

ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 697.921.42

ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО ТОРФА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРА-СБОРНИКА

В.Ю. МАСЛЕНКОВА, М.А. СЕЛЕЗНЕВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Т.И. КОРОЛЕВА)

Рассматривается возможность применения пневматического транспортирования измельченного торфа. Показаны преимущества и недостатки пневмотранспортных установок. Предложена схема двухступенчатого отделения материала с применением вертикального коллектора-сборника. На основе лабораторных экспериментов определена эффективность работы оборудования для отделения материала.

Постоянно возрастающие требования к культуре производства и санитарно-гигиеническим условиям труда, необходимость уменьшения капитальных затрат и расходов на текущее обслуживание оборудования непрерывного транспорта ставят на повестку дня вопрос о более широком использовании в промышленности и сельском хозяйстве систем пневматического перемещения различных сыпучих сред. Опыт предприятий различных отраслей свидетельствует о перспективности применения пневматического транспорта для перемещения пылевидных, зернистых, волокнистых и мелкоштучных материалов и возможности его использования для транспортирования различных сред.

Общеизвестны преимущества пневмотранспортных систем перед другими видами транспортного оборудования, они компактны, просты по устройству, легко вписываются в различные технологические процессы, характеризуются отсутствием отходов и потерь перемещаемых материалов, высокими санитарно-гигиеническими условиями их транспортирования, возможностью полной автоматизации и улучшением условий труда. Достоинством пневматического транспортирования сыпучих сред является возможность его использования в сочетании с различными массообменными и технологическими процессами, например, с охлаждением и сушкой перемещаемого материала, его измельчением и сепарацией, очисткой от посторонних включений. Пневмотранспортные установки обеспечивают возможность перемещения сыпучих сред по сложной траектории, разгрузку материала из различных средств доставки и его забор из труднодоступных мест, выдачу материала в различных точках, надежную защиту от атмосферных воздействий и защиту окружающей среды от чрезмерных пылевых выбросов. Оборудование пневмоустановок отличается простотой эксплуатации и легкостью управления.

Основным недостатком, который ограничивает применение пневмотранспортных установок, является большой расход энергии по сравнению с другими видами непрерывного транспорта. Это в значительной мере обусловлено произвольным выбором скорости воздушного потока, концентрации аэросмеси и диаметра трубопровода [1].

Стандартные пневмотранспортные установки предлагают нам одноступенчатое отделение материала с помощью циклона (рис. 1). Во всасывающей пневмотранспортной установке транспортирующий газ засасывается вместе с материалом и по пути происходит их смешивание. Далее двухфазный поток «воздух – частицы сыпучего материала» перемещается по транспортным трубопроводам в отделительное устройство потребителю, где материал отделяется от несущей среды, которая поступает в воздуходушную машину. Из воздуходушной машины несущая среда выбрасывается в атмосферу.

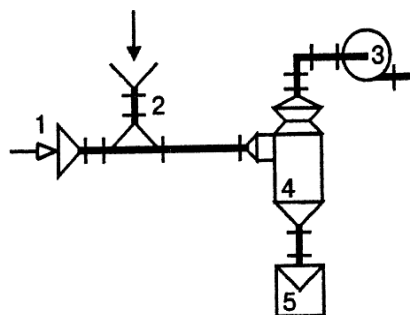


Рис. 1. Принципиальная схема пневмотранспортной установки:

- 1 – забор воздуха; 2 – загрузочная воронка;
3 – воздуходушная машина;
4 – отделитель (циклон); 5 – бункер

Отделение материала можно осуществлять двухступенчатой очисткой транспортирующего газа от твердой несомой среды в зависимости от начальной концентрации примесей. Предлагается схема двухступенчатого отделения материала с применением в качестве первой ступени вертикального коллектора-сборника [2], в качестве второй ступени – циклона (рис. 2). Такая установка может быть использована при необходимости получения качественной зернистой фракции торфа для дальнейшего его использования. Были проведены экспериментальные исследования по определению эффективности отделения торфа в коллекторе-сборнике и циклоне.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2. Для опыта был использован питательный грунт на основе верхового торфа, выпускаемый предприятиями УП «Витебскоблгаз». Навеска торфа без разделения по фракциям была пропущена через вертикальный коллектор-сборник [2] и циклон. Установлено, что в циклоне улавливается мелкая фракция, в коллекторе-сборнике – крупная. Таким образом, торф отделенный в циклоне является более качественным (без мусора и практически без волокнистых соединений). Коэффициент эффективности улавливания такой установки в коллекторе-сборнике (η) составил 84 %, в циклоне – 11 %. Общая эффективность установки $\eta = 95$ %.

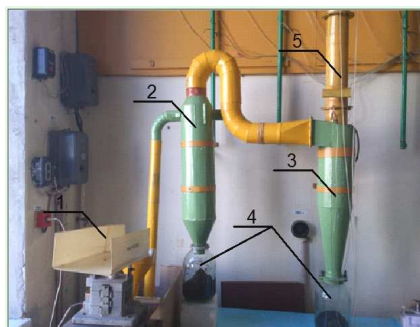


Рис. 2. Экспериментальная установка:
1 – питатель; 2 – коллектор-сборник;
3 – циклон; 4 – бункер; 5 – выхлопная труба

При увеличении концентрации был получен более высокий коэффициент улавливания в коллекторе-сборнике $\eta = 93$ %, а в циклоне $\eta = 4$ %. Общая эффективность установки составила 97 %.

При пропускании навески для отделения только через циклон эффективность его работы $\eta = 98$ %. Результаты эксперимента представлены на гистограмме (рис. 3).

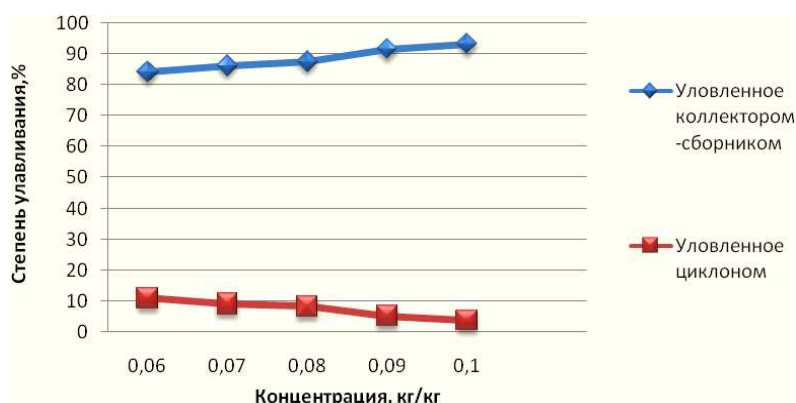


Рис. 3. Эффективность отделения материала в экспериментальной установке

Выводы:

- использование двухступенчатого отделения торфа из двухфазной аэросмеси с помощью вертикального коллектора-сборника и циклона приводит к разделению материала и оседанию в коллекторе-сборнике крупных фракций и мусора, в циклон попадает мелкозернистая фракция. Общая эффективность отделения составляет 95...97 %;

- при использовании только циклона для отделения торфа эффективность очистки $\eta = 98$ %;

- двухступенчатое отделение может быть обусловлено необходимостью получения качественной зернистой фракции торфа без мусора и волокнистых соединений, используемой, например, для выращивания рассады растений и других целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрусталёв, Б.М. Пневматический транспорт / Б.М. Хрусталев, Н.В. Кислов. – Минск: ООО «Информационная служба недвижимости», 1998. – 452 с.
2. Аспирационный вертикальный коллектор-сборник: пат. 365 Респ. Беларусь, МПК В 08В 15/00 / Т.И. Королёва; заявл. 26.12.2000; опубл. 30.09.2001 // Официальный бюл. Государственного патентного ведомства Респ. Беларусь. – 2001. – № 3.

УДК 628.147.25:005

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ
НА ТРУБОПРОВОДАХ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ****Н.М. БОРДАДЫНОВА, Я.Н. КУЗЬМИНОВА***(Представлено: С.П. СТУДЕНИКИНА)*

Рассмотрены основные факторы, оказывающие неблагоприятное влияние на техническое состояние водопроводных сетей. Выявлены основные причины отказов и нарушений в работе водоводов. Проанализированы показатели надежности и ремонтпригодности трубопроводов.

Аварией на водопроводных предприятиях считается полное или частичное прекращение водоснабжения населенного пункта или отдельного его района, вызванное повреждением водопроводных сооружений, трубопроводов водопроводной сети или водоподъемных агрегатов.

На техническое состояние водопроводных сетей оказывают влияние различные факторы: динамические нагрузки (транспорт); коррозия; гидравлические удары (резкое изменение внутреннего давления); деформация почвы (замерзание, оттаивание, просадки); уровень грунтовых вод; старение металла; качество железобетонных конструкций; низкое качество строительно-монтажных работ и др.

Значительное негативное влияние на техническое состояние водопроводных сетей и сооружений оказывает выполнение строительства и ремонт дорог с отклонением от проектных решений. Увеличение динамических нагрузок на водопроводную линию или сооружение в сочетании с нарушениями требований по их прокладке приводит к возникновению аварийных ситуаций.

При оценке причин нарушений в работе сетей водопровода и статистических анализах аварий различных территорий было выявлено, что около 70...80 % аварий приходится на чугунные трубы и 20...30 % на стальные.

Основной вид повреждения чугунных и стальных труб – расстройство стыковых соединений, наблюдаемое преимущественно в первые годы их эксплуатации. Рост повреждений сварных швов (стальные трубы) объясняется главным образом их некачественностью вследствие выполнения сварки стыков летом при высокой температуре наружного воздуха, а также заключаются в неправильной укладке трубопровода в траншею, потере сцепления тела трубы с грунтом на большом протяжении.

Так, исходя из вида аварий, приблизительно 40 % связано с разрывом швов; 25 % – с разломами; 20 % – с отверстиями; 10 % – с трещинами; 5 % с дефектами стыков. Причиной разрывов швов в большинстве случаев ($\approx 80\%$) является гидравлический удар (на долю деформации почвы и коррозии приходится 20 %), а причиной образования сквозных отверстий – коррозия материала труб ($\approx 80\%$) (на долю деформации почвы и гидроудара – 20 %). В то же время основной причиной разломов ($\approx 75\%$) и трещин ($\approx 60\%$) в трубопроводах явилась деформация почвы. Такие причины, как гидроудар и коррозия, составляют оставшиеся 25 и 40 % для разломов и трещин соответственно.

