжимающим напряжением в металле трубы. В случае если существующее напряжение меньше допустимого, дополнительных мер при проведении термической восстановительной обработки применять не нужно.

В заключение работы делаем вывод, что вышеописанная методика позволяет расчетным путем определить возможность использования термической восстановительной обработки без дополнительных мер по компенсации возникающих сжимающих напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методическое пособие для студентов специальностей 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы», 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и направления бакалавриата 270800 «Строительство» всех форм обучения / Сыктывкарск. лесной ин-т – филиал гос. образоват. учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С.М. Кирова» кафедра дорожного, промышленного и гражданского строительства. – Сыктывкар, 2011. – С. 22–29.
2. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. – М.: Наука, 1974. – С. 185–196.
3. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский. – М.: Высш. школа, 1982. – С. 195–209.

УДК 502.51: 504.5: 665.6

МЕТОДИКА ВЫБОРА СТАЦИОНАРНЫХ РУБЕЖЕЙ

Е.Д. КУЗЬМИН

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЕНКО)

Стационарные рубежи локализации и сбора нефти рассматриваются как один из эффективных вариантов защиты реки в случае возникновения аварийной ситуации. Представлены подходы по выбору стационарных рубежей, разработанные на кафедре ТТВиГ УО «ПГУ».

Магистральный трубопроводный транспорт в Республике Беларусь выполняет важные функции по обеспечению национальной безопасности путем создания условий для полноценного функционирования энергетического комплекса, снабжения сырьем важнейших отраслей национальной экономики, обеспечения валютных поступлений от транзита, укрепления международного престижа страны и в целом является жизненно важным элементом её устойчивого развития.

Несмотря на то, что трубопроводный транспорт относится к наиболее экологобезопасным видам транспорта, он может оказывать серьезное влияние на окружающую среду. Это влияние проявляется как на стадии сооружения объектов трубопроводного транспорта, так и на стадии эксплуатации.

На территории Беларуси расположена густая сеть нефтепроводов, аварии на которых сопровождаются разливами нефти, что несет серьезные последствия в экологической сфере. Это вызвано воздействием большого объема разлившейся нефти на компоненты геосферы (земля, водные объекты, атмосфера). Увеличение сроков нахождения в эксплуатации этой сети повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций, при которых выход нефти в водные объекты одновременно может составить 1–2 и более тысяч тонн и создать режим залпового сброса (сброс, превышающий ПДК в 100 и более раз) [1].

Особенностью аварийных залповых сбросов нефти является масштабность негативного воздействия на природную среду. Кроме этого в настоящее время отсутствуют научно обоснованные организационно-технические системы защиты водных объектов и болот (ВОБ) от аварийных залповых сбросов нефти, нормативные положения по обеспечению их профилактики и защиты и развитая сеть специализированных служб, что делает проблему защиты ВОБ от аварийных сбросов актуальной.

Из всех возможных промышленных аварий на нефтепроводах наиболее «тяжелыми» являются аварии, которые происходят на территории водосборных бассейнов больших рек. Это связано с тем, что нефть является одним из наиболее опасных загрязнителей компонентов природной сферы, особенно гидросферы. Опасность разлива нефти многократно возрастает в результате того, что она может по притокам переноситься в русла больших рек и по ним распространяться на значительные расстояния, оказывая негативное экологическое воздействие на обширных территориях. Загрязнение больших рек нефтью при крупных авариях на нефтепроводах может принять характер экологической катастрофы, а в случае трансграничного переноса разлившейся нефти – создать неблагоприятный для престижа страны международный инцидент.

Наиболее опасными объектами магистральных нефтепроводов с точки зрения воздействия на окружающую среду являются подводные переходы магистральных нефтепроводов через водные преграды.

Стационарные рубежи локализации и сбора нефти – один из эффективных вариантов защиты реки в случае возникновения аварийной ситуации. Они ограничивают перемещение нефти по поверхности реки, направляют нефтяное пятно к берегу, снижая скорость его распространения [2].

Стационарные боновые заграждения устанавливаются по берегам реки на рубеже задержания и вводятся в действие при возникновении аварийной ситуации путем разворачивания в русло реки. Находясь в дежурном режиме, они создают подпор только с момента установки их в рабочее положение.

При определении местоположения рубежей задержания учитывается: характер движения нефтяного пятна, гидрологическая характеристика реки (скорость течения, ширина, глубина и т.д.), наличие на реке мест, удобных для сбора нефти [4]. На кафедре ТТВиГ были разработаны подходы по выбору стационарных рубежей. Суть этих подходов заключается в поэтапном выборе.

Выбор расположения стационарных рубежей можно разбить на пять этапов:

- 1 этап – определение зоны влияния магистрального нефтепровода на водоток;
- 2 этап – определение участка водотока, возможного реагирования бригады на подход пятна нефти;
- 3 этап – определение створа водотока для стационарного рубежа;
- 4 этап – определение береговой площадки для стационарного рубежа;
- 5 этап – определение оперативных рубежей.

На первых двух этапах определяется зона влияния магистрального нефтепровода на водоток. Нефтепровод условно разбивается на участки, которые могут оказывать воздействие на определенные акватории, и с учетом времени реагирования бригады аварийно-восстановительной службы определяется расстояние распространения пятна нефти [3].

Исходными данными для третьего этапа – выбора местоположения стационарного рубежа – являются:

- тип руслового процесса;
- вероятность размыва береговой линии;
- максимальные уровни воды в половодье и минимальные уровни воды в межень.

Основой расчетов допустимых воздействий на водные объекты является установление параметров водного режима, характеризующих оптимальные, нормальные и критические условия функционирования экологических систем водных объектов и околосредовых экологических систем [3]. Гидрологические исходные данные получают на гидрологических постах и станциях, обслуживающих выбранный участок водотока или Республиканском гидрометеорологическом центре [3]. Выборка исходных данных должна производиться за последние 20 лет наблюдений.

Для выбора створа водотока необходимо провести следующие гидрологические изыскания на предварительно выбранных створах:

- определить скорость водотока;
- определить ширину и глубину водотока.

Полученные данные о скорости и ширине водотока необходимы при определении угла установки бонового заграждения и подборе их длины. Рекомендуемая скорость водотока в створе в межень должна составлять не более 0,5 м/с [3].

В результате имеется несколько створов, которые можно разбить на следующие:

- благоприятные для устройства стационарного рубежа – участки водотока, на которых переформирования русла составляют менее 1 м в год (ленточно-грядовый, осередковый, побочный тип руслового процесса) [2]. На таких участках рекомендуется устраивать стационарные рубежи;

- неблагоприятные для устройства стационарного рубежа – участки водотока, на которых плановые переформирования русла могут достигать от 1 до 10 м в год (ограниченное или свободное меандрирование). На этих участках возможно устройство стационарного рубежа, но необходимо производить наблюдения в его окрестности за русловыми процессами на водотоке [2]:

- весьма неблагоприятные для устройства стационарного рубежа – участки водотока с ярко выраженным неустойчивым руслом (свободное меандрирование, пойменная многорукавность, незавершенное меандрирование), плановые переформирования русла могут достигать от 10 до 100 м в год, либо появляться разветвления русла водотока на два рукава. На таких участках не рекомендуется устраивать стационарные рубежи [2].

Окончательный створ водотока выбирается исходя таких шагов, как:

- визуальные наблюдения (осмотр местности вблизи створа);
- выбор показаний максимальных и минимальных скоростей в створе за многолетний период;
- выбор морфометрических параметров в створе за многолетний период (ширина, глубина в разные гидрологические сезоны, межень половодье).

На выбранном створе водотока проводим топографические изыскания берегового участка водотока и окончательно выбираем береговую площадку. Отбракованные створы водотока анализируются для использования в качестве оперативных рубежей.

Подходы, приведенные в данной работе, были использованы при определении места расположения стационарных рубежей на реках по заказу ОАО «Гомельтранснефть Дружба».

В результате научных исследований, проведенных кафедрой ТТВиГ УО ПГУ, на примере нефтепроводов ОАО «Гомель транснефть Дружба» были разработаны рекомендации и стандарт предприятия, в который были включены подходы по выбору стационарных рубежей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботарев, А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1978.
2. Рубежи задержания и сбора нефти на крупных судоходных реках / А.А. Груздев [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – Прил. – 2001. – № 3. – С. 8.
3. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти / Д.П. Комаровский [и др.]; под общ. ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 60 с.
4. Чеботарев, А.И. Общая гидрология (воды суши) / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.

УДК 502.51: 504.5: 665.6

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И СБОР НЕФТИ НА ВОДОТОКАХ ПРИ ПОМОЩИ СТАЦИОНАРНЫХ РУБЕЖЕЙ

В.А. ИСКРА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЕНОК)

Рассматривается важная задача при эксплуатации магистрального трубопроводного транспорта – защита водных объектов при аварийных разливах нефти. Для локализации разлившейся нефти могут использоваться стационарные рубежи, которые в зависимости от комплектации стационарными сооружениями и оборудованием подразделяют на два типа.

Борьба с загрязнениями нефтью водных объектов при ликвидации разливов нефти требует подготовки и проведения целого комплекса разнообразных организационно-технических мероприятий. Важнейшим элементом всей системы ликвидации загрязнения водных объектов нефтью являются стационарные рубежи для локализации и сбора нефти с поверхности воды. Под этим термином понимают спланированную территорию на берегу водотока, оборудованную стационарными сооружениями и представляющую собой объект инженерной инфраструктуры [1].

Работы по ликвидации аварийного разлива нефти и учебно-тренировочных занятиях на стационарных рубежах должны включать выполнение следующих основных операций:

- локализация нефтяного пятна;
- сбор нефти;
- доочистка акватории водотока сорбентом;
- очистка прибрежной полосы, загрязненной нефтью.

В состав работ по сбору нефти на стационарных рубежах входят:

- установка боновых заграждений и нефтесборных устройств в соответствии с принятой схемой;
- подготовка котлованов, земляных амбаров или резервуаров для сбора нефтеводяной эмульсии;
- установка необходимого оборудования (насосные станции, вакуумные установки, самовсасывающие мотопомпы и т.п.) для нормальной работы нефтесборных устройств;
- при необходимости осуществляют подсоединение оборудования к сети энергоснабжения;
- прокладка сборно-разборных откачивающих рукавов для нефтеводяной эмульсии;
- сбор и откачка нефтесборных устройств в накопительные емкости [2].

Сбора нефти с водной поверхности производят либо при помощи нефтесборных устройств, либо сорбентов.

Размещение рубежей следует осуществлять с учетом гидрологических характеристик водотока и ландшафтных условий местности.

Гидрологические исходные данные получают на гидрологических постах и станциях, обслуживающих выбранный участок водотока, или в Республиканском гидрометеорологическом центре. Выборка исходных данных должна производиться за последние 20 лет наблюдений.

Стационарные рубежи подразделяются на два типа в зависимости от комплектации стационарными сооружениями и оборудованием:

- тип I – стационарный рубеж включает основные сооружения (технологическая площадка, подъездные дороги, стационарные береговые якоря или стационарные береговые якоря с лебедками) и дополнительно стационарный рубеж оснащен стационарными металлическими боновыми заграждениями, ко-

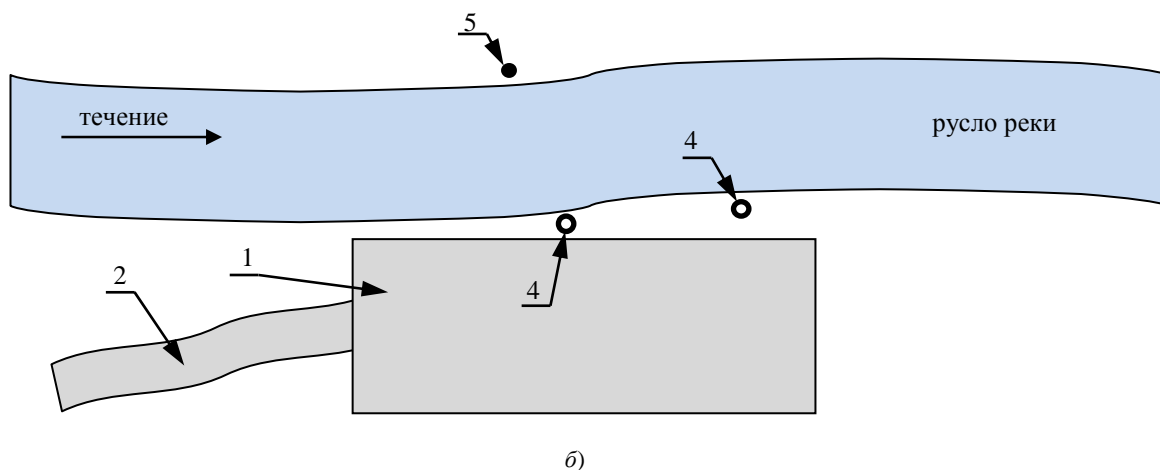
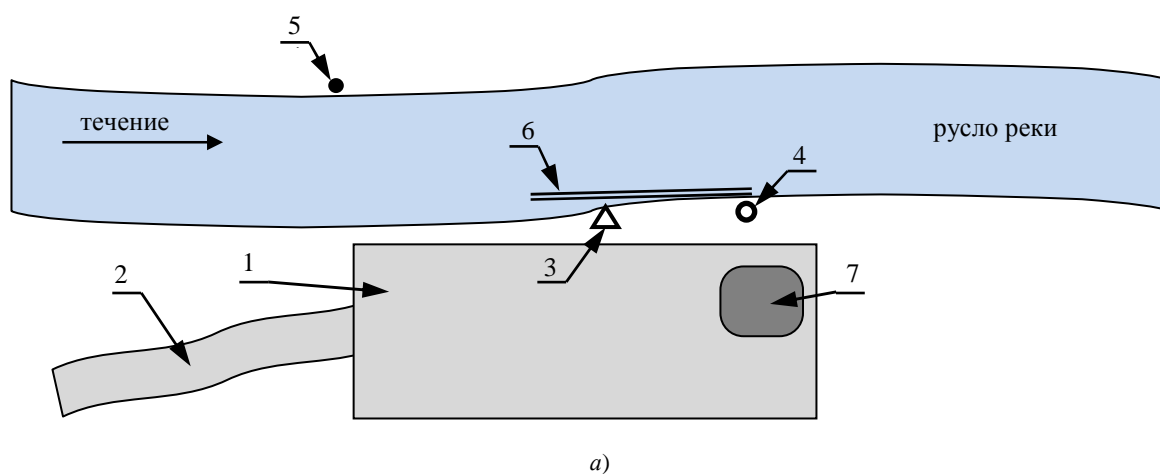
торые в случае подхода пятна нефти при ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН) или при УТЗ быстро разворачиваются в русле водотока;

- тип II – стационарный рубеж включает только основные сооружения (технологическая площадка, подъездные дороги, стационарные береговые якоря или стационарные береговые якоря с лебедками) При локализации нефтяного пятна при ЛАРН или при УТЗ необходимо привезти и развернуть боновое ограждение. Количество, тип и место установки оборудования, используемого на стационарном рубеже II типа зависит от схем локализации и сбора нефти.

Стационарные рубежи I типа (рис. а) рекомендуется обустраивать на средних и больших водотоках ГОСТ19179 вблизи подводных переходов магистральных нефтепроводов:

- для уменьшения протяжённости участка водотока, который будет загрязнён движущейся нефтью;
- для защиты охраняемых территорий (заповедных зон, мостов, крупных населенных пунктов, государственной границы), которые находятся ниже по течению водотока от стационарных рубежей.

Стационарные рубежи II типа (рис. б) рекомендуется обустраивать на малых и средних водотоках с шириной зеркала воды до 150 м и глубинами до 3 м.



Стационарный рубеж тип I (а); тип II (б):

- 1 – технологическая площадка; 2 – подъездная дорога; 3 – стационарный береговой якорь с лебедкой;
4 – стационарный береговой якорь; 5 – оперативный береговой якорь;
6 – металлическое стационарное боновое ограждение; 7 – земляной амбар

Применяемое на стационарном рубеже оборудование разделяют на основное и вспомогательное. К основному относится оборудование, предназначенное для выполнения основных технологических операций по ликвидации аварийного разлива нефти (локализация нефтяного пятна, сбор нефти, временное хранение нефти и др.). В состав входят: технологическая площадка, подъездные дороги, стационарные береговые якоря. Кроме основных сооружений могут быть использованы дополнительные: стационарные береговые якоря с лебедками, земляной амбар, спусковые дорожки для спуска на воду маломерных судов, наблюдательные площадки, коммуникации (связь, сооружения для отвода дождевой воды, силовые

кабели) и др. К вспомогательному относится оборудование, обеспечивающее выполнение основных технологических операций по ликвидации аварийного разлива нефти.

В состав основного оборудования входят:

- боновые заграждения;
- нефтесборные устройства;
- резервуары для сбора нефти;
- оперативные донные якоря.

В состав вспомогательного оборудования входят:

- маломерные суда (катера, лодки для обслуживания БЗ и т.п.);
- грузоподъемные средства;
- автотранспорт (самосвалы, вакуумные автоцистерны и т.п.);
- осветительные установки;
- электростанции;
- передвижные пропарочные установки;
- силовые установки к НСУ;
- насосы для перекачки нефти;
- распылители сорбента;
- оборудование для смыва нефти с берегов;
- переносное (ручное) нефтесборное оборудование;
- оборудование для создания водяных и воздушных завес и т.д. [3].

Боновые заграждения – трубы (секции), соединенные между собой, устанавливаемые на акватории водотока под углом к динамической оси (стрелю) потока, вдоль которого происходит распространение нефтяного пятна [4].

Внимания заслуживает и разработка документации, устанавливающей общие требования к размещению, обустройству и эксплуатации стационарных рубежей локализации и сбора нефти на водотоках, а также требования, направленные на обеспечение промышленной безопасности и охраны окружающей среды.

На кафедре трубопроводного транспорта, водоснабжения и гидравлики УО ПГУ ведутся научно-исследовательские работы по разработке такой документации. В ходе выполнения этих работ разработан стандарт организации, получивший название «Стационарные рубежи локализации и сбора нефти на водотоках. Правила размещения, обустройства и эксплуатации».

ЛИТЕРАТУРА

1. Магистральный нефтепроводный транспорт. Термины и определения: РД-01.120.00-КТН-228-06: утв. приказом ОАО «АК «Транснефть» от 3 июля 2006 г. № 67.
2. Липский, В.К. Система организационно-технических мероприятий по защите водных объектов при залповых сбросах нефти. Обзорная информация / В.К. Липский, Л.М. Спириденко, П.В. Коваленко. – Минск: БЕЛНИЦ Экология, 2002. – 40 с.
3. Рубежи задержания и сбора нефти на крупных судоходных реках / А.А. Груздев [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – Прил. – 2001. – № 3. – С. 8.
4. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти / Д.П. Комаровский [и др.]; под общ. ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 60 с.

УДК 697.9

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЛИСТА ОРЕБРЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОТДАЧИ В ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯХ

О.А. ЕРОШОВА, Е.А. МЕНЖИНСКИЙ, М.М. МЕНЯШОВ
(Представлено: В.А. ЗАФАТАЕВ)

Количественно и качественно определена зависимость коэффициента теплоотдачи от геометрических параметров оребрения поверхности теплоотдачи рекуперативных воздухоподогревателей типа ВНВ с тремя и четырьмя поперечными воздушному потоку рядами трубок.

Эксергетический анализ инженерных систем создания микроклимата в зданиях показывает, что наибольшее падение потенциала работоспособности теплоносителя приходится на теплоиспользующие установки этих систем (в среднем по видам сетей до 40 %). При этом следует чётко разделять полезное для процесса необратимое падение работоспособности и величину анергии потока [1], т.е. части потен-

циала потока, которую в данной цепочке теплопреобразователей невозможно использовать исходя из ограничений, накладываемых на процесс законами термодинамики. Именно повышение полноты использования теплового потенциала, т.е. сокращение анергетической составляющей в теплоиспользующей схеме, а значит и повышение её КПД, считается перспективным направлением научного поиска в условиях недостатка в стране собственных источников энергоресурсов и роста цен на энергоносители.

Вместе с тем поиск термодинамически оптимального варианта организации тепловой схемы не должен идти в разрез с экономическими предпосылками, так как известно [2], что термодинамически эффективная система может быть весьма далёкой от экономического оптимума, а чаще всего – и вовсе нереализуемой. Эти обстоятельства приводят к необходимости разработки методик математического моделирования теплообменных процессов, учитывающих сложную взаимосвязь конструктивных, термодинамических и экономических критериев с минимально возможным количеством идеализированных допущений.

Упрощённую математическую модель воздухоподогревателя с теплоносителем «вода», движущимся в трубках (соответственно подогреваемый воздух движется в межтрубном пространстве), можно представить в виде двух основных функциональных блоков – блок расчёта геометрических характеристик и блок расчёта теплогидравлических характеристик. Чаще всего к такой схеме добавляется и третий блок – расчёт экономических параметров.

В настоящей работе ставилась задача определения влияния пошагового изменения геометрических параметров оребрения теплообменной поверхности на величину интенсивности теплоотдачи со стороны теплоносителя с меньшим тепловым эквивалентом (т.е. со стороны воздуха), и поэтому представлены результаты расчёта только по первым двум блокам.

Теплообменная поверхность рассматриваемого воздухоподогревателя представляет собой несколько ходов горизонтальных трубок, расположенных в шахматном порядке в пределах обечайки (корпуса) теплообменника, на которые плотно с постоянным шагом насажены алюминиевые листы синусоидального профиля. Вид профильного листа оребрения показан на рисунке 1.

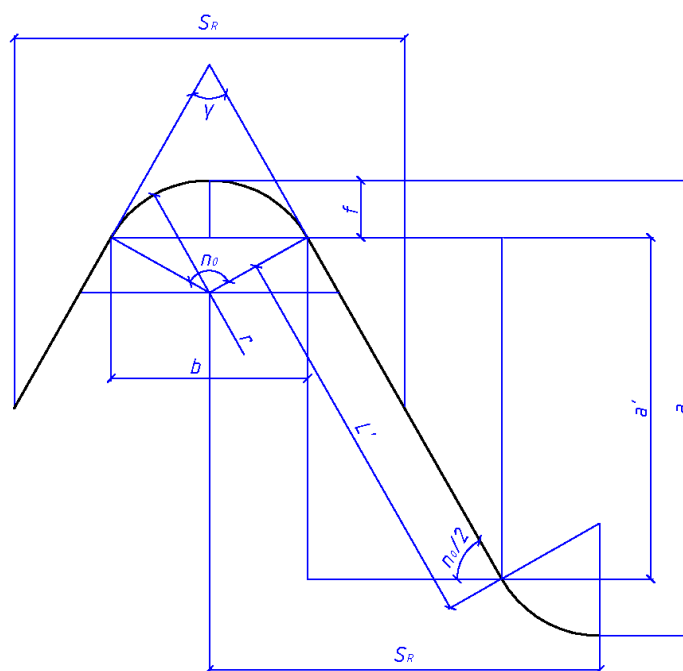


Рис. 1. Фрагмент синусоидальной гофры

Воздух движется в пространстве между этими листами и благодаря особенностям изгиба листов меняет своё направление и таким образом интенсивно перемешивается, что благоприятно сказывается на величине теплоотдачи к воздуху с поверхности.