Разрывы и трещины труб крупного диаметра – наиболее опасный вид аварий, так как они могут быть причиной затопления городских территорий, подвалов, подмыва и обрушения зданий, размыва больших котлованов и выноса значительных объемов земли. При этом обычно наблюдается резкое снижение напоров в сети. Ликвидация подобных повреждений составляет значительный объем работ.

В настоящее время для производства труб используются самые разные материалы: металлы, пластмассы, керамика, асбестоцемент, бетон и композиции из нескольких материалов. Каждый материал имеет свои достоинства и недостатки. Чтобы сориентироваться в этом многообразии и выбрать нужный тип трубы, необходимо знать цель использования трубопровода, параметры его работы и требуемую долговечность.

Рассматривать свойства труб целесообразно по виду материала, из которого они изготовлены, так как вид материала определяет эксплуатационные характеристики трубы, ее долговечность, методы монтажа и, естественно, стоимость.

Согласно статистическим данным, аварии на трубах большого диаметра происходят реже, чем на трубах среднего диаметра, это можно проследить, анализируя таблицу 1, в которой представлены показатели аварийности чугунных водоводов в одну нитку [1]. Тем не менее аварии на трубах большого диаметра наносят больший ущерб безопасности работы системе водоснабжения. Повреждения дорожных покрытий, размывы объемных котлованов, ущерб близкорасположенным инженерным коммуникациям, большие потери воды создают дополнительные сложности в локализации поврежденных участков и приводят к нарушению водоснабжения.

Таблица 1

Показатели аварийности чугунных водоводов в одну нитку

Диаметр водовода, D, мм	Среднее число аварий за 1 год при длине водовода L, км			
	L = 1	L = 2	L = 10	L = 15
200 (при $\lambda \approx 0,92$ 1/км·год)	1	5	9	14
400 (при $\lambda \approx 0,65$ 1/км·год)	1	3	6	10
600 (при $\lambda \approx 0,46$ 1/км·год)	–	2	5	7
800 (при $\lambda \approx 0,37$ 1/км·год)	–	2	4	5

Величины интенсивности отказов и ремонтов водопроводов приведены в таблице 2 [2].

Таблица 2

Показатели надежности и ремонтпригодности трубопроводов (при уровне достоверности $\delta = 0,95$)

Материал и диаметр трубопроводов, мм	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^4$, 1/ч·км			Интенсивность ремонтов, $\mu \cdot 10^2$, 1/ч·км
	λ_{\min}	$\lambda_{\text{ср}}$	λ_{\max}	
Трубы чугунные <i>d</i> :				
100	0,9	1,02	1,14	1-4
150	0,75	0,92	1,09	1-4
200	0,70	0,87	1,05	1-4
300	0,55	0,70	0,85	1-4
400	0,50	0,62	0,74	1-4
500	0,47	0,52	0,57	1-4
600	0,44	0,48	0,53	1-4
700	0,4	0,44	0,48	1-4
800	0,36	0,39	0,42	1-4
900	0,34	0,37	0,4	1-4
Трубы стальные <i>d</i> :				
100	0,18	0,29	0,40	2-4
150	0,16	0,25	0,35	2-4
200	0,15	0,22	0,30	2-4
250	0,13	0,19	0,25	2-4
300	0,12	–	0,20	2-4
400	0,11	–	0,18	2-4
500	0,10	–	0,15	2-4
600	0,10	–	0,14	2-4

Анализ данных этой таблицы позволяет сделать вывод, что чугунные трубы имеют интенсивность отказов в 3...4 раза больше, чем стальные трубы при одном и том же диаметре. В то же время интенсивность ремонта стальных труб выше, чем чугунных. Повышение величины интенсивности отказов чугунных труб обусловлено их хрупкостью.

Аварийность сетей ухудшает водоснабжение потребителей. Устранение повреждений приводит в отдельных случаях к длительному выключению сетей и нарушению водоснабжения. В связи с этим необходимо вести строгий учет повреждаемости сети и анализ причин этих повреждений. Таким образом, учет и анализ состава сети водоснабжения и местных условий их расположения помогает выявлять наиболее слабые звенья в работе системы подачи воды и принимать своевременно необходимые меры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математические методы решения задач надежности водопроводно-канализационных систем. Раздел I. Основы надежности инженерных систем / С.С. Душкин [и др.]. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 56 с.
2. Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: учеб. пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж. М. Говорова; под ред. М.Г. Журбы. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Изд-во АСВ, 2003. – 288 с.

УДК 622.0692.4

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД**Д.А. КИСЕЛЕВ, А.А. ГРИНЕВИЧ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЕНКО; Т.С. КАЗМИРКИВСКАЯ)*

Рассматривается проблема отсутствия системного подхода ликвидации аварий с выходом нефти на землю и попадания в водоносные горизонты. Выделены классификационные признаки, которые могут быть положены в основу новой производственной классификации земель и подземных вод, позволяющей определить степень распространения и опасности воздействия нефтяных загрязнений аварии с выходом нефти.

В Республике Беларусь находятся многочисленные организации или производственные подразделения, на которых осуществляется добыча, транспорт, переработка, хранение, распределение и использование нефти и нефтепродуктов. Они являются потенциальными источниками загрязнения нефтью земель, водных объектов и почвенных вод. Аварии на этих производствах могут привести к залповому сбросу нефти и нефтепродуктов на земли в водные объекты и могут проникнуть в почвенные грунты. Современная практика борьбы с загрязнением водных объектов нефтью накопила определенный опыт в этой области, имеются разнообразные технические средства для локализации и ликвидации последствий залповых сбросов нефти.

В настоящее время разработана система защиты поверхностных вод от загрязнения нефтью [1–4], разработаны типовые технологии по локализации и ликвидации загрязнений нефтью [5–8], создано достаточно много способов и оборудования сбора нефти с поверхности воды. Однако вопрос системного подхода, ликвидации аварий с выходом нефти на землю и попадания в водоносные горизонты в литературных источниках практически не освещен. В настоящее время разработаны технологии и оборудование для ликвидации загрязнения земель от нефти [9]. Наиболее часто встречающимися методами ликвидации аварийных разливов нефти является рекультивация почв, как техническая, так и биологическая. При технической рекультивации проводят увлажнение почвы, на биологическом этапе рекультивации производится посев трав. Однако разработанные технологии ликвидации загрязнения нефтью земель не могут создать комплексную систему защиты с использованием типовых технологий, учитывающих характеристику земель, ландшафтные условия выхода нефти при авариях и степень опасности загрязнения для окружающей среды. Вопросам защиты подземных вод при аварийных разливах нефти в настоящее время вообще не уделяется должного внимания.

Проблема загрязнения подземных вод особенно актуальна в случае близости водного объекта к месту выхода нефти. При попадании нефти в подземные воды нефть может попасть в водный объект (реку) и распространится на большие расстояния. Одним из условий эффективной защиты земель и подземных вод может явиться системный подход к этой проблеме.

Организация системы защиты земель и подземных вод от нефтяных загрязнений должна проводиться для обеспечения надежной защиты земель и подземных вод от загрязнений залповыми сбросами нефти в результате аварий на технических объектах транспорта, хранения, распределения и использования нефтепродуктов и минимизации экологического ущерба.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- осуществить анализ физических условий процессов загрязнения земель и подземных вод нефтью при залповых сбросах и осуществить классификацию факторов, влияющих на загрязнение земель и подземных вод при авариях с выходом нефти;
- по каждому фактору установить механизм его влияния и дать оценку степени его влияния;
- классифицировать аварии по степени тяжести экологических последствий;
- разработать методологические (научные) основы организации защиты земель и подземных вод от нефтяных загрязнений при аварии;
- практическая реализация выработанных методик путем разработки технологических процессов локализации и ликвидации нефтяных загрязнений и создания эффективных конструкций нефтесборного оборудования;
- разработать нормативно-методические документы, регламентирующие деятельность по защите земель и подземных вод от нефтяных загрязнений при промышленных авариях.

Одним из условий нераспространения загрязнения в грунтах и водоносных горизонтах является оптимизация процессов ликвидации разлива нефти на землях. Для минимизации последствий загрязнения земель и подземных вод необходимо разработать типовые методы ликвидации разливов нефти.

Создание научно обоснованных рекомендаций по защите земель и подземных вод от нефтяных загрязнений при залповых выбросах должно быть осуществлено на основе комплексного подхода к их характеристике. Комплексный подход к характеристике земель и подземных вод позволит создать производственную классификацию земель и подземных вод.

При характеристике земель и подземных вод необходимо учитывать как характер гидрологической и геоландшафтной ситуации, так и возможность появления залпового сброса нефти. Такой подход позволит создать классификацию, на основе которой можно разработать различные технические мероприятия по профилактике и ликвидации разливов нефти.

Создание новой классификации должно осуществляться на основе ряда уже существующих классификаций земель и подземных вод. Классификацию земель можно осуществить по ряду признаков [10]. Согласно Кодексу Республики Беларусь «О земле» одним из главных классификационных признаков является классификация по целевому назначению. По этому признаку все земли делятся на сельскохозяйственные, земли лесного фонда.

Также необходимо учитывать количественное и качественное влияние растительного покрова.

Следующим признаком, по которому необходимо классифицировать земли, является влажность. По этому признаку все грунты делятся на сухие и влажные. Во влажных землях нефть растекается по поверхности, при этом площадь загрязнения может быть достаточно обширная, а на сухих землях нефть не растекается, а проникает вглубь. Из этого следует, что ущерб при разливе на влажных землях значительно больше. При попадании нефти на земли необходимо учитывать и пористость грунтов.

Эти подходы положены в основу производственной классификации земель, представленной в виде схемы (рис. 1). Классификация земель позволяет определить местоположения выхода нефти, площадь распространения пятна и глубину проникновения нефти.