Исходными данными в расчёте первого блока являются: материал трубок – медь; материал оребрения – алюминий; угол раскроя гофр γ ; основание сектора b ; поперечная разбежка гофр a ; размеры фронтального сечения теплообменника $A_{\text{фронт}}$, $B_{\text{фронт}}$, H ; наружный диаметр трубок d_0 ; толщина стенки труб δ_1 ; толщина пластин Δ ; шаг установки пластин S .

Остальные геометрические параметры рассчитываются по формулам:

- угол раскрытия

$$\gamma = 180 - n_0; \quad (1)$$

- высота сектора

$$f = 2r \sin^2 \frac{n_0}{4};$$

- радиус вписанной в гофру окружности

$$r = \frac{b}{2 \sin \frac{n_0}{2}}; \quad (2)$$

- угловая величина разбежки гофр

$$L' = \frac{a'}{\sin \frac{n_0}{2}} = \frac{a - 4r \sin^2 \frac{n_0}{4}}{\sin \frac{n_0}{2}}; \quad (3)$$

- шаг гофрировки

$$S_R = 2r \sin \frac{n_0}{2} + \frac{L'}{2} \cos \frac{n_0}{2} = 2r \sin \frac{n_0}{2} + \left(a - 4r \sin^2 \frac{n_0}{4} \right) \operatorname{ctg} \frac{n_0}{2}, \quad (\text{при } a \neq 2f). \quad (4)$$

Если $a = 2f$, то

$$S_R = 2r \sin \frac{n_0}{2}; \quad (5)$$

- количество поворотов воздушного потока

$$N_{\text{пов}} = \frac{H}{S_R}; \quad (6)$$

- приведенная длина пластины по ходу воздуха

$$L_{\text{зарм}} = \frac{H}{S_R} \left(\frac{a - 4r \sin^2 \frac{n_0}{4}}{\sin \frac{n_0}{2}} + 0,01745 n_0 \right), \quad (\text{при } a \neq 2f). \quad (7)$$

Если $a = 2f$, то

$$L_{\text{зарм}} = \frac{0,01745 n_0 H}{2 \sin \frac{n_0}{2}}; \quad (8)$$

- приведенная теплопередающая поверхность пластины оребрения

$$F_{\text{зарм}} = 2B_{\text{фронт}} L_{\text{зарм}} - Z_{\text{тр}} \frac{\pi d_0^2}{4}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{тр}}$ – количество трубок в пучке;

- количество трубок в ряду

$$z_{\text{тр.р}} = \frac{B_{\text{фронт}}}{2S_1}; \quad (10)$$

- количество пластин в компоновке

$$Z_{пл} = \frac{A_{фронт} - a}{S} + 1; \quad (11)$$

- поверхность теплопередачи

$$F_{ор} = F_{пл} + F_{тр} = \left(\frac{A_{фронт} - a}{S} + 1 \right) \left(2B_{фронт} L_{сарм} - Z_{тр} \frac{\pi d_0^2}{4} \right) + (Z_{тр} A_{фронт} \pi d_0 - \pi d_0 Z_{пл} Z_{тр} \Delta); \quad (12)$$

- полное сечение для прохода воздуха

$$F_{прох} = (A_{фронт} - a) B_{фронт} - d_0 S (z_{тр.чёр} + z_{тр.леч}). \quad (13)$$

Результаты исследования получены с помощью разработанного алгоритма [3] поверочного теплового расчёта установок рекуперативных теплообменников, применяемых в системах вентиляции, кондиционирования воздуха, представленного в виде математической макромодели конвективного теплообмена и реализованного на базе СУБД в виде программы ЭВМ.

Температурные условия работы воздухоподогревателя принимались для холодного периода года соответствующими требованиям СНБ 4.02.01-03 для наружного воздуха Витебской области и ТКП 45-2.04-43-2006 для воздуха в вентилируемом помещении.

Исследованию подлежали воздухоподогреватели со следующими геометрическими параметрами [4]: размеры обечайки $A_{фронт} = 905$ мм, $B_{фронт} = 503$ мм, $H = 80$ мм (три поперечных ряда трубок), $H = 100$ мм (четыре поперечных ряда трубок), – для модели № 9 из типового ряда (ГОСТ 26548); поперечный шаг трубок $S_1 = 50$ мм, продольный шаг $S_2 = 25$ мм, наружный диаметр медных трубок $d_0 = 12$ мм, толщина стенки трубки $\delta_1 = 0,4$ мм, толщина листа оребрения $\Delta = 0,2$ мм, поперечная разбежка гофр 4 мм, угол раскрытия гофр $\gamma = 90^\circ$, число ходов по воде $z_{ход} = 6$, шаг оребрения 1,8, 2,5 и 4,5 мм. Технологически рекомендуемая скорость воды $w_{воды} = 0,8 \dots 1,5$ м/с.

Результаты расчёта представлены на рисунке 2.

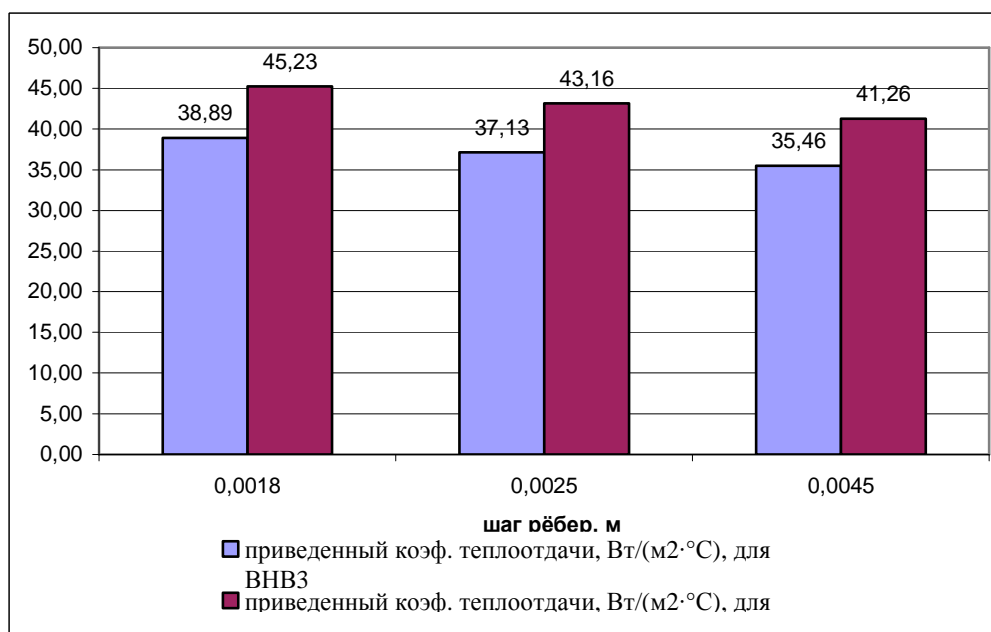


Рис. 2. Величина приведенного коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°C), в зависимости от шага рёбер

Далее исследовались 3-х и 4-хрядные воздухоподогреватели с поперечной разбежкой гофр 4 мм, шагом оребрения 4,5 мм, числом ходов по воде $z_{\text{ход}} = 6$. Увеличивался угол раскроя гофр γ . Результаты расчёта представлены на рисунке 3.

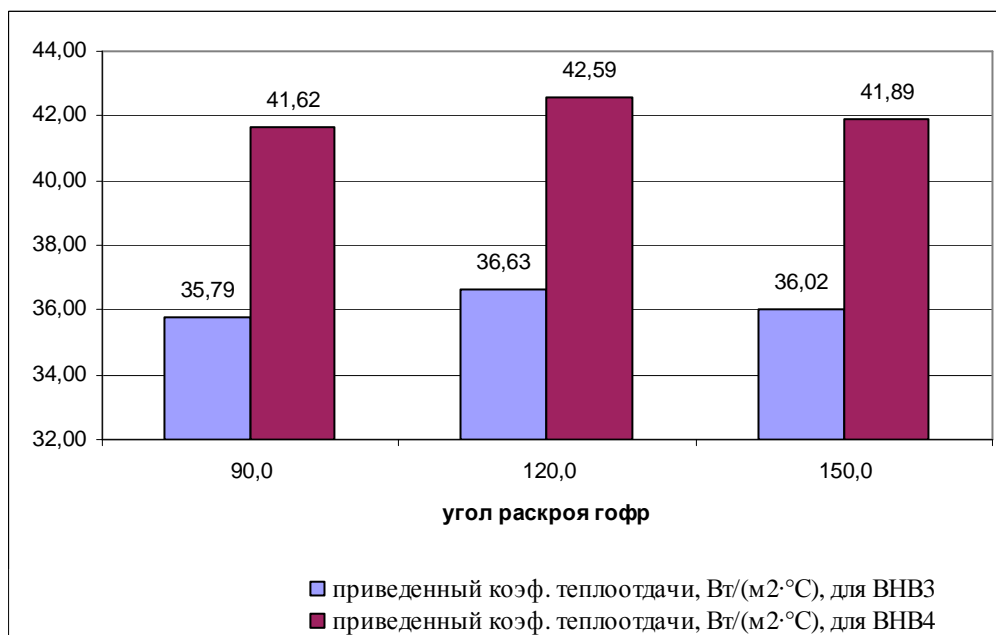


Рис. 3. Величина приведенного коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°C), в зависимости от угла раскроя гофр

По рисунку 2 видно, что при увеличении шага оребрения S в 1,4...1,8 раза приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{пр}}$ к воздуху уменьшается в среднем на 4,5 %.

Угол раскроя гофр $\gamma = 120^\circ$ позволяет достичь наибольших значений $\alpha_{\text{пр}}$ по воздуху (см. рис. 3).

Таким образом, благодаря численному решению задачи конвективного теплообмена на оребренной поверхности можно определить термодинамически выгодную совокупность конструктивных характеристик теплообменной поверхности. При этом решение строится в несколько этапов и позволяет сначала изучить влияние на величину целевого определяемого параметра шага изменения тех геометрических параметров, на которые тот наиболее сильно реагирует, зафиксировав при этом остальные параметры оребрения, и наоборот. Такой подход становится возможным, когда дискретно изменяющиеся определяющие параметры задачи определены, их изменение заранее известно, а предел этих изменений достаточно узкий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродянский, В.М. Эксергетический метод и его приложения / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 250 с.
2. Зафатаев, В.А. Термодинамический анализ энергоэффективности устройств для подогрева воздуха в системах воздушного отопления и вентиляции: дис. ... магистра техн. наук / В.А. Зафатаев. – Новополоцк, 2010. – 55 с.
3. Оценка термодинамической и термозкономической эффективности теплообменных установок: отчет о НИР (заключ.) / Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»; рук. темы Т.И. Королёва, отв. исп. В.А. Зафатаев. – Новополоцк, 2013. – 114 с. – № ГР 20130524.
4. Бялый, Б.И. Тепломассообменное оборудование воздухообрабатывающих установок ООО «ВЕЗА» / Б.И. Бялый. – М.: ООО «Инфорт», 2005. – 280 с.

УДК

ВЫБОР ФИЛЬТРА ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ЕГО ОБОСНОВАНИЕ**А.В. СОКОЛОВ***(Представлено: В.К. Ющенко, С.П. СТУДЕНИКИНА)*

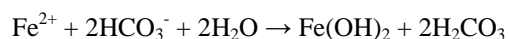
В статье ставится задача выбора подходящего фильтра для обезжелезивания питьевой воды. В результате анализа и расчётов автор приходит к мнению рационального выбора сооружения борьбы с избыточным железом нашей страны. На основе проведенного исследования автором предлагается выделить расчётно-технический способ толкования, дается его определение, формулируются основные характеристики рационального анализа, составляющий целью работы и конкретики выводов.

Исходным материалом для образования и накопления железа в природных водах являются водовмещающие породы и породы, с которыми вода контактирует в процессе своей миграции. К их числу относятся песчано-гравийные и глинистые материалы, содержащие большое количество железистых соединений. Выявление форм содержания железа в воде является очень важной задачей, разрешение которой позволит предопределить метод его удаления.

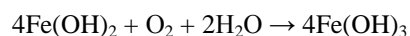
Железо в природных водах может находиться в виде двух- и трехвалентных ионов, коллоидов органического и неорганического происхождения, таких как $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeS , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, комплексных соединений с гуматами и фульвокислотами, а также в виде тонкодисперсной взвеси.

Коллоидная гидроокись железа образуется при рН выше 3, а осадок – при рН выше 4,5 (как правило, в окислительной среде). В природных водах значение рН обычно колеблется в пределах 6,2-7,5, поэтому в них не может содержаться трехвалентное железо, но может присутствовать (например, в подземных водах при отсутствии растворенного в воде кислорода и других окислителей) двухвалентное железо в виде ионов или в составе солей. В поверхностных водах железо обычно встречается в виде органических комплексных соединений, либо коллоидных или тонкодисперсных взвесей [1].

Формы, в которых железо находится в природных водах, в настоящее время недостаточно изучены. Однако, очевидно, что преобладающей формой существования железа в подземных водах является гидрокарбонат двухвалентного железа, который устойчив только при наличии больших количеств углекислоты и отсутствии растворенного кислорода. При уменьшении концентрации углекислоты, т.е. при повышении рН и появлении в воде растворенного кислорода или других окислителей, происходит процесс гидролиза, и железо переходит в малорастворимый гидроксид двухвалентного железа:



При этом образуется ряд промежуточных соединений, и в воде одновременно присутствуют как недиссоциированные молекулы, так и ионы: $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})^+$. Далее происходит окисление по уравнению:



Здесь также одновременно присутствуют промежуточные соединения, такие, как $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное во многих случаях в естественных условиях протекает при участии микроорганизмов – железобактерий, которые используют энергию, выделяемую при окислении железа (II).

Образующийся при окислении гидроксид железа (III) мало растворим в воде. Так, при рН = 4 в воде может содержаться до 0,05 мг/л $\text{Fe}(\text{OH})_3$, а при более высоких значениях рН – тысячные и еще меньшие доли мг/л. Гидроксид железа (III) может присутствовать в воде в коллоидном состоянии, которое является одной из основных форм существования железа в поверхностных водах. Устойчивость коллоидного железа в значительной степени повышается благодаря защитному действию гумусовых веществ. Железо может быть переведено из этого комплекса в осадок двумя путями: естественным – при участии бактерий, разрушающих органическое вещество, и искусственным – с помощью сильных окислителей, уничтожающих защитные коллоиды, либо под действием коагулянтов, например, зелей кремниевой кислоты [1].

Выявление форм содержания железа в воде является очень важной задачей, разрешение которой позволяет предопределить метод его удаления.

1. Расчет песчано-гравийного фильтра

Двухступенчатые фильтры загружаются среднезернистым песком (толщина слоя 1–1,5 м). Первая ступень загружается: верхний слой – щебень, гравий 20–40; нижний слой 10–20. Вторая ступень – среднезернистым песком 1–1,5 м.

Длина фильтра определяется по формуле:

$$L = \frac{Q_p \cdot 1000}{3,2 \cdot q \cdot K_3 \cdot K_4}, \quad (1)$$

где q – нагрузка, л/(м·сут); 3,2 – длина оросительных труб; K_3 и K_4 – поправочные коэффициенты.

Для первой ступени:

$$L = \frac{12,5 \cdot 1000}{3,2 \cdot 150 \cdot 1 \cdot 1} = 26 \text{ м}^2.$$

Для второй ступени:

$$L = \frac{12,5 \cdot 1000}{3,2 \cdot 80 \cdot 1 \cdot 1} = 48,82 \text{ м}^2.$$

Принимаем унифицированный двухступенчатый фильтр. Длина первой ступени 26 м, второй ступени – 48,82 м.

2. Расчет песчано-угольного фильтра с загрузкой KMnO_4

Трёхступенчатые фильтры загружаются среднезернистым песком (толщина слоя 1–1,5 м). Первая ступень загружается: верхний слой – активированный уголь, гравий 20–40; 2-й слой загрузка KMnO_4 10; нижний слой песок 10–20. Вторая ступень – среднезернистым песком 1–1,5 м.

Длина фильтра определяется по формуле:

$$L = \frac{Q_p \cdot 1000}{3,2 \cdot q \cdot K_3 \cdot K_4}, \quad (2)$$

где q – нагрузка, л/(м·сут); 3,2 – длина оросительных труб; K_3 и K_4 – поправочные коэффициенты.

Для первой ступени:

$$L = \frac{15 \cdot 1000}{3,2 \cdot 150 \cdot 1 \cdot 1} = 31,25 \text{ м}^2.$$

Для второй ступени:

$$L = \frac{15 \cdot 1000}{3,2 \cdot 80 \cdot 1 \cdot 1} = 58,6 \text{ м}^2.$$

Принимаем унифицированный двухступенчатый фильтр. Длина первой ступени 31,3 м, второй ступени – 58,6 м.

3. Расчёт капитальной стоимости сооружения

Для расчёта одного фильтра гравийно-песчаного:

Определение стоимости сооружения:

$$k + c + v + m = W. \quad (3)$$

$$3 + 8 + 5 + 2 = 18 \text{ млн. руб.}$$

где k – стоимость электроэнергии потребляемой компрессором, мес.; v – стоимость рабочей силы; m – прибавочная стоимость; c – стоимость средств производства, потребленных; W – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов стоимости.

3.1. Эксплуатационные затраты гравийно-песчаного фильтра

Если разложить формулу стоимости товара на элементы (по времени), то получим следующее:

$$c + v + m = W - \text{формула стоимости товара, или затрат времени в материальном производстве,}$$

где v – необходимый труд, необходимое рабочее время; m – прибавочный труд, или прибавочное рабочее время; c – овеществленный в средствах производства труд рабочих, или их рабочее время, потребляемое в производстве данного продукта; W_{10} – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов времени труда, создающих стоимость продукта.

С течением времени в процессе эксплуатации фильтра, вырождение денег, как надежного инструмента для учета труда, учета рабочего времени на период 10 лет:

$$W_{10} = W + \Delta d, \quad (4)$$

где Δd – прибавочная стоимость.

$$W_{10} = 18 + (3 \cdot 10) = 48 \text{ млн. руб.} + \text{ставка рефинансирования.}$$

Чем больше органическое строение капитала, тем меньшее количество рабочей силы нужно. Меньше рабочей силы – меньше прибыли (прибавочного труда).

3. Расчёт капитальной стоимости сооружения

для расчёта одного фильтра песчано-угольного фильтра с загрузкой KMnO_4 :

$$c + v + m = W.$$

$$12 + 5,2 + 2 = 19,2 \text{ млн. руб.}$$

где v – стоимость рабочей силы; m – прибавочная стоимость; c – стоимость средств производства, потребленных; W – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов стоимости.

3.1'. Эксплуатационные затраты песчано-угольного фильтра с загрузкой KMnO_4

Затраты на эксплуатацию принимаем за расчёт предыдущих лет на основании ставки рефинансирования:

Если разложить формулу стоимости товара на элементы (по времени), то получим следующее:

$$c + v + m = W,$$

где v – необходимый труд, необходимое рабочее время; m – прибавочный труд, или прибавочное рабочее время; c – овеществленный в средствах производства труд рабочих, или их рабочее время, потребляемое в производстве данного продукта; W – стоимость товара, состоящая из перечисленных выше элементов времени труда, создающих стоимость продукт.

С течением времени в процессе эксплуатации фильтра, вырождение денег, как надежного инструмента для учета труда, учета рабочего времени на период 10 лет:

$$W_{10} = W + \Delta d,$$

где Δd – прибавочная стоимость.

$$W_{10} = 19,2 + (5 \cdot 10) = 69,2 \text{ млн. руб.} + \text{ставка рефинансирования.}$$

Чем больше органическое строение капитала, тем меньшее количество рабочей силы нужно. Меньше рабочей силы – меньше прибыли (прибавочного труда).

Суммарная стоимость реагентов для приготовления растворов равна:

$$80 \text{ руб.} (5 \text{ г } \text{KMnO}_4) + 240 \text{ руб.} (2,5 \text{ г } \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) + 240 \text{ руб.} (2,5 \text{ г } \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 560 \text{ руб.} \quad (5)$$

Этого количества хватает на три цикла, то есть примерно для получения 25 литров воды. В настоящее время один из самых дешевых фильтров в Центральном универмаге г. Минска стоит 20 тысяч 130 рублей (фильтр «Аквафор»). Его ресурс – 1000 литров воды.

Расчет показывает, что для очистки 1000 литров нашего рабочего раствора на нашей установке надо израсходовать 22 тысячи рублей, для природной воды эта сумма может быть намного меньше. Следовательно, по экономической оценке наша установка может успешно конкурировать с фирменными фильтрами.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

- 1) выбран гравийно-песчаный фильтр обезжелезивания воды, наиболее приемлемый для удаления Fe^{2+} ;
- 2) изучена эффективность действия фильтрующих загрузок с марганцевым катализатором и песчаная аэрируемая загрузка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев, Д.С. Анализ загрязнений воды // Химия воды. – 2001. – № 5. – С. 77.
2. Гусева, Н.Е., Проскурина И.Н. Разработка химического эксперимента с экологическим содержанием // Химия воды. – 2002. – № 10. – С. 72.
3. Кукушкин, Ю.Н. Химия вокруг нас / Ю.Н. Кукушкин. – М., Высшая школа, 1992. – С. 114.
4. Рыбалко, А.Б. Ситуация с питьевой водой в Беларуси в целом. «Вода», июнь, 2013.

УДК

ВЫБОР ФИЛЬТРА ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

А.В. СОКОЛОВ

(Представлено: В.К. Ющенко, С.П. Студеникина)

Изучены возможности использования угольных материалов для обезжелезивания подземных вод малых населенных пунктов. В данной работе разработана технологическая схема, которую можно применить к существующим системам централизованного водоснабжения малых населенных пунктов.

Качество воды хозяйственно-питьевого назначения в населенных пунктах Республики Беларусь должно соответствовать требованиям СанПиН 10–124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Однако, по данным [1, 2, 3] в большинстве источниках подземных вод из скважин наблюдается повышенное содержание железа, иногда с сопутствующими другими, превышающими нормативы, веществами, например марганец, растворенные газы, очень редко – комплексные органические радикалы.

Повышенное содержание железа в воде у потребителя доставляет много неприятностей в быту. Сантехника, эксплуатируемая в такой воде, довольно быстро покрывается ржавыми потеками, на белье при стирке появляются ржавые пятна, и даже такие низкие концентрации, как 0,3–0,4 мг/л, могут вызвать появление пятен на раковинах, посуде, ткани и других поверхностях [4]. Более высокие концентрации железа придают воде характерный металлический привкус и могут изменить вкус и внешний вид чая, кофе и других напитков. Также повышенное содержание железа в воде является причиной брака в пищевой, а также текстильной, бумажной, химической и других отраслях промышленности. Кроме того, железо приводит к образованию осадков на стенах труб и накипи на поверхности нагрева, что со временем приводит к снижению давления трубопровода и повышению энергетических затрат [5].

В железистых отложениях идёт размножение железобактерий. Оно начинается уже при концентрации железа 1–2 мг/л, и скорость их размножения зависит от того, насколько много кислорода и тепла [8]. В результате жизнедеятельности этих бактерий образуется масса бурого цвета, которая оседает на стенках трубопровода, нередко в виде твердых отложений, таким образом, уменьшая их живое сечение. Срок службы сантехнического оборудования снижается в несколько раз.