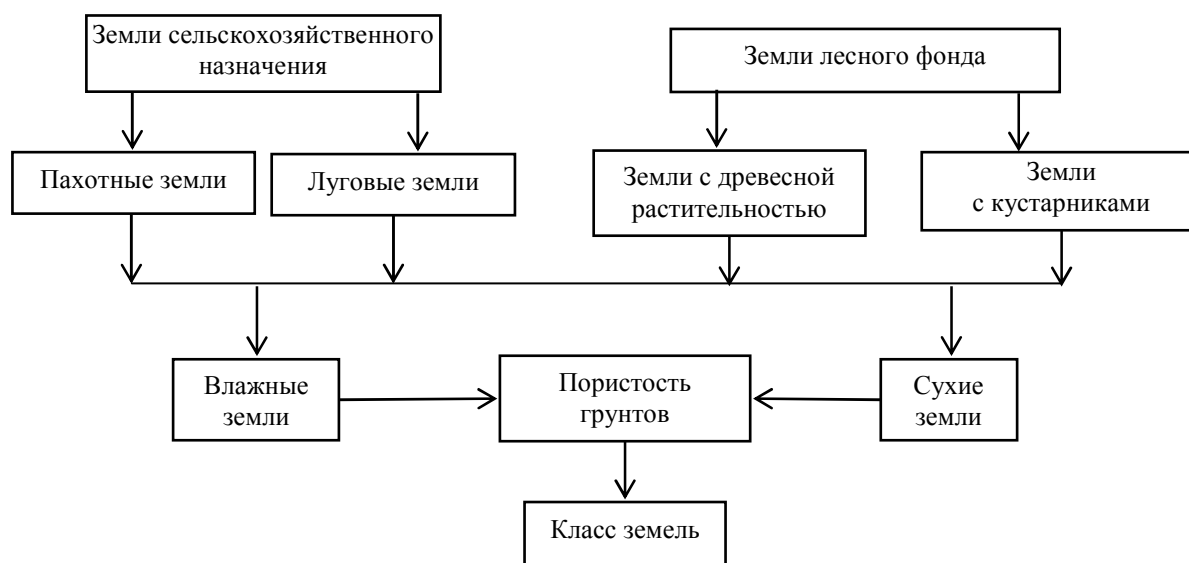


Рис. 1. Производственная классификация земель

Как уже указывалось, создание научно обоснованной классификации подземных вод должно осуществляться на основе ряда уже существующих классификаций. Наиболее плодотворно может быть использована классификация подземных вод, представленная О.К. Ланге. Подземные воды делят на воды зоны аэрации: почвенные и верховодка, воды зоны насыщения: грунтовые и межпластовые. Для создания рекомендаций по минимизации последствий загрязнения подземных вод нефтью наиболее интересны классификационные признаки, которые делят воды зоны аэрации на почвенные воды и верховодку. Перечисленные зоны аэрации подземных вод находятся близко от поверхности земли, и при аварийных разливах нефти при определенных условиях нефть может проникнуть в эти зоны. Условием проникновения нефти в зоны подземных вод является ландшафтное положение места выхода нефти. Ландшафтное положение выхода нефти можно определить по следующим признакам: низменные места (вблизи водных объектов), низины, возвышенные места. Наиболее опасные с точки зрения распространения нефтяного загрязнения будут низменные места (вблизи водных объектов). При попадании нефти на эти участки через близко залегающие подземные воды, соединяющиеся с поверхностными, нефть распространяется на большие расстояния.

При разработке классификации грунтовых вод также необходимо учитывать пористость грунтов, так как при большой пористости нефть может проникнуть на большую глубину. В этом случае при высоком уровне подземных вод нефть может проникать через пористые грунты в подземные воды и распространяться на большие расстояния, с последующим попаданием в поверхностные воды. Перечисленные признаки могут быть положены в основу производственной классификации подземных вод. Схема производственной классификации грунтовых вод представлена на рисунке 2.

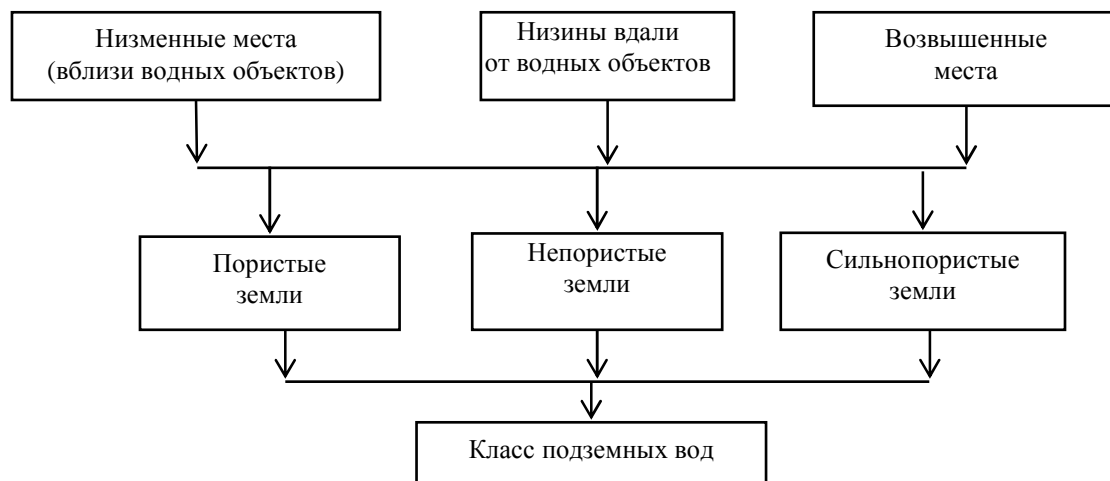


Рис. 2. Производственная классификация подземных вод

Приведенная классификация подземных вод позволяет определить геоландшафтное и гидрологическое положение участка загрязненного нефтью. Однако для оценки ущерба, причиненного землям и подземным водам в случае аварийных разливов нефти, необходимо учитывать эколого-экономическую значимость. Этот классификационный признак является общим для земель и для почвенных вод. Разработанные классификации позволили ранжировать аварии с выходом нефти на земли и попадании в подземные воды по степени распространения и опасности воздействия нефтяных загрязнений на окружающую среду. По степени распространения и опасности воздействия нефтяных загрязнений аварии с выходом нефти на земли и попадания в почвенные воды можно ранжировать на 3 категории (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Аварии с выходом нефти на земли

Степень тяжести аварии	Характерные признаки аварий
Аварии первой степени тяжести	Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на влажные с/х пахотные земли, влажные земли лесного фонда с древесной растительностью
Аварии второй степени тяжести	Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на влажные с/х луговые земли, влажные земли лесного фонда с кустарниками
Аварии третьей степени тяжести	Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на сухие с/х пахотные и луговые земли, сухие земли лесного фонда с древесной и кустарниковой растительностью

Таблица 2

Аварии с попаданием в почвенные воды

Степень тяжести аварии	Характерные признаки аварий
Аварии первой степени тяжести	Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на пониженные места вблизи водных объектов в пористых грунтах
Аварии второй степени тяжести	Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на пониженные места вблизи водных объектов в непористых грунтах, а также на низинах в пористых грунтах
Аварии третьей степени тяжести	Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на низинах в непористых грунтах, а также на возвышенных местах в пористых и непористых грунтах

Ранжирование по степени тяжести аварий на землях и при попадании нефти в почвенные воды позволяет сделать прогноз распространения нефти и рассчитать эколого-экономический ущерб окружающей среде. Зная механизм распространения нефти, можно разработать систему защиты земель и почвенных вод, создавая типовые сценарии ликвидации аварий, являющиеся важнейшим элементом инженерно-технических мероприятий по защите земель и подземных вод.

Таким образом, в результате проведенного исследования поставлены задачи для системного подхода к решению вопроса ликвидации аварий с выходом нефти на землю и попаданием в водоносные горизонты. Определены признаки характеристики земель и подземных вод для создания производственной классификации земель и подземных вод. Разработаны классификации земель и подземных вод, а также проведено ранжирование по степени тяжести аварий на землях и при попадании нефти в почвенные воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти / Д.П. Комаровский [и др.]; под ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 220 с.
2. Черняев, В.Д. Ликвидация аварий на подводных нефтепроводах / В.Д. Черняев, К.А. Забела // Трубопроводный транспорт нефти. – 1995. – № 3. – С. 15–18.
3. Гришанин, К.В. Аварийный разлив нефти по поверхности речного потока / К.В. Гришанин // Гидрология и русловые процессы. – Вып. 5. – М., 1998. – С. 100–105.
4. Система организационно-технических мероприятий по защите водных объектов при залповых сбросах нефти. Обзорная информация / В.К. Липский [и др.]. – Минск: БЕЛНИЦЭкология, 2002 – 40 с.
5. Инструкция по защите окружающей среды при авариях на нефтепроводах: утв. концерном «Белнефтехим» 03.10.02. – Приказ № 480. – Минск, 2002. – 136 с.
6. Методические рекомендации по разработке отраслевых регламентов защиты водных объектов и болотных ландшафтов при залповых сбросах нефти и нефтепродуктов на территории водосборных бассейнов: утв. М-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 19 нояб.1999 г.; Приказ № 331. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – 26 с.
7. Методические рекомендации по расчету удерживающей способности боновых заграждений, предназначенных для улавливания и удержания слоя нефти на поверхности водотока: произв.-практ. изд. согл.: Минприроды Респ. Беларусь 17.03.06, № 03-02-6/717; «Белнефтехим» 12.04.06, № 09-00/2485/9. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2006. – 15 с.
8. Методические указания по разработке норматив-табеля технического оснащения аварийно-восстановительных служб магистральных нефтепроводов: согл.: Минприроды Респ. Беларусь 28.06.2006, № 04-01-5/1682; Госпромнадзор МЧС Респ. Беларусь 22.08.2006, № 06-3987; концерн «Белнефтехим» 28.03.2007, № 09-00/2107; утв. РУП «Гомельтранснефть «Дружба» 2007 г. – Гомель, 2007. – 26 с.
9. Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов: тез. докл. междунар. конф. – М.: Издат. дом «Ноосфера», 2001. – 313 с.
10. Грунты. Классификация: СТБ 943-93 / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 1993.

УДК 332.368

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИКВИДАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ ЗЕМЕЛЬ

Д.А. КИСЕЛЕВ, А.А. ГРИНЕВИЧ

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

Исследуется проблема разлива нефти на поверхность земли. Поставлены задачи для разработки технологии ликвидации загрязнения нефтью земель. Выделяются этапы ликвидации последствий загрязнения земель. Рассматриваются мероприятия по локализации места разлива нефти, также мероприятия, связанные с рекультивацией земель. Анализируются способы сбора нефти с поверхности земли как механические, так и ручные. Приведены типовые технологические процессы защиты земель.

В настоящее время перед обществом стоит важная экологическая задача, заключающаяся в том, чтобы освоение и преобразование природных ресурсов и систем не сопровождалось деградацией окружающей среды.

Разливы нефти имеют место в процессах производства, транспортировки, переработки, хранения, приема, отпуска, а также при использовании товарных продуктов. Эта проблема актуальна в Беларуси, где в связи с изношенностью оборудования, а также несоблюдением технологической дисциплины на

территориях промышленных предприятий, а также в местах прохождения технологических эстакад, трубопроводов имеют место разливы данных продуктов. Наряду с ними происходят разливы сырья нефтехимических процессов, превосходящих по масштабам распространения и количеству источников загрязнения окружающей среды любой вредный фактор.

Техногенное воздействие развивающихся предприятий нефтехимии, трубопроводного транспорта и смежных отраслей промышленности на окружающую среду не ослабевает, поэтому ликвидация разливов продуктов нефтехимии является актуальной проблемой в настоящее время.

Нефть, попадая в почву и грунты, вызывает необратимые изменения, нежелательные процессы. Вследствие этого очистка почвы, водных объектов от нефти и нефтепродуктов является сложной проблемой.

С финансовой точки зрения необходимо разрабатывать методы борьбы с последствиями от нефтяных загрязнений, такая деятельность экономически обоснована. Если в результате работ по ликвидации последствий нефтяных разливов в производство возвращается хотя бы малая часть теряемой нефти, то реальный экономический эффект будет значительно выше, чем затраты на проведение таких работ.

Таким образом, ясно, что очистка почвенных объектов от нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах является актуальной задачей.



Рис. 1. Пример разлива нефти на поверхность земли

При производстве аварийно-восстановительных работ и работ по ликвидации разлива нефти на землях главной задачей является восстановление целостности трубы [1]:

- восстановление герметичности трубопроводов, оборудования и сооружений объектов магистрального нефтепровода;
- обеспечение проектного уровня характеристик и несущей способности ремонтируемого нефтепровода или оборудования;
- обеспечение минимального времени простоя магистрального нефтепровода при ремонте;
- минимальное воздействие на окружающую среду, соседние коммуникации и объекты;
- обеспечение и сохранение проектных величин и характеристик ремонтируемого объекта, сооружения или оборудования, нефтеперекачивающих станций.

Все работы по локализации и ликвидации аварий на магистральном нефтепроводе должны производиться на основе планов ликвидации возможных аварий и в соответствии с Инструкцией по ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах, Правилами безопасности при эксплуатации магистральных нефтепроводов, Правилами пожарной безопасности при эксплуатации магистральных нефтепроводов.

При производстве работ по ликвидации загрязнения нефтью земель необходимо учитывать степень их загрязнения. Ликвидация последствий загрязнения земель нефтью состоит из трех этапов:

- локализации места разлива нефти;
- сбор её с поверхности земли;
- рекультивации земель.

Локализация места разлива и сбор нефти предусматривает:

- проведение обваловки нефтяного пятна для предотвращения растекания нефти по рельефу;
- обустройство котлована (земляного амбара) для сбора нефти с учетом пожарной безопасности не ближе 50 м от места повреждения трубопровода;
- отвод разлитой нефти в гидроизолированный котлован (земляной амбар) или ямы-накопители, сборно-разборные ёмкости.

Для сбора нефти с поверхности земли (почвы) используются следующие способы:

а) *механизированный* (с помощью специального оборудования):

- с применением техники, использующей принцип адгезии;

Применение техники, использующей принцип адгезии (налипание нефти на рабочие органы установок – диски, щетки и т.д.), используют при проведении операций по сбору нефти с поверхности земли в теплое время года, а также в случае, если нефтепродукт обладает хорошей текучестью, в других случаях оно нецелесообразно. Данный метод не применяется для сбора загрязненного грунта.

Техника, использующая принцип адгезии:

- ручные нефтесборщики;
- ковшовые нефтесборщики.

Ручные нефтесборщики работают по следующему принципу:

- гидравлический двигатель приводит во вращение небольшую жесткую щетку, прилипшие к щетке нефтепродукты счищаются лезвием, стекают во внутренний всасывающий патрубок и всасываются в шланг, который выполнен в виде корпуса нефтесборщика.

Ковшовые нефтесборщики предназначены для сбора нефти с участков суши, ледовой и водной поверхностей. Ковшовый нефтесборщик подключается к экскаватору, от которого к нему подаются необходимые для работы гидравлические потоки рабочей жидкости по трубопроводу. Нефтесборщик оборудован жестким щеточным колесом реверсивного типа и открытым подающим шнеком мощного нефтеперекачивающего насоса. Собираемый продукт налипает на щетку, а затем с нее попадает в емкость.

Схемы сбора нефти установками, использующими принцип адгезии, показаны на рисунке 2.

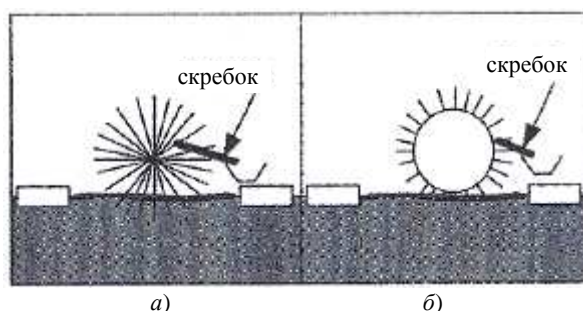


Рис. 2. Схема установки, использующей принцип адгезии
а – щеточная установка; б – щеточно-барабанная установка

- применение вакуумных систем.

Вакуумные системы позволяют осуществлять сбор достаточно вязких веществ, включая нефтешламы, с большим количеством мехпримесей. Собираемые нефть и нефтепродукты закачиваются в приемный бункер или в стандартные стальные бочки.

Сбор нефтяного загрязнения с поверхности земли вакуумными установками обеспечивает быстрый и эффективный сбор нефти.

- применение техники, срезающей верхний слой грунта вместе с нефтепродуктом.

Сбор нефти с поверхности земли с применением техники, срезающей верхний слой грунта вместе с нефтепродуктом, используется как самостоятельная технология, а также может быть завершающей стадией.

б) *ручной* (с помощью лопат, ведер, мешков и средств малой механизации).

Ручной сбор нефти наиболее применим при небольших количествах разлитой нефти и в районах недоступных для техники.

При ручном способе сбора нефти состав и последовательность работ следующая:

- разрыхление грунта вручную (с добавлением сорбента при необходимости);
- выбрасывание грунта на бровку (уступ) или погрузка грунта в емкости (на подъемные машины);
- подкидка грунта по дну загрязненного участка.

Сбор разлитых нефтепродуктов с земли выполняют с помощью совковых лопат, черпаков, швабр, прокладок. Совковые лопаты более эффективны на песчаных грунтах, а заостренные более удобны для сбора на плотных породах, смешанных и гравийно-галечных. Для сбора загрязнений могут применяться грабли и вилы. Сбор нефтепродуктов производят в ведра с последующим сбором в бочки и герметичные контейнеры. Контейнеры и бочки должны герметично закрываться крышками для последующей погрузки и транспортировки.

В случае применения сорбента его наносят с помощью лопат или автономного распылителя. Для лучшего впитывания нефтепродукта сорбент и нефтепродукт перемешивают лопатами и при необходимости добавляют еще сорбент. Сбор загрязненных материалов вместе с сорбентом производят в пластиковые мешки, бочки или другие емкости для перевозки, иногда непосредственно в ковш подъемника.

Заполненная емкость, которую переносят к месту временного хранения, не должна быть тяжелой (не более 20 кг), ее должен легко поднимать один человек. Во избежание протекания емкость не следует переполнять или тащить волоком.

При ручном сборе необходимо рационально распределять работников, чтобы сократить время сбора и уменьшить объем загрязненного грунта. Для этого в первую очередь собирают нефть на участках с хорошо проницаемым грунтом, с максимальной глубиной и затем с максимальной площадью. Для повышения скорости сбора часть людей убирают мешающие сучья, ветки и т. д. В целях повышения безопасности на одном небольшом участке должно находиться не менее двух человек.

При ручном способе сбора нефти во вспомогательных операциях, таких как погрузка и смыв нефтепродуктов, применяют средства малой механизации.

в) комбинированный (применяют ручной и механизированный).

Комбинированный способ состоит из ручного и одного из механизированных способов в зависимости от месторасположения разлива нефти или нефтепродуктов по поверхности земли.

Способ сбора нефти с земли выбирают исходя из масштабов разлива и места расположения согласно ТТК-19 № 223/бт.

Собранная нефть из земляного амбара, ям-накопителей, обвалования или сборно-разборной емкости должен быть закачан в отремонтированный или другой параллельно проложенный трубопровод передвижными насосными агрегатами или другими высоконапорными агрегатами, или перевезен в специальных емкостях на ближайшую нефтеперекачивающую станцию.

Закачка продукта в трубопровод производится через специально подготовленную обвязку с задвижкой и обратным клапаном. Обвязка должна быть предварительно опрессована на рабочее (проектное) давление трубопровода. После закачки задвижка должна быть демонтирована по специальной технологии. Разрешается оставлять задвижку, но в этом случае она должна быть заглушена, заключена в колодец (или ограждение), у которого должен быть выставлен постоянный предупредительный знак.

Параллельно с откачкой продукта из ям-накопителей производятся работы по уменьшению количества продукта, впитывающегося в почву. Для этого на зеркало продукта, остающегося на поверхности после откачки насосами, наносится сорбент [2].

Сорбент наносится также на те места поверхности почвы, по которым текла разлившаяся нефть и осталась в мелких углублениях профиля.

После пропитывания сорбента нефтью его собирают, не нарушая верхний слой почвы, и вывозят на специальные пункты, где сорбент готовится к утилизации. Если сорбент не впитал с поверхности почвы весь продукт, операцию повторяют.

При ликвидации разлива нефти запрещается:

- засыпать земляные амбары, ямы-накопители и дренажные канавы с не полностью откачанным продуктом;

- при снятии загрязненной почвы вывозить ее в отвалы.

После окончания работ по сбору нефти с поверхности земли рабочие убирают рабочие места, инструмент и приспособления сдают в специально отведенное место.

Земельные участки, нарушенные при аварийном ремонте трубопровода и ликвидации аварийного разлива нефти, должны быть рекультивированы в первоначальное состояние [3].