Но особенно, повышенное содержание железа в питьевой воде вредно для здоровья человека. При хронической перегрузке организма железом происходит его отложение в тканях, которое носит очаговый или генерализованный характер (гемосидероз). Если общее содержание железа в организме превышает 15г, то поражаются внутренние органы, включая суставы, печень, эндокринные железы и сердце. Такое состояние называется гемохроматозом. Железо может создавать питательную среду для роста вредных микроорганизмов и клеток злокачественных опухолей, а также дополнительно стимулировать канцерогенное действие свободных радикалов. Высокие концентрации железа обнаруживаются в мозге людей, страдающих болезнью Паркинсона. Избыток железа нарушает функцию центральной нервной системы, усугубляя психические расстройства. Слишком большое количество железа в организме пожилых мужчин и женщин способствует накоплению свободных радикалов, может ускорить развитие общего старения. Поэтому взрослым мужчинам и женщинам препараты железа следует принимать крайне осторожно, только при наличии соответствующих показаний. Железо стимулирует окисление «плохого» холестерина

на (ЛПНП), что обуславливает прогрессирование атеросклероза, и вторично – ишемической болезни сердца. Гемохроматоз обычно развивается в среднем и старшем возрасте. При этом заболевании возникает бронзовая окраска кожи, развивается цирроз печени, сахарный диабет, поражается сердце. Последнее проявляется кардиомегалией, сердечной недостаточностью, аритмией, нарушением проводимости. Часто отмечаются гормональные нарушения. Могут возникнуть боли в животе, артриты и хондрокальциноз [9]. Несмотря на это, железо – давно известное средство от малокровия. Этот элемент является важнейшим компонентом гемоглобина – вещества крови, переносящего кислород ко всем клеткам тела. Дефицит железа может привести к анемии, вызвать усталость, головные боли и потерю сознания. Необходимая суточная доза железа для мужчин составляет приблизительно 7 мг, для женщин – 11 мг.

Таким образом, содержание железа в хозяйственно-питьевых водопроводах свыше 0,3 мг/л превращается в постоянную технологическую, экономическую, экологическую и социальную проблему. Обезжелезивание воды является одним из приоритетных направлений республиканской программы по обеспечению населения качественной водой [1].

В поверхностных водах железо обычно встречается в виде органических и минеральных комплексных соединений, либо коллоидных или тонкодисперсных взвесей. В подземных водах железо чаще всего находится в истинно растворенном состоянии в виде бикарбоната двухвалентного железа - $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, который устойчив только при наличии больших количеств углекислоты и отсутствии растворенного кислорода. Такая вода после излива из скважины в первое время остается бесцветной и прозрачной, но при стоянии в открытом сосуде постепенно мутнеет, и из нее выделяется красновато-коричневый осадок гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. В случаях подпитки водоносного горизонта водами реки или болот железо в подземных водах может находиться в виде комплексных органических соединений.

В подземных водах глубоких горизонтов, например в шахтных водах, двухвалентное железо может быть в виде сульфатов или хлоридов.

При одновременном содержании в воде сероводорода и железа образуется тонкодисперсная взвесь сульфида железа FeS .

Существование различных форм соединений железа в воде представлено на рисунке 1.

Очистка природных вод от соединений железа является в ряде случаев довольно сложной задачей, которая оптимально может быть решена только при использовании комплексной технологии. Это обстоятельство в первую очередь связано со многообразием соединений железа, присутствующих в природных водах.

Если проблема обезжелезивания подземных вод в крупных городах практически решена, то для малых населенных пунктов (городских поселков, сел) она находится в первоначальном состоянии и обостряется с каждым годом.

Анализируя существующие системы водоснабжения в малых населенных пунктах можно выделить три наиболее встречающиеся схемы водоснабжения.



Рис. 1. Схема существования различных форм железа в воде

Схема с одной или несколькими артскважинами, работающими на одну водонапорную башню, представлена на рисунке 2.

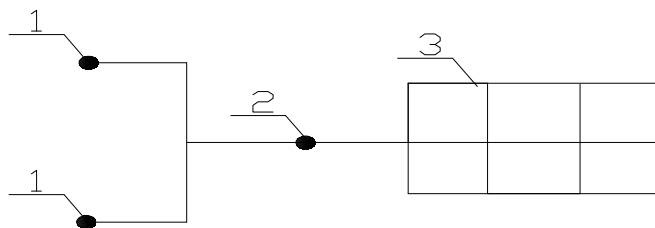


Рис. 2. Схема водоснабжения поселка с водонапорной башней:
1 – артскважина; 2 – водонапорная башня; 3 – поселок

При использовании данного метода отпадает необходимость в устройстве резервуаров чистой воды и установке промывных насосов. Промывка фильтров производится очищенной водой из башни, которая используется для создания требуемого напора и хранения запаса промывной воды. Технологическая схема приведена на рисунке 3.

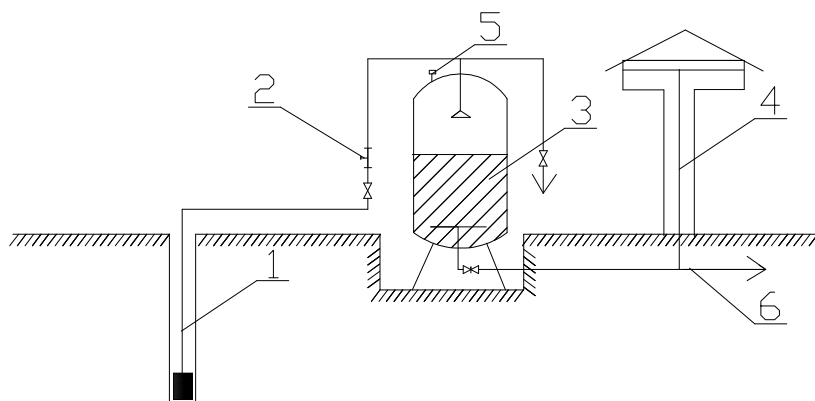


Рис. 3. Технологическая схема обезжелезивания
с использованием метода упрощенной аэрации и напорных фильтров:
1 – артскважина; 2 – эжектор; 3 – напорный фильтр; 4 – водонапорная башня; 5 – вантуз; 6 – подача в сеть

Таким образом, в результате проделанной работы выявлено:

Обогащение воды кислородом проводят при помощи аэрационного бака, компрессора или эжектора. Последний способ предпочтительнее при достаточной высоте подъема воды из скважины. Применяя компрессор или эжектор, избыточный воздух из фильтра удаляется с помощью вантузных устройств. Обогащенная кислородом воздуха вода поступает в фильтрующую загрузку, зерна которой покрыты ранее образовавшейся каталитической пленкой, состоящей из окислов железа. В результате сложных автокаталитических физико-химических процессов в толще фильтрующего материала происходит обезжелезивание воды – окисление растворенного двухвалентного железа и выделение его гидроокиси на поверхности зерен и в поровом пространстве загрузки. При этом потери напора в фильтре возрастают и достигают предельных величин, принятых в 6–8 м вод. ст., которые определяют продолжительность фильтроцикла в целом и необходимость вывода фильтра на промывку из водонапорной башни, при условии ее расположения около установки обезжелезивания. Очищенная вода из фильтра поступает в башню и далее в разводящую сеть поселка.

Эта схема с использованием принудительной аэрации при обработке воды непосредственно из скважин имеет ряд существенных недостатков: наличие специальных аэрирующих устройств, малая продолжительность фильтроцикла, большая интенсивность промывки и, следовательно, большой объем промывной воды. Но самое главное, при периодической работе скважин(ы), нарушаются процессы, характерные для упрощенной аэрации и часть железа будет находиться в виде минерализованной взвеси, которая на фильтрах с песчаной загрузкой не задерживается.

Из описанных методов очистки подземных вод от железа наиболее соответствует требованиям, предъявляемым к малым населенным пунктам, очистка на напорных скорых фильтрах. Однако для перевода двухвалентного железа в трехвалентное необходимо предусматривать аэрацию воды или окислительные методы (например, $KMnO_4$). Несмотря на то, что реагентные методы являются универсальными и высокоэффективными, они дорогостоящие и требуют дополнительного технико-экономического обоснования. Поэтому более эффективно применить метод упрощенной аэрации с последующим фильтрованием. Однако эксплуатация таких установок показала, что песчаная загрузка фильтров является неэффективной для водоподготовки малых населенных пунктов и не снижает концентрацию железа до нормативных значений. Именно поэтому в качестве фильтрующей загрузки целесообразно применить инертные материалы, в частности уголь.

При равномерной и непрерывной подаче воды на фильтры результаты очистки воды данным методом положительные и обеспечивают норматив по железу. Однако при малом водопотреблении данный метод неэффективен, так как нарушается сам процесс упрощенной аэрации, прежде всего из-за неравномерного режима водопотребления, сложности подачи и контроля количества воздуха на напорных фильтрах. Нами предложено применить скорые фильтры с загрузкой из активированных углей для удаления железа без применения специальных аэрирующих устройств с использованием естественного его окисления при контакте воды с воздухом в водонапорной башне или сборном резервуаре.

Как показывает опыт, замена песчаной загрузки фильтра на угольную загрузку приводит к более высокому эффекту очистки подземных вод от соединений железа. Это обусловлено наличием значительной активной поверхности зерен частиц активного угля по сравнению с кварцевым песком, а также особенностью механизма взаимодействия этих частиц с гидрооксидом железа. Уголь не обладает полярностью, как песок, поэтому задержание железистых соединений на его поверхности происходит прежде всего за счет дисперсных сил межмолекулярного притяжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Станкевич, Р.А. Обезжелезивание подземных вод в водоносном пласте: предпосылки и методы / Р.А. Станкевич // Вода – 2001. – № 10. – С. 22–23.
2. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – 43 с.
3. Гуринович, А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: Проблемы и решения / А.Д. Гуринович. – Минск: Технопринт, 2001. – 304 с.
4. Ковалев, А.Я. Еще раз об обезжелезивании воды / А.Я. Ковалев // Вода – 2003. – № 9. – С. 8.
5. Николадзе, Г.И. Водоснабжение: учебник для вузов / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.

УДК 628.161(476)

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ ЗАПАДНАЯ ДВИНА

Т.М. МОНЯК

Приводятся результаты исследования динамики изменения концентраций физических показателей качества сырой воды, поступающей на фильтровальную станцию завода «Полимир» ОАО «Нафтан» с целью дальнейшей оптимизации работы фильтровальной станции.

К факторам, ухудшающим качество воды в водисточнике, относятся: паводки, выпадение осадков в виде дождя и снега, попадание донных отложений и загрязняющих веществ с поверхностными и сточными водами, массовое развитие фитопланктона и его цветение.

Рассмотрим влияние некоторых факторов, ухудшающих качество воды в поверхностном водисточнике на примере воды, поступающей на фильтровальную станцию завода «Полимир» ОАО «Нафтан» (далее по тексту – завод «Полимир»). Забор воды для данной станции осуществляется из реки Западная Двина.

Гидрологические условия влияют на изменение физического состава воды в реке Западная Двина и во многом определяются её водным режимом. Поэтому наряду с динамикой изменения качества воды в реке необходимо рассмотреть и её водный режим.

Западная Двина принадлежит к типу равнинных рек с преобладанием снегового питания, большая часть годового стока (в среднем 50 %) приходится на период весеннего половодья. Грунтовый сток составляет 30 %, а сток дождевых паводков – около 20 % годового стока.

В годовом цикле водного режима реки Западная Двина выделяют несколько характерных периодов, называемых фазами водного режима. К ним относятся: весеннее половодье, летне-осенняя и зимняя межень.

Изменение расхода воды в реке Западная Двина за период 2004–2013 годов показано на рисунке 1.

Значения расходов в реке Западная Двина взяты на гидрологической станции города Полоцка (код поста 73122).