Рекультивация земель должна проводиться с учетом местных почвенно-климатических условий, степени повреждения и загрязнения, ландшафтно-геохимической характеристики нарушенных земель.

Для проведения рекультивации земель разрабатывается проект. Рекультивация загрязненных нефтью земельных участков производится в ходе проведения земляных работ, а при невозможности этого – не позднее чем в месячный срок после их завершения, исключая период замерзания почвы.

Процесс рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при авариях на нефтепроводах, включает следующие виды работ:

- механическое удаление с поверхности почвы нефти (выполняется в процессе ликвидации аварии);

- технический и биологический этап рекультивации (выполняется в соответствии с разработанным в послеаварийный период проектом).

На техническом этапе рекультивации происходит выветривание нефти, испарение и частичное разрушение легких фракций, фотоокисление нефтяных компонентов на поверхности почвы, восстановление микробиологических сообществ, развитие нефтеокисляющих микроорганизмов, частичное восстановление сообщества почвенных животных. Часть компонентов превращается в твердые продукты, что улучшает водно-воздушный режим почвы. Аэрация и увлажнение почвы в значительной мере способствуют интенсификации этих процессов, снижению концентрации нефти и более равномерному ее рассеиванию.

Биологический этап включает две стадии:

- пробный посев трав;
- фитомелиоративный этап с внесением минеральных удобрений и посевом устойчивых к загрязнению нефтью многолетних трав.

Для контроля за восстановлением земель и качеством выращенной биомассы одновременно проводится посев тех же культур по аналогичной технологии на контрольном (незагрязненном) участке в буферной зоне между зоной загрязнения и землями, используемыми для хозяйственных целей. Если зарастание на загрязненном участке составляет не менее 75 % площади земель по сравнению с зарастанием на контрольном участке, рекультивационные работы считаются законченными и участок следует передать землевладельцу.

Зеленую массу возделываемых трав по окончании рекультивации использовать в кормовых целях категорически запрещается. Ее оставляют на рекультивируемом участке и используют в качестве минерального удобрения (после обработки зеленую массу запахивают).

Типовые технологические процессы защиты земель составляются для аварий, сопровождающихся утечкой нефти различной степени значимости природного объекта в соответствии с таблицей.

Аварии с выходом нефти на земли

Характерные признаки аварий	Описание технологического процесса
1. Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на влажные с/х пахотные, с/х луговые земли, влажные земли лесного фонда с древесной растительностью	<ul style="list-style-type: none"> - провести вырубку растительности (при необходимости) и утилизировать; - проложить временную дорогу для подъезда техники; - обваловать территорию загрязненной нефтью; - вырыть канаву вдоль обваловки для накопления нефти; - собрать вязкое вещество, включая нефтешламы; - обработать загрязненную поверхность сорбентами; - собрать загрязненный материал и вывезти на ближайшую НПС; - срезать оставшийся загрязненный грунт и вывезти на ближайшую НПС; - провести рекультивацию почв техническую и биологическую
2. Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на влажные земли лесного фонда с кустарниками	<ul style="list-style-type: none"> - провести вырубку растительности (при необходимости) и утилизировать; - проложить временную дорогу для подъезда техники; - обваловать территорию загрязненной нефтью; - вырыть канаву вдоль обваловки для накопления нефти; - собрать вязкое вещество, включая нефтешламы; - обработать загрязненную поверхность сорбентами; - собрать загрязненный материал и вывезти на ближайшую НПС; - провести рекультивацию почв техническую
3. Аварии, сопровождающиеся разливом нефти на сухие с/х пахотные и луговые земли, сухие земли лесного фонда с древесной и кустарниковой растительностью	<ul style="list-style-type: none"> - провести вырубку растительности (при необходимости) и утилизировать; - проложить временную дорогу для подъезда техники; - собрать нефтепродуктов и складирование в герметичные емкости; - срезать оставшийся загрязненный грунт и вывезти на ближайшую НПС; - провести рекультивацию почв техническую и биологическую

Так, в результате проведенной работы были разработаны типовые технологические процессы защиты земель. Определены этапы ликвидации последствий загрязнения. Рассмотрено оборудование для сбора нефти с почвы, а также процессы рекультивации почв

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по разработке норматив-табеля технического оснащения аварийно-восстановительных служб магистральных нефтепроводов: согл. Минприроды Респ. Беларусь 28.06.2006, № 04-01-5/1682; Госпромнадзор МЧС Респ. Беларусь 22.08.2006, № 06-3987; концерн «Белнефтехим» 28.03.2007, № 09-00/2107; утв. РУП «Гомельтранснефть «Дружба» 2007 г. – Гомель, 2007.
2. Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов: тез. докл. междунар. конф. – М.: Издат. дом «Ноосфера», 2001.
3. Инструкция по защите окружающей среды при авариях на нефтепроводах: утв. концерном «Белнефтехим» 03.10.02. Приказ № 480. – Минск 2002.

УДК 504.064

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ
В РЕКЕ ЗАПАДНАЯ ДВИНА****О.Н. СИЛЬВАНОВИЧ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Д.П. КОМАРОВСКИЙ)*

Анализируется динамика изменения расхода и основных физико-химических показателей воды в реке Западная Двина за многолетний период в районе Полоцкого промышленного комплекса (Беларусь). Выявлены периоды года, когда физико-химические показатели воды реки принимают наименьшее и наибольшее значения.

Полоцкий промышленный узел является одним из крупных промышленных комплексов Республики Беларусь. В состав промышленного комплекса входят следующие предприятия: нефтеперерабатывающий завод «Нафтан», нефтехимический завод «Полимир», Новополоцкая ТЭЦ, завод «Стекловолокно» и другие. Водисточником систем промышленного водоснабжения указанных предприятий является река Западная Двина. Практически на всех предприятиях используются сооружения по осветлению и обесцвечиванию воды реки Западная Двина. Выбор оптимальной технологической схемы водоподготовки и ведения реагентного режима в сооружениях по обработке воды должен основываться на физико-химическом составе воды источника водоснабжения и учитывать динамику его изменения [1; 2]. В связи с этим рассмотрим динамику изменения состава воды реки Западная Двина за период 2004–2013 годов.

Краткая характеристика реки Западная Двина и её бассейна. Западная Двина берёт начало в болотах около небольшого озера Корякино, Пеновского района Тверской области на Валдайской возвышенности, впадает в Рижский залив у города Риги. Протекает по Пермской и Смоленской областям России, Республике Беларусь и Латвийской Республике. Длина реки Западная Двина – 1020 км: 325 км приходится на Российскую Федерацию, 328 км – на Беларусь и 367 км – на Латвию. Площадь водосборного бассейна Западной Двины составляет 87,9 тыс. км², в пределах России – 18,5 тыс. км², Беларуси – 33,1 тыс. км², Латвии – 24,7 тыс. км² и Эстонии – 11,5 тыс. км² [3].

Озёрность водосбора реки Западная Двина порядка 2 %. Моховые или травяные болота, заболоченные земли и заболоченные леса занимают 20 % площади водосбора. Большинство болот расположено в верхней его части. Значительная часть водосбора (около 2500 км²) осушена.

Водный режим реки оказывает непосредственное влияние на качественный и количественный состав воды в реке [4], поэтому его изучение является необходимым для понимания условий формирования физико-химического состава воды в реке.

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 межень;
- зимняя межень.

Изменение расхода воды в реке Западная Двина за 2004–2013 годы приведено на рисунке 1. Значения расходов в реке Западная Двина взяты на гидрологической станции г. Полоцка (код поста 73122).

Средние сроки начала развития половодья приходятся на конец марта, ранние даты начала половодья отмечены в конце февраля. Максимумы весеннего половодья формируются во второй декаде апреля. Высота весеннего половодья в среднем 8...9 м, а в годы с высоким половодьем уровень может повышаться на 12...13 м над наименьшим.

Летом и осенью река Западная Двина имеет смешанное дождевое и грунтовое питание. Летне-осенняя межень (~30 % от общего стока) обычно наступает в июне и заканчивается в третьей декаде ноября. Почти ежегодно летне-осенняя межень прерывается дождевыми паводками высотой 2...3 м (см. рис. 1). В особо дождливые годы количество их достигает 4...5 за сезон, а высота – до 7 м. Осенние дождевые паводки, наблюдающиеся обычно в октябре–ноябре, в среднем на 0,5 м выше летних; при продолжительных дождях они отличаются плавным длительным подъёмом уровня вплоть до установления ледостава. 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.

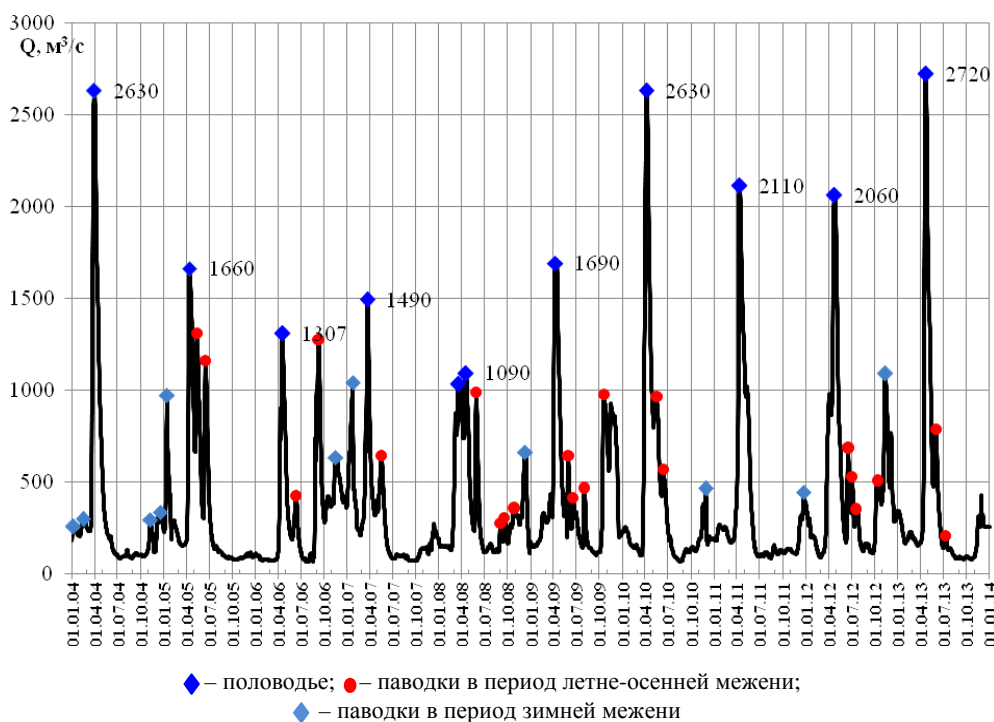


Рис. 1. Динамика изменения расхода воды в реке Западная Двина за 2004–2013 годы

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.

Зимняя межень проходит с декабря до середины марта, при этом наблюдается минимальный сток реки, питание осуществляется в основном за счет подземных (грунтовых) вод. Однако 3...4 раза за зиму могут быть небольшие паводки, вызванные оттепелями (см. рис. 1).

Динамика изменения показателей качества воды в реке Западная Двина за период 2004–2013 годов

К основным показателям качества воды в реке Западная Двина относятся следующие:

1) физические показатели: взвешенные вещества и цветность;

2) химические показатели: активная концентрация водородных ионов (величина pH), перманганатная окисляемость (далее по тексту – окисляемость), щёлочность и железо.

Материалом для изучения колебаний концентраций загрязнений послужили данные ежедневных лабораторных анализов сырой речной воды, поступающей на фильтровальную станцию завода «Полимир».

Взвешенные вещества (ВВ). По степени мутности река Западная Двина относится к рекам малой мутности (до 50 мг/дм³ взвешенных веществ).

На рисунке 2 представлен график внутрigoдового изменения среднемесячных концентраций взвешенных веществ, обобщенных за период с 2012 по 2013 год.

Наибольшие концентрации ВВ 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 ВВ. Паводки в этот период, вызванные дождями, приносят в русло реки Западной Двины продукты водной эрозии.

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

Окисляемость и цветность. Оба показателя характеризуют содержание органического вещества в воде, также на цветность и окисляемость оказывают влияние некоторые неорганические соединения, такие как соединения железа, сероводород, нитриты, аммиак [4].

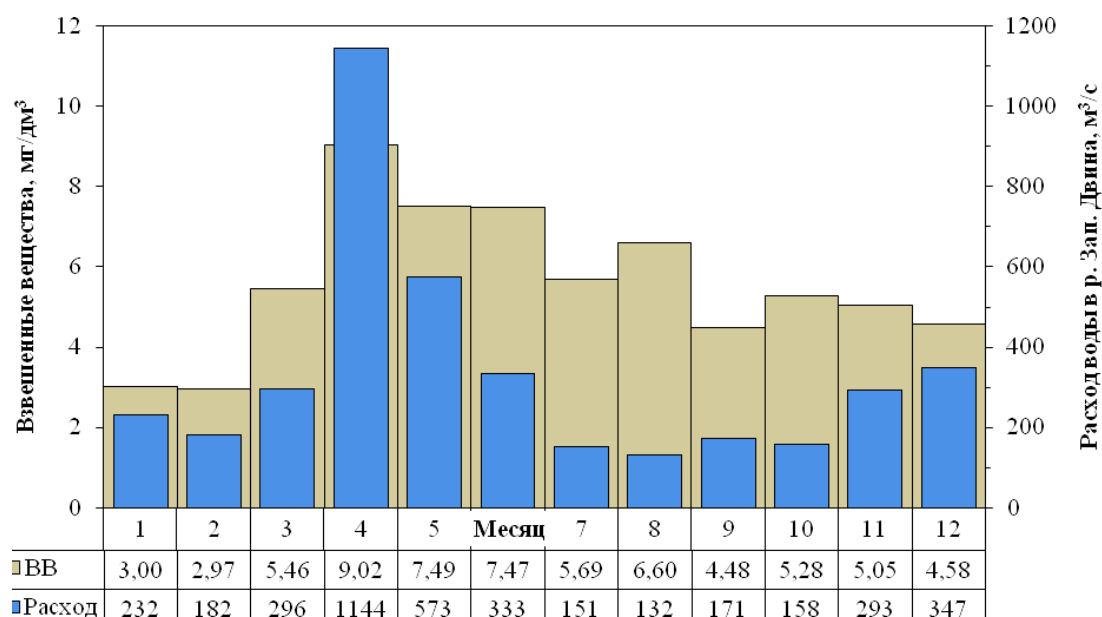


Рис. 2. Динамика изменения концентраций взвешенных веществ в реке Западная Двина за 2004–2013 годы

Динамика изменения среднемесячных концентраций окисляемости и цветности в сырой воде реки Западная Двина за период с 2004 по 2013 год показана на рисунке 3.

В период весеннего половодья, когда расходы воды в реке Западная Двина наибольшие за год, окисляемость находится в пределах 25...30 мгО₂/дм³, а цветность – 150...200 градусов.

После окончания половодья, в период летне-осенней межени, окисляемость и цветность снижаются и если отсутствуют дождевые паводки, то окисляемость и цветность принимают минимальные годовые значения – 4...6 мгО₂/дм³ и 50...70 градусов соответственно.

Летние и осенние дождевые паводки приводят к резкому увеличению, как окисляемости, так и цветности. В периоды этих паводков окисляемость и цветность принимают максимальные годовые значения – 40...50 мгО₂/дм³ и 200...250 градусов соответственно.

Следует отметить, что в период летне-осенних дождевых паводков расход воды в реке Западная Двина был значительно меньше, чем в период весеннего половодья.

В зимнюю межень на значения окисляемости и цветности оказывают влияние зимние паводки, вызванные дождевыми осадками или таянием снега, которые чаще наблюдаются с ноября по конец января. В период этих паводков окисляемость и цветность принимают максимальные значения для зимней межени – 25...30 мгО₂/дм³ и 130...150 градусов соответственно.

Минимальные значения окисляемости и цветности наблюдаются в конце марта начале апреля, перед началом весеннего половодья, и составляют 11...14 мгО₂/дм³ и 75...100 градусов соответственно.

Минимальные значения окисляемости и цветности, наблюдаемые в зимнюю и летне-осеннюю межень, совпадают с минимальным расходом воды.

Щёлочность общая. Щёлочность в природных водах оказывает существенное влияние на многие процессы водоподготовки.

Динамика изменения концентрации щёлочности воды в Западной Двине за период с 2004 по 2013 год показана на рисунке 4.

Минимальная концентрация щёлочности за год, до 1 мг-экв/дм³, наблюдается в период половодья, за счет разбавления речной воды талыми водами, поступающими с водосборного бассейна реки Западная Двина.

В летне-осеннюю межень, когда расход воды в реке падает, щёлочность увеличивается до 3...3,5 мг-экв/дм³ и принимает максимальные значения за год. Однако дожди, периодически выпадающие в этот период, снижают щёлочность до 1,5...2 мг-экв/дм³.

В период зимней межени максимальные значения щелочности воды в реке Западная Двина находятся в пределах 2,5...3 мг-экв/дм³. При зимних паводках, которые наблюдаются 2...3 раза за период, щелочность снижается до 1,5 мг-экв/дм³.

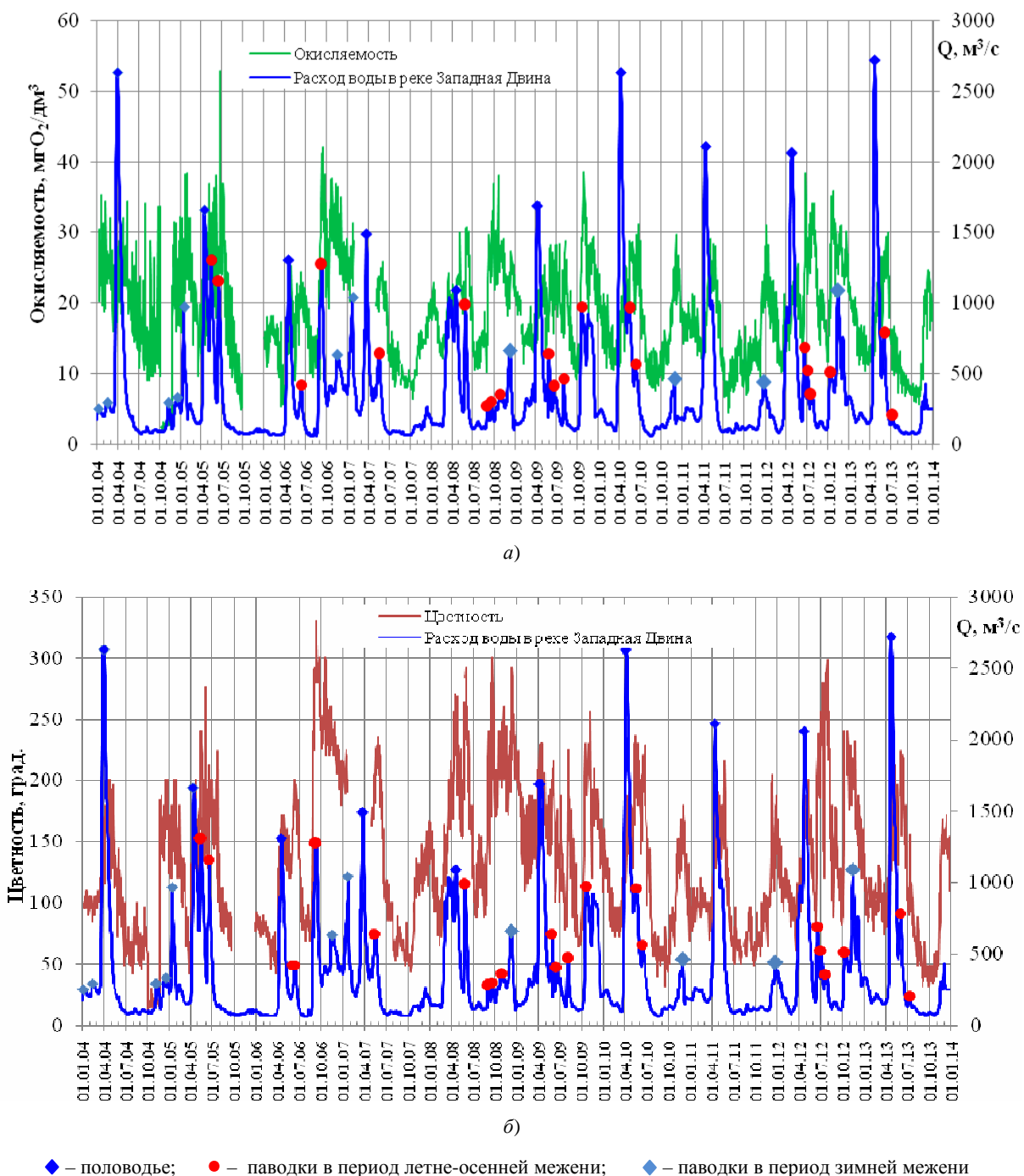


Рис. 3. Динамика изменения концентраций окисляемости (а) и цветности (б) в реке Западная Двина за 2004–2013 годы

Железо общее. В поверхностных водах железо находится в виде органических комплексных соединений или в виде коллоидных и тонкодисперсных взвесей [5]. Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы вымывания почв, сопровождающиеся их механическим разрушением. В связи с этим наибольшие концентрации железа наблюдаются в период летне-осенней межени за счёт выпадения дождей и составляет 2...3,2 мг/дм³. Минимальные значения железа общего наблюдаются с июля по сентябрь в период наименьших расходов в реке и составляют 0,13...0,24 мг/дм³. Динамика изменения концентраций железа общего за период с 2004 по 2013 год показана на рисунке 5.