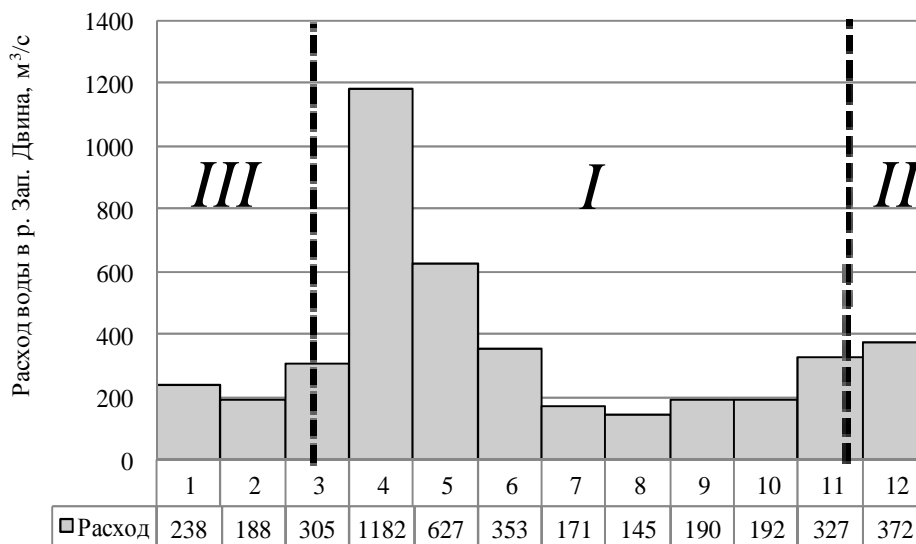


Рис. 1. Динамика изменения среднемесячного расхода воды в реке Западная Двина: I фаза – весеннее половодье; II фаза – летне-осенняя межень; III фаза – зимняя межень

Для Западной Двины характерно высокое весеннее половодье, низкая летне-осенняя межень, которая почти ежегодно нарушается дождевыми паводками, и более повышенная за счет частых оттепелей и дождей зимняя межень [1].

В период половодья питание реки Западной Двины осуществляется главным образом почвенно-поверхностными водами, которые поступают за счёт интенсивного снеготаяния, образуя пик половодья. Половодье является важнейшей фазой гидрологического режима, во время которого проходит от 50 до 70 % годового стока. Весеннее половодье продолжается со второй декады марта до июня, продолжительность половодья составляет 60–70 дней. Максимумы весеннего половодья формируются во второй декаде апреля.

Летом и осенью река Западная Двина имеет смешанное дождевое и грунтовое питание. Летне-осенняя межень обычно наступает в июне и заканчивается в третьей декаде ноября. Почти ежегодно летне-осенняя межень прерывается дождевыми паводками в среднем высотой 1,6–2,8 м. Наибольшей высотой и продолжительностью отличаются паводки, проходящие в конце лета и осенью.

В целом же по высоте паводки уступают весеннему половодью, хотя изредка достигают высоты среднего весеннего максимума. Продолжительность паводков разнообразна и, в зависимости от характера дождей, колеблется от 4–6 до 30–40 дней. В летне-осенний период поймы затопляются очень редко.

Зимняя межень проходит с декабря до середины марта. Самые малые расходы чаще всего наблюдаются зимой, когда река питается только за счет подземных (грунтовых) вод.

Снежный покров появляется в среднем в первой декаде ноября. Средние даты схода снежного покрова приходятся на начало апреля. Высота снежного покрова обычно составляет около 30 см.

Согласно [1–3], термический режим реки Западная Двина напрямую зависит от погодных условий территории и имеет два чётко выраженных периода. Первый период (ледостав) наступает, когда отрицательные температуры воздуха охлаждают температуру водной массы до постоянной, почти равной нулю величины. Второй период (свободной водной поверхности) начинается с весенним повышением температуры воздуха, ведёт за собой процесс интенсивного разрушения ледяного покрова.

Распределение среднемесячных температур воды представлено в таблице.

Распределение среднемесячных температур воды, °С,
за период 2005–2012 годов

Год	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	
Месяц	1	0	0	0	–	–	1,5	–	0,4
	2	–	0	0	–	–	0	–	–
	3	–	0	0,1	–	1,3	1,6	–	–
	4	4,3	4,3	5,5	5,1	8,1	7,4	3,6	4,5
	5	15,6	14,2	15,8	13,6	13	13,9	13,4	13
	6	18,1	21,6	19,9	18	17,7	21,6	18,9	18
	7	21,6	23,8	25,4	21,1	20,7	19,8	22,9	22
	8	19,8	20,7	23,2	19	19,9	21	19,4	19,9
	9	14,6	15,6	14	15,9	13,2	13,6	14,4	15,4
	10	8,7	8,7	6,3	7	8,8	8,7	10	8,7
	11	3,1	3,4	4,9	3,9	2,9	1,4	2,6	1,7
	12	0,3	1,5	0	–	0,9	0,4	3,5	0,4

К основным физическим показателям качества воды в реке Западная Двина, влияющим на технологический режим фильтровальной станции и на реагентную обработку воды, относятся:

- взвешенные вещества;
- цветность.

Материалом для исследования послужили данные ежедневных лабораторных анализов сырой воды, поступающей на фильтровальную станцию, выполняемых аккредитованной лабораторией завода «Полимир» за период 2004–2013 годов.

Взвешенные вещества. На рисунке 2 представлен график внутригодового изменения среднемесячных концентраций взвешенных веществ, обобщенных за период с 2004 по 2013 год.

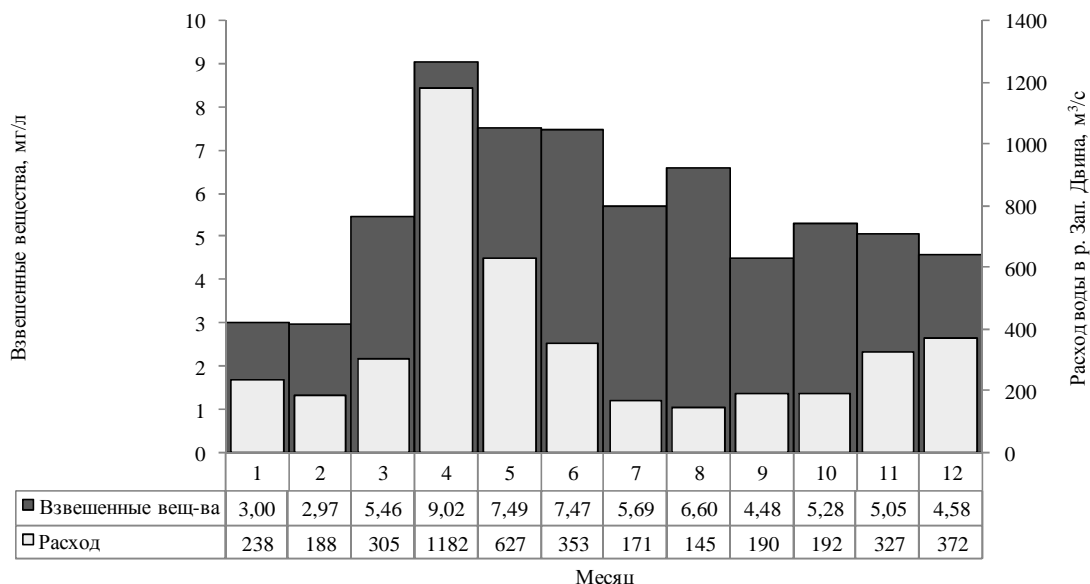


Рис. 2. Динамика изменения среднемесячных концентраций взвешенных веществ в сырой воде

Наибольшие концентрации взвешенных веществ приходятся на период половодья, что объясняется поступлением наносов с тальми водами с бассейна реки Западная Двина и эрозией донных отложений потоком воды в реке.

Уменьшение расхода воды в реке в период летне-осенней межени приводит к снижению концентрации взвешенных веществ. Паводки в этот период, вызванные дождями, приносят в русло реки Западной Двины продукты водной эрозии. В работах [4; 5] авторы говорят о том, что кратковременные дожди небольшой интенсивности обеспечивают большой вклад в мутность даже при малом приросте расхода воды в реке. Наибольшая концентрация продуктов смыва наблюдается в самом начале дождя, когда поверхность грунта еще не пропиталась влагой. По этой причине частые небольшие дожди с перерывами на высыхание поверхности могут внести большой вклад в мутность реки, чем длительные непрерывные дожди.

В ноябре и декабре концентрация взвешенных веществ остается на уровне осенней межени (см. рис. 2) и поддерживается за счет поступления в реку наносов с паводками, вызванными оттепелями, приводящими к таянию льда и снега на территории бассейна реки Западная Двина. В январе и феврале концентрация взвешенных веществ наименьшая, что вызвано уменьшением расхода воды в реке и питанием в основном за счёт грунтовых вод.

Отбор проб проводился из трубопровода сырой воды перед подачей на очистные сооружения фильтровальной станции. Сырая вода на фильтровальную станцию поступает с ковшового водозабора по двум напорным водоводам. В связи с этим возможно, что качество воды по взвешенным веществам на входе фильтровальной станции отличается от ее качества в реке Западная Двина [6].

Цветность. Цветность характеризует содержание органических веществ в воде, а также некоторых неорганических соединений, таких как соединения железа, сероводород, нитриты, аммиак.

Динамика изменения среднемесячных концентраций цветности в сырой воде, обобщенная за период с 2004 по 2013 год, показана на рисунке 3.

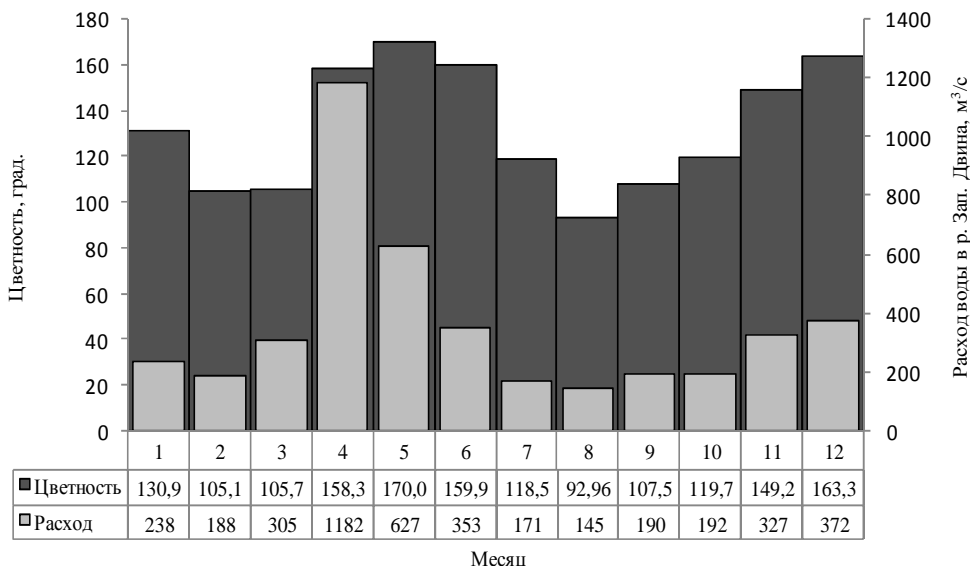


Рис. 3. Динамика изменения среднемесячных концентраций цветности в сырой воде

Рассмотрим зависимость цветности от расхода воды в реке Западная Двина. В период весеннего половодья (см. рисунок 3) наблюдаются максимальные значения цветности за счёт поступления фильтровальных вод насыщенных органическими веществами с территории бассейна реки Западной Двины. С наступлением летней межени расход воды в реке падает, что приводит к снижению цветности и окисляемости. Осенью наблюдается рост расхода воды за счёт осенних паводков и увеличение цветности и окисляемости.

В зимнюю межень с уменьшением расхода воды в реке уменьшается цветность. Следует отметить, что значения цветности и окисляемости в ноябре, декабре и январе близки к максимальным значениям, наблюдаемым в период весеннего половодья. Возможно, это связано с загрязнением реки сточными водами.