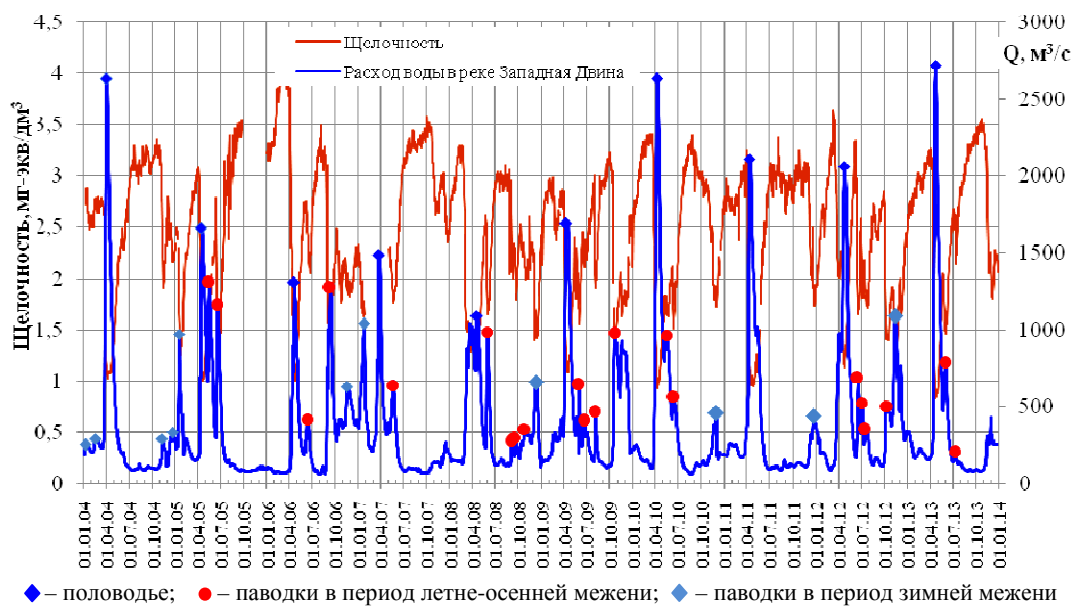


Рис. 4. Динамика изменения концентрации щёлочности в реке Западная Двина за 2004–2013 годы

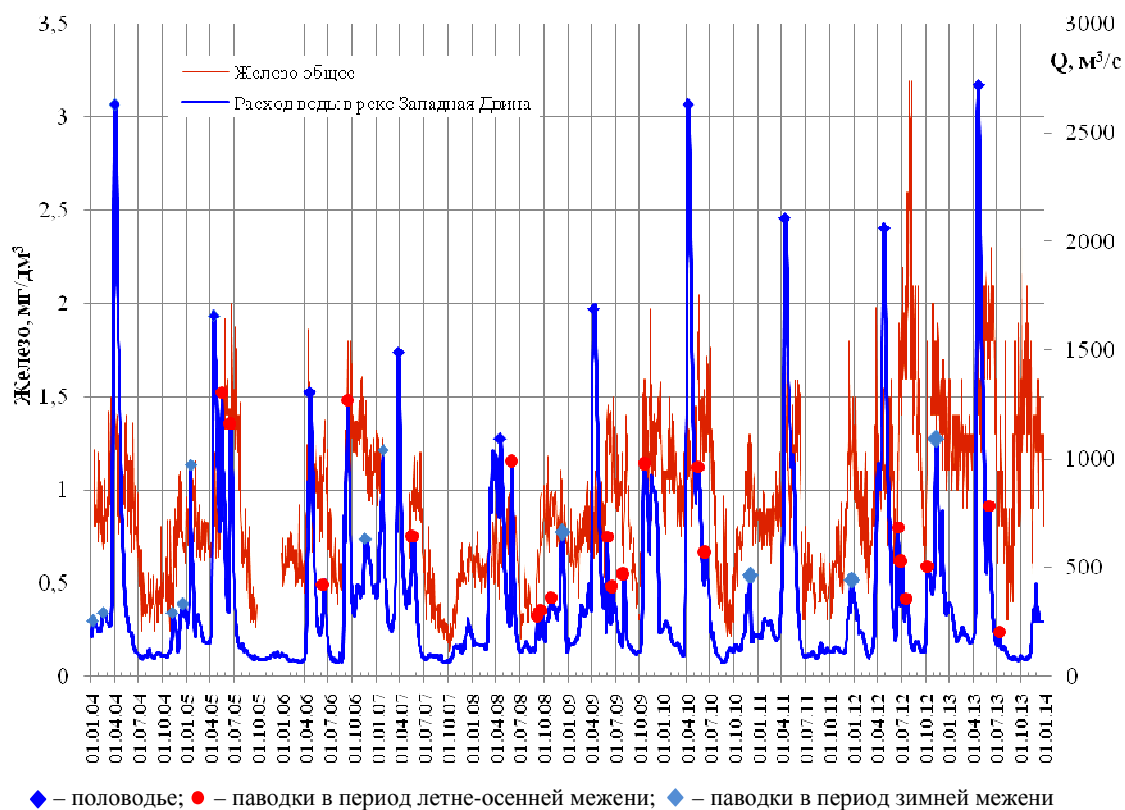


Рис. 5. Динамика изменения концентрации железа общего в реке Западная Двина за 2004–2013 годы

В период зимней межени максимальные значения железа находятся в пределах $0,8...1,2$ мг-экв/дм³. При зимних паводках, которые наблюдаются 2...3 раза за период, концентрации железа повышается до 2 мг-экв/дм³. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуются сложные комплексы соединений железа [6]. В образовании коллоидов соединений железа важную роль играют органические вещества гумусового типа [6; 7]. Наличие болот и мелких рек, содержащих органические вещества гумусового типа, способствует образованию устойчивых коллоидных соединений железа. Между железом и окисляемостью/цветностью существует высокая корреляционная связь. Коэффициент корреляции пары «железо – окисляемость» составляет $0,86$,

а «железо – цветность» равен 0,91. Тесная корреляционная связь говорит о том, что железо в реке Западная Двина находится в органической форме.

Водородный показатель (рН). Величина рН – один из важнейших показателей качества воды для определения ее стабильности, накипеобразующих и коррозионных свойств, а также имеет немаловажное значение при ведении коагуляционных процессов в водоподготовке. Водородный показатель воды реки Западная Двина находится в пределах от 7,0 до 8,5, что даёт возможность отнести данную воду к группе слабощелочной [8]. Максимальные значения рН принимает с сентября по ноябрь – в период наименьших расходов воды в реке.

Выводы:

- полученные значения изменения концентраций загрязнений свидетельствуют, что река Западная Двина относится к категории маломутных и высокоцветных рек равнинного характера;
- согласно [4] вода в реке Западная Двина относится к речным водам повышенной окисляемости, что характерно для рек, бассейны которых расположены в болотистых местностях;
- в период половодья наблюдается минимальная концентрация щелочности и максимальная концентрация взвешенных веществ за год. Цветность и окисляемость принимают максимальные значения в период летних и осенних дождевых паводков;
- полученные результаты по динамике изменения концентрации основных показателей качества воды в реке Западная Двина в дальнейшем будут использованы для оптимизации реагентной водоподготовки на промышленных предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиян, Л.Н. Химия воды. Водоподготовка: учеб. пособие для вузов / Л.Н. Шиян. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 72 с.
2. Журба, М.Г., Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – Т. 2: Очистка и кондиционирование природных вод. – 496 с.
3. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь / под общ. ред. А.И. Полищука, Г.С. Чекана. – Минск: Кнігазбор, 2009. – 268 с.
4. Алёкин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алёкин. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 301 с.
5. Кульский, Л.А. Основы физико-химических методов обработки воды / Л.А. Кульский. – М.: М-во коммунального хозяйства РСФСР, 1962. – 221 с.
6. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник / А.М. Никаноров. – 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
7. Колоидно-химические свойства соединений железа в природных водах / Л.В. Сериков [и др.] // Изв. Томск. политехн. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 28–33.
8. Беликов, С.Е. Водоподготовка: справочник / С.Е. Беликов. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

УДК 625.748.54.001.25

ОПАСНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ В ЧЕРТЕ ГОРОДА

В.В. СЕРГЕЛЬ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.Г. КУЛЬБЕЙ)

Автомобильные заправочные станции рассматриваются как объекты повышенной пожаровзрывоопасности. Нахождение АЗС в черте плотной застройки создает повышенную опасность, прежде всего, для прилегающих зданий, сооружений и мест массового пребывания людей. Минимальные расстояния от АЗС до жилых и общественных зданий регламентируются нормативными документами. Сделан вывод о необходимости пересмотреть приведенные в нормативных документах зоны безопасных расстояний.

Развитие автомобильного парка страны требует развития инфраструктуры, в частности – строительства новых автозаправочных станций (АЗС). Обеспечение автомобильным топливом потребителей в настоящее время осуществляется через 862 АЗС, расположенных во всех областях Республики Беларусь: в Минске – 118 АЗС; в Брестской области – 143 АЗС; в Витебской области – 117 АЗС; в Гомельской области – 100 АЗС; в Гродненской области – 136 АЗС; в Минской области – 149 АЗС; в Могилёвской

области – 99 АЗС. В борьбе за потребителя, АЗС стараются располагать возле перекрестков, оживленных дорог и, иногда, вблизи жилых районов в городской черте.