Выявив динамику изменения физических показателей качества воды в реке Западная Двина за многолетний период возможно прогнозирование изменения качества воды в водоемосточнике в последующие годы, что позволит оптимизировать реагентный режим фильтровальной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полищук, А.И. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь / А.И. Полищук, Г.С. Чекан. – Минск: Книгзабор, 2009. – 268 с.

2. Алёкин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алёкин. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 301 с.
3. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник / А.М. Никаноров. – 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
4. Статистические характеристики изменчивости качества воды, поступающей на водопроводную станцию / Б.М. Долгоносов [и др.] // Инженерная экология. – 2004. – № 3. – С. 2–20.
5. Долгоносов, Б.М. Статистическая оценка взаимосвязи расхода воды в реке и ее мутности в водозаборных сооружениях / Б.М. Долгоносов, К.А. Корчагин // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32, № 2. – С. 196–204.
6. Прогноз показателей качества воды на входе водопроводной станции / Б.М. Долгоносов [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 11. – С. 15–20.

УДК 628.16.08(476)

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЫРОЙ ВОДЫ, ПОСТУПАЮЩЕЙ НА ФИЛЬТРОВАЛЬНУЮ СТАНЦИЮ ЗАВОДА «ПОЛИМИР»

Т.М. МОНЯК

Приводятся результаты исследования динамики изменения химического состава сырой воды, поступающей на фильтровальную станцию завода «Полимир» ОАО «Нафтан» с целью дальнейшей оптимизации работы фильтровальной станции.

Значительное количество промышленных предприятий на территории Республики Беларусь для технологических нужд используют воду из поверхностных источников. Согласно [1; 2] для выбора оптимальной технологической схемы водоподготовки необходимо изучить показатели качества воды в источнике водоснабжения за многолетний период, выявить основные закономерности сезонной и многолетней изменчивости физико-химического состава воды.

Рассмотрим один из аспектов, влияющих на выбор технологической схемы фильтровальной станции, – химический состав сырой воды.

К основным химическим показателям качества воды в поверхностном водоисточнике относятся:

- перманганатная окисляемость (далее по тексту – окисляемость);
- щёлочность;
- железо;
- активная концентрация водородных ионов (рН).

Материалом для исследования послужили данные ежедневных лабораторных анализов сырой воды, поступающей на фильтровальную станцию, выполняемых аккредитованной лабораторией завода «Полимир» за период 2004–2013 годов.

Окисляемость. Данный показатель характеризует содержание органического вещества в воде, а также некоторые неорганические соединения, такие как соединения железа, сероводород, нитриты, аммиак.

Динамика изменения среднемесячных концентраций цветности и окисляемости в сырой воде, обобщенная за период с 2004 по 2013 год, показана на рисунке 1.

Рассмотрим зависимость окисляемости от расхода воды в реке Западная Двина. В период весеннего половодья (см. рис. 1) наблюдаются максимальные значения окисляемости за счёт поступления фильтративных вод насыщенных органическими веществами с территории бассейна реки Западной Двины. С наступлением летней межени расход воды в реке падает, что приводит к снижению цветности.

Щёлочность общая. На рисунке 2 показана динамика изменения среднемесячных концентраций щёлочности, обобщенная за период с 2004 по 2013 год.

Щёлочность воды в реке Западная Двина в течение года изменяется следующим образом: в период половодья щёлочность уменьшается за счёт разбавления концентраций гидратов (ионов OH^-) и анионов слабых кислот (ионов HCO_3^- , CO_3^{2-}) паводковыми водами, с наступлением летней межени расход воды в реке падает, что приводит к увеличению данного показателя. Осенние паводки, вызванные дождями, и оттепели в ноябре и декабре приводят к увеличению расхода воды в реке Западная Двина и, соответственно, к уменьшению щёлочности воды.

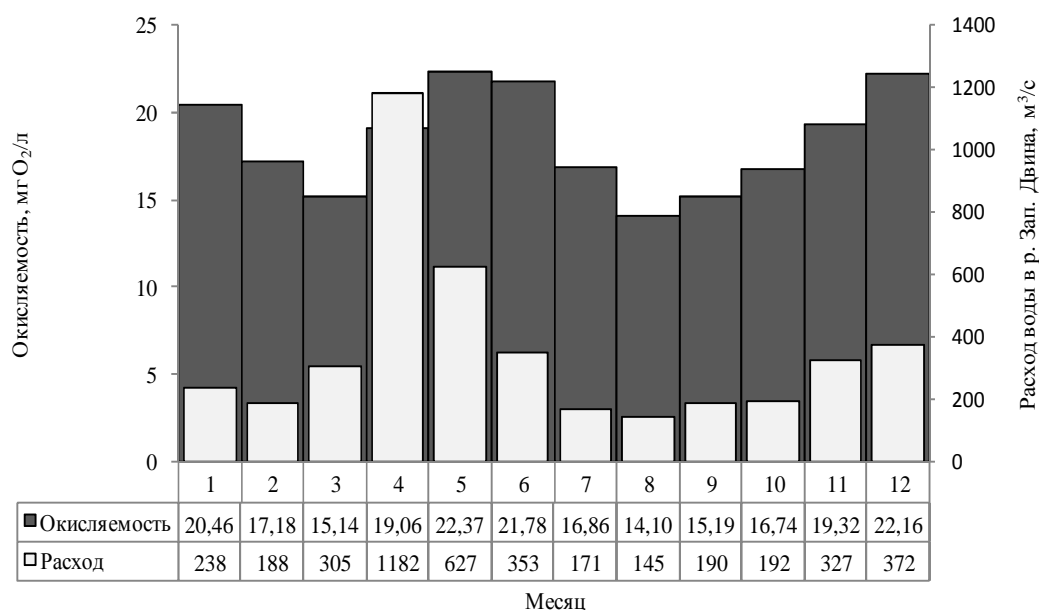


Рис. 1. Динамика изменения среднемесячных концентраций окисляемости в сырой воде

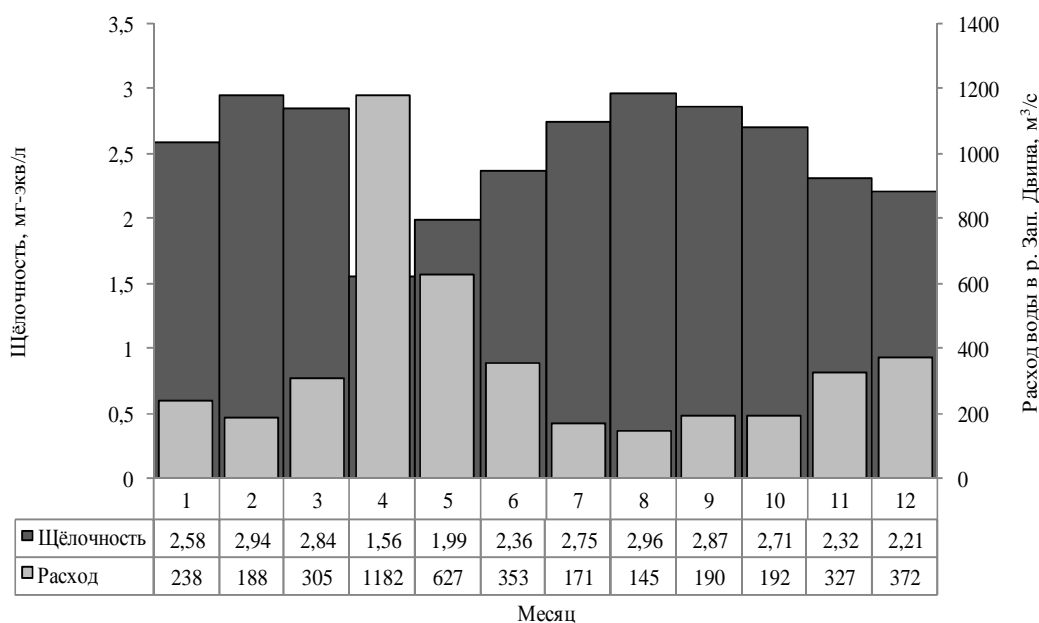


Рис. 2. Динамика изменения среднемесячных концентраций щёлочности в сырой воде

Железо общее. В поверхностных водах железо находится в виде органических комплексных соединений или в виде коллоидных и тонкодисперсных взвесей [3].

Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы вымывания почв, сопровождающиеся их механическим разрушением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуются сложные комплексы соединений железа [4].

В образовании коллоидов соединений железа важную роль играют органические вещества гумусового типа [4; 5]. Наличие болот и мелких рек, содержащих органические вещества гумусового типа, способствует образованию устойчивых коллоидных соединений железа.

Динамика изменения среднемесячных концентраций железа общего, обобщенного за период с 2004 по 2013 год, показана на рисунке 3.

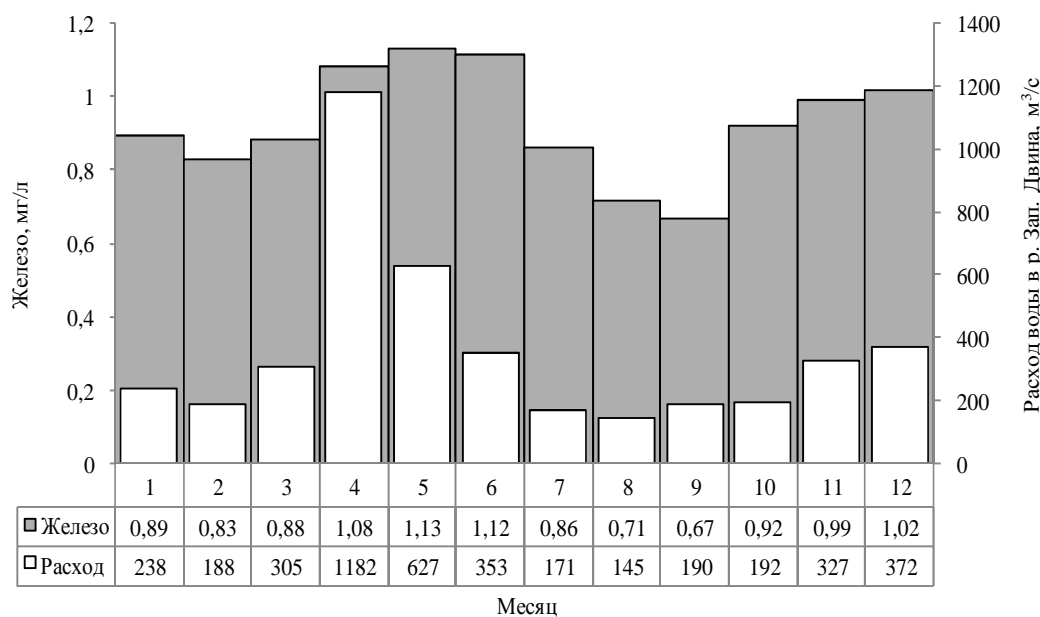


Рис. 3. Динамика изменения среднемесячных концентраций железа общего сырой воде

Концентрации железа в воде в течение года определяется не только расходом воды в реке, но и, являясь необходимым биоэлементом для водных организмов, зависит от потребления железа гидробионтами [6]. В начале вегетационного периода этот биоэлемент интенсивно потребляется не только планктонными организмами, но и высшей водной растительностью.

Активная концентрация водородных ионов (рН). Водородный показатель (рН) характеризует содержание ионов водорода в воде. Вода в реке Западная Двина слабощелочная, рН составляет 6,9–8.

Выявив динамику изменения химических показателей качества воды в реке Западная Двина за многолетний период, возможно прогнозирование изменения качества воды в водоисточнике в последующие годы, что позволит необходимым образом производить наладку реагентного режима в зависимости от состава исходной воды.

ЛИТЕРАТУРА

- Шиян, Л.Н. Химия воды. Водоподготовка: учеб. пособие для вузов / Л.Н. Шиян. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 72 с.
- Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений / М.Г. Журба. – 2-е изд., перераб. и доп.: учеб. пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова; под общ. ред. М.Г. Журба. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 496 с.
- Кульский, Л.А. Основы физико-химических методов обработки воды / Л.А. Кульский. – М.: М-во коммун. хоз-ва РСФСР, 1962. – 221 с.
- Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник / А.М. Никаноров. – 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001 – 444 с.
- Колоидно-химические свойства соединений железа в природных водах / Л.В. Сериков [и др.] // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 28–33.
- Морозова, А.А. Оценка стока растворенного и взвешенного железа из Днепровско-Бугской устьевой области в Черное море: сб. тр. / Наук. праці УкрНДГМІ. – Киев, 2008. – С. 181–190.

УДК

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА НА НОВОПОЛОЦКОЙ ТЭЦ

О.Я. ФЕДОРОВИЧ

(Представлено: канд. техн. наук В.Е. ПИТОЛИН)

Рассматриваются затраты на энергию на предприятии при различных видах отопления и действующих тарифах на энергоносители.

В связи с постоянным изменением тарифов на отпуск потребителям тепловой и электрической энергии при проектировании систем отопления производственных зданий необходимо выполнять анализ стоимости отопления с использованием той или иной схемы отопления.

Выведем алгоритм расчета стоимости отопления здания с использованием виртуальных тарифов, подставляя текущие значения изменяющихся тарифов (или их экстраполяционные величины на ближайший планируемый период) можно будет легко определить целесообразность использования той или иной систем отопления.

Рассмотрим несколько систем отопления:

1. Обычная схема централизованного отопления и горячего водоснабжения.
2. Использование электрических водогрейных котлов.
3. Использование газовых отопительных приборов.
4. Использование теплового насоса с накоплением тепловой энергии.

В качестве примера рассмотрим варианты отопления здания механического цеха, расположенного на территории Новополоцкой ТЭЦ, в отношении которого действуют утвержденные в республике тарифы на тепловую, электрическую энергию и газовое топливо, существенно влияющие на себестоимость продукции этого цеха.

Отоплению и горячему водоснабжению подлежит здание строительным объемом $V = 100\,000\text{ м}^3$. Общая площадь здания (с административно-бытовыми помещениями) составляет $S = 12\,000\text{ м}^2$. Отопительная характеристика здания – $q_0 = 0,23\text{ Гкал/час}$, горячее водоснабжение – $q_{гвс} = 0,4\text{ Гкал/час}$.

Суточный расход тепловой энергии на отопление здания рассчитывается по формуле (1.1):

$$(1.1)$$

где $\tau = 24$ часа; $\lambda = 1,1$ – безразмерный коэффициент потерь теплового потока; $t_{в} = 18^\circ$ – температура внутри помещений согласно СНиП 11-3-79; $t_{нар} = -10^\circ$ – температура наружного воздуха; $t_0 = -1^\circ$ – расчетная температура наружного воздуха начала отопительного сезона.

После подстановки значений получим $Q_0 = 8,95\text{ Гкал}$ в сутки.

Суточный расход тепловой энергии на горячее водоснабжение рассчитывается по формуле (1.2):

$$, \quad (1.2)$$

где $\tau_{гвс} = 2$ часа в сутки.

После подстановки значений получим $Q_{гвс} = 0,88\text{ Гкал}$ в сутки.

Суммарное количество тепла для отопления и горячего водоснабжения этого цеха в сутки составит $Q_{\Sigma} = Q_0 + Q_{гвс} = 9,83\text{ Гкал}$ в сутки.

Количество теплота измеряется в джоулях (СИ) или калориях (СГС), причем $1\text{ Кал} = 4,19\text{ Дж}$.

Вариант 1. Централизованное отопление.

Стоимость централизованного отопления здания можно рассчитать по формуле (1.3):

$$, \quad (1.3)$$

где $C_{ц0} = 434167\text{ руб/Гкал}$ – действующий тариф на тепловую энергию для промышленных предприятий и частных предпринимателей.

Таким образом, стоимость суточного отопления здания механического цеха при использовании системы централизованного отопления составляет $S_{ц0} = 4267862\text{ руб/сутки}$.

Вариант 2. Использование электрических водогрейных котлов.

Количество и стоимость электроэнергии, затраченной на отопление здания при использовании электрических водогрейных котлов можно ориентировочно оценить по формуле (1.4) прямого преобразования электрической мощности в тепловую энергию согласно закону Джоуля-Ленца ($Q=Wt$):

$$S_{Э} = C_{Э} \cdot \frac{1162,8 \cdot Q_{Г}}{\eta_{Э}} + C_{W} \cdot \frac{1162,8 \cdot Q_{Г}}{24 \cdot 30 \cdot \eta_{Э}}, \quad (1.4)$$

где $\eta_{Э}=0,92$ - КПД электрического водогрейного котла,

$C_{Э}=1090$ руб/квтчас – действующий одноставочный тариф на электрическую энергию для промышленных предприятий.

$C_{W}=117155$ руб/квт в месяц – действующий тариф на электрическую мощность для промышленных предприятий.

1162,8 – коэффициент, отражающий перевод гигакалорий в килоджоули, а секунд в часы.

После подстановки в формулу получим $S_{Э}=15\,564\,066$ руб/сутки.

Вариант 3. Использование газовых отопительных приборов.

Количество и стоимость природного газа для отопления можно рассчитать через его теплотворную способность по формуле (1.5):

$$S_{Г} = C_{Г} \cdot \frac{4190000 \cdot Q_{Г}}{\eta_{Г} \cdot q_{Г}}, \quad (1.5)$$

где $q_{Г}=33520$ кДж/м³ – средняя теплотворная способность природного газа,

$\eta_{Г}=0,95$ - КПД газового водогрейного котла,

$C_{Г}=2\,615$ руб/м³ – действующий тариф на газ в отопительный период для промышленных предприятий и частных предпринимателей.

После подстановки в формулу получим $S_{Г}=3\,382\,296$ руб/сутки.

Вариант 4. Использование теплового насоса с накоплением тепловой энергии.

Представляется целесообразным для отопления механического цеха использовать теплонасосную установку, так как цех находится на берегу сбросного канала. По этому каналу отводится вода, охлаждающая конденсаторы паровых турбин электрогенераторов ТЭЦ. Температура воды в канале обычно на 10° -15° превышает температуру окружающего воздуха и никогда не опускается ниже 10°С.

Размер теплового потока в канале $Q_{к}=t_{к} \cdot V_{к} \cdot \tau=10 \cdot 10 \cdot 24=2400$ гигакалорий в сутки существенно (на несколько порядков) превышает требуемое количество тепла на отопление цеха.

Мощность электропривода компрессора теплового насоса рассчитывается по формуле (1.6):

$$W = \frac{1162,8 \cdot Q_{Г}}{24 \cdot \varepsilon}, \quad (1.6)$$

где $\varepsilon=10$ кДж/втчас – средний коэффициент мощности теплового насоса.

Мощность электродвигателя компрессора будет составлять 50 киловатт, а стоимость электроэнергии, затраченная на отопление с помощью теплового насоса, рассчитывается по формуле (1.7):

$$, \quad (1.7)$$

где $k=2$ – коэффициент кратности контуров нагрева,

$C_{Э\min}=845$ руб/квтчас – минимальный (ночной) тариф для систем отопления с тепловыми насосами.

В связи с тем, что тепловой насос имеет небольшой перепад температур (25-30°С) для отопления и ГВС используется 2-х контурная схема нагрева воды и накопительная емкость объемом 10 м³ для хранения нагретой воды в ночной период.

Стоимость будет составлять $S_{ТН}=2028600$ руб/сутки.

Схема включения теплового насоса на рисунке 1.

В качестве теплового насоса можно использовать, например, НКТ 100 фирмы ЗАО «Энергия» (г.Новосибирск, РФ) тепловой мощностью 300 киловатт и электрической мощностью привода 50 квт при температуре воды в канале 10-15 °С.

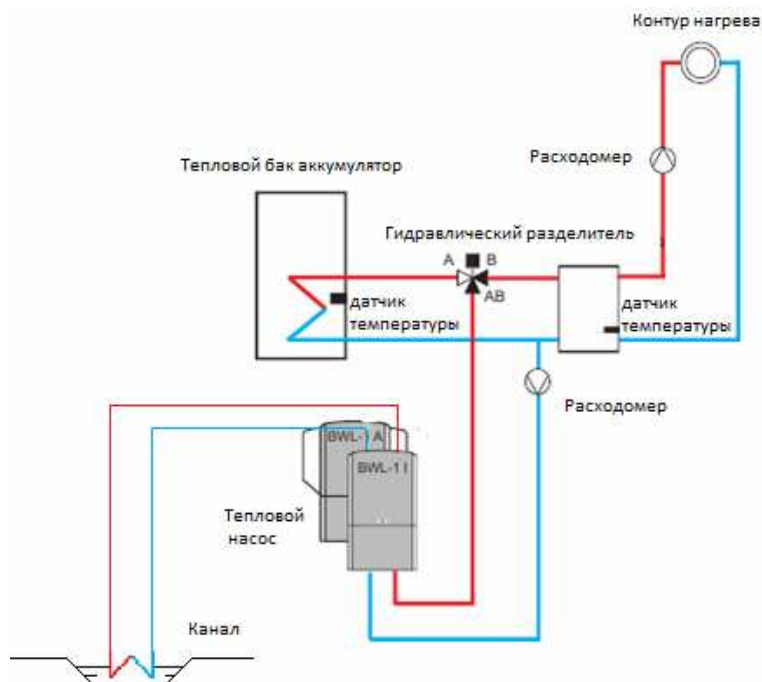


Рисунок 1- Схема включения теплового насоса.

Для наглядности полученные результаты отображены на диаграмме

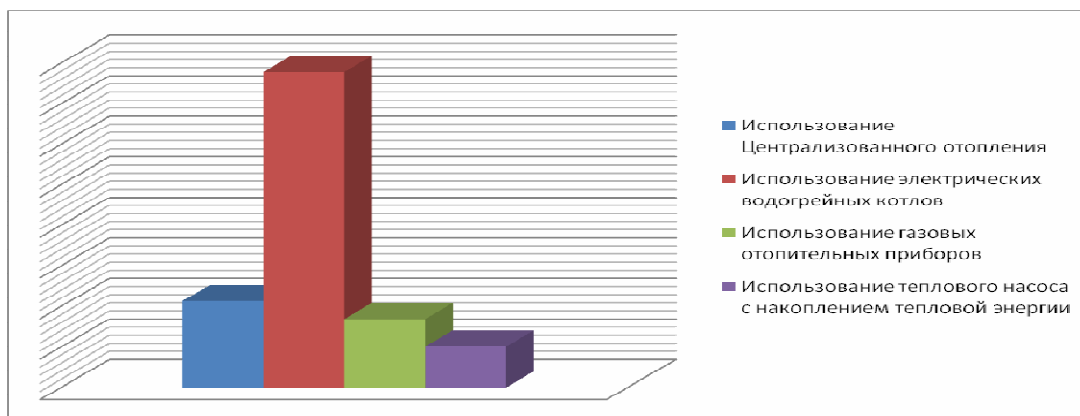


Диаграмма 1 - Общая диаграмма стоимостей

Из приведенной диаграммы видно, что наилучшим, наиболее рентабельным вариантом отопления и ГВС здания механического цеха на территории Новополоцкой ТЭЦ является использование теплового насоса: это в 2 раза дешевле использования централизованного отопления и в 8 раз дешевле использования обычных электрических водогрейных котлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник для вузов. - М.: Энергоиздат, 1981 г. - 464 с.
2. Галашов Н. Н. Технологические процессы выработки электроэнергии на ТЭС и ГЭС: Учебное пособие. - Томск. Издательство Томского политехнического университета, 2010. - 90 с.
3. Качан А.Д. Режимы работы и эксплуатации тепловых электрических станций: Учебное пособие. - Мн., Выш. школа. 1978 г. - 288с.