Автозаправочные станции представляет собой комплекс зданий, сооружений и оборудования, ограниченный участком площадки и предназначенный для заправки транспортных средств (кроме гусеничного транспорта) моторным топливом.

Всё многообразие находящихся в эксплуатации автозаправочных станций по конструктивному исполнению можно условно разделить на три группы: 1) стационарные (традиционные), 2) контейнерные и 3) передвижные. Стационарные АЗС представляют собой капитальные сооружения, включающие здания, топливозаправочные колонки, резервуары, технологические трубопроводы, очистные сооружения и различные системы обеспечения технологического процесса. Передвижная АЗС является мобильной технологической системой, установленной на автомобильном шасси, прицепе или полуприцепе, изготовленной как единое заводское изделие. Контейнерные АЗС используются в качестве топливораздаточного пункта на предприятии, а так же при ведении строительства как временный пункт хранения топлива и диспетчерский пункт. Наиболее распространённой является стационарная АЗС, поэтому такой тип АЗС был выбран для дальнейшего анализа опасностей.

Автомобильные заправочные станции являются объектами повышенной пожаровзрывоопасности, что обусловлено значительным объемом хранящегося жидкого моторного топлива, наличием оборудования, работающего как при атмосферном, так и при повышенном давлении, особенностями проведения технологических операций, связанных с приемом, хранением и выдачей ЖМТ, возможностью расположения АЗС в черте плотной застройки населенного пункта, а также возможностью проявления субъективных факторов, вызванных неадекватным поведением водителей автотранспортных средств или других лиц.

Наличие предприятий сервисного обслуживания на территории АЗС приводит к увеличению количества людей и времени их нахождения на этой территории. При этом большая часть людей, находящихся на такой АЗС, не является персоналом станции, имеющим допуск на пожароопасный объект и обладающим подготовкой для выполнения правильных действий при нормальном ведении технологического процесса и при возникновении аварийных ситуаций. Существует также вероятность воздействия опасных факторов на здания и сооружения АЗС при возникновении аварий, пожаров, взрывов на примыкающих к станции объектах.

Как и на любом другом техническом объекте, на АЗС могут возникнуть неисправности ввиду износа оборудования, которые могут быть устранены в период реконструкции или технического перевооружения АЗС. Однако, также в процессе эксплуатации возможно возникновение неисправностей, приводящих к аварийным ситуациям, что создает угрозу жизни людей или нанесение материального ущерба сторонним объектам. В то же время, есть ряд особенностей, закладываемых ещё на этапе проектирования (например, несоблюдение внутриобъектных и внешних противопожарных разрывов), которые требуют больших затрат на их исправление, если объект является уже построенным и введенным в эксплуатацию.

Нахождение потенциально опасного объекта, каким является любая АЗС, в черте плотной городской застройки создает повышенную пожарную опасность, особенно для прилегающих зданий и сооружений [3]. На таких объектах, как АЗС, существует система предупреждения аварии, однако, если она не срабатывает, возможна реализация аварии, которая может сопровождаться такими опасными явлениями как: возможность образования взрывоопасных концентраций бензиновоздушных смесей, истечение и розлив бензина. Во всех случаях утечки и проливы создают опасность образования паровоздушного облака и угрозу возникновения пожара пролива, взрыва и образования «огненного» шара. Начальным событием аварии на АЗС является утечка пожаровзрывоопасного продукта, что может произойти вследствие разгерметизации емкости (резервуара), разгерметизации автоцистерны, разгерметизации элемента наливной эстакады (гибкого шланга) [1] и др.

К основным причинам возникновения пожаров на АЗС можно отнести:

1. От автомобилей:
 - искры из выхлопной трубы;
 - нагретые части автомобиля;
 - электрооборудование;
 - заправка с работающим двигателем.
2. Электрооборудование операторной, освещение территории.
3. Нарушение правил ремонтных работ и техники безопасности.
4. Переливы.
5. Неисправности электрооборудования топливораздаточных колонок.
6. Статическое электричество.
7. Поджоги.
8. Курение.

Возможность возникновения аварий на АЗС невысокая. Согласно ГОСТ 12.1.004-91 вероятность реализации таких аварий не превышает 10^{-6} аварий/год. Другими словами, одна авария в один миллион лет. Тем не менее эта вероятность присутствует, что подтверждает статистика аварий.

Статистические данные по авариям со взрывом бензиновоздушной смеси (БВС) на АЗС свидетельствуют о том, что развитие аварии на АЗС может привести к разнообразным последствиям.

Проанализируем некоторые аварии, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Примеры аварий на АЗС

Дата	Происшествие	Последствия и причины
8 января 2014	Возгорание топливораздаточной колонки на АЗС «Агроэнерго-Зеленевици» в Пружанском районе	На момент прибытия пожарной команды зафиксировано открытое пламя на топливораздаточной колонке. Пламя могло перекинуться на иные объекты – всего на АЗС 3 топливораздаточные колонки, 7 наружных резервуаров и здание операторской. Во время пожара в одном резервуаре находилось 6 000 л бензина, в двух иных – 17 000 л дизельного топлива. Предполагаемая причина аварии – нарушение правил эксплуатации электросетей и электрооборудования
15 января 2014	Пожар грузового автомобиля на территории АЗС около деревни Польшковичи-1	В результате пожара повреждена кабина автомобиля и 6 м ² тента полуприцепа. Груза в полуприцепе не было. Водитель при самостоятельной эвакуации из кабины получил ожоги и с предварительным диагнозом «термический ожог пламенем 2,5 % лица и кисти правой руки 1,2 степени» госпитализирован в больницу. Предварительная причина пожара – нарушение правил эксплуатации газовых устройств и агрегатов (использование портативной газовой плитки в кабине автомобиля)
22 апреля 2014	Взрыв в городе Переяслав-Хмельницкий Киевской области на АЗС БРСМ-Укрнафта	В результате взрыва погибли пять человек, пять человек получили травмы. Взрывом полностью разрушено здание заправки, где находились магазин и касса. По выводам следствия, взрыв произошел из-за неисправности коммуникационной системы автомобильной газораздаточной колонки
8 августа 2014	Взрыв на АЗС в центре Махачкалы	Топливо вытекло через оторванный шланг. На территории АЗС начался пожар. Жители близлежащих домов были эвакуированы. 50-летний мужчина получил ожоги 98 % кожи и 50 % внутренних тканей. Еще двое мужчин получили ожоги 30...50 % кожи и 20...30 % глубоких ожогов. Женщина была ранена осколками, но ее выписали после обследования
3 марта 2015	На АЗС в Славянске Донецкой области в районе перекрестка улиц Луначарского и Фрунзе, разорвались баллоны с метаном	Пострадала 37-летняя женщина-билетер, которая находилась в автобусе: у нее обожжены лицо и спина. Причиной возгорания терминала автозаправки послужил разрыв баллона на автобусе
4 июня 2015	Взрыв на автозаправочной станции в столице Ганы, городе Аккра	Порядка 150 человек погибли в результате взрыва, произошедшего после сильного пожара. Пожарные не смогли сразу прибыть на место ЧП из-за проливного дождя, который привел к подтоплению некоторых районов города. Именно из-за ливня на АЗС оказалось такое количество людей – они прятались от дождя. Дождевая вода вынесла часть топлива с заправки и сделала его доступным открытому огню

Таким образом, многообразие и величина проявления поражающих факторов создает угрозу не только находящимся на территории АЗС людям и имуществу.

При развитии аварий образуются поражающие факторы (ударная волна, температурное воздействие пожара, обрушение конструкций, разлет осколков и др.), имеющие некоторую опасную зону, размеры которой в промышленной безопасности характеризуются радиусами определенного воздействия.

При анализе таких опасных зон указываются радиусы безопасного расстояния от эпицентра аварии до промышленных и гражданских объектов, мест массового скопления людей и пр. Так, нормативным документом [2] регламентируются минимальные расстояния от АЗС до жилых и общественных зданий (домов, школ, и т.д.). Согласно данным таблицы Б.1 приложения Б данного ТКП минимальное до-

пустимое расстояние от АЗС жидкого моторного топлива с подземными резервуарами до жилых и общественных зданий, а также мест массового пребывания людей составляет 25 м.

Приведем несколько примеров расположения АЗС для Новополюцка с анализом безопасных расстояний до окружающих объектов (рис. 1–3).



Рис. 1. АЗС «Белнефтехим» возле торгового центра «Зодиак»
(расстояние до ТЦ – 54 м)



Рис. 2. АЗС «Белнефтехим» возле колледжа
(расстояние до Политехнического колледжа – 94 м)



Рис. 3. АЗС «Блок» возле моста через реку Западная Двина
(расстояние до жилого дома – 104 м)

Наиболее опасным местом расположения АЗС в городе Новополоцке, на наш взгляд, является АЗС «Белнефтехим», вблизи которой построили торговый центр «Зодиак». На территории данной АЗС расположено 2 резервуара ёмкостью 200 м³. Расстояние от самой АЗС до здания приблизительно равно 54 м. Также важным было рассмотреть вероятность поражения людей по дороге к торговому центру, расстояние до которой составляет 16 м.

Для рассматриваемой АЗС были произведены расчеты, в результате которых зоны опасных состояний при самых неблагоприятных исходах аварий представлены в таблице 2.

Таблица 2

Размеры опасных зон

Наименование сценария аварии	Радиусы опасной зоны, м
Пожар пролива легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ*)	558
«Огненный» шар	116
Взрыв паров ЛВЖ	96
*в качестве ЛВЖ был рассмотрен бензин	

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что при реализации рассматриваемых сценариев аварий, дорога к торговому центру «Зодиак» и вход в него со стороны АЗС являются опасной зоной.

Однако согласно нормативным требованиям жилые здания и места массового пребывания людей находятся на безопасном расстоянии от представленных АЗС. При этом образующиеся зоны поражения при развитии аварий превышают предусмотренные зоны безопасных расстояний, которые согласно [2] определяются только для обеспечения пожарной безопасности, но не взрывобезопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борушко, О.В. Оценка последствий аварий на автозаправочных станциях / О.В. Борушко [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.techros.ru/text/2579>.
2. Автозаправочные станции. Пожарная безопасность. Нормы проектирования и правила устройства: ТКП 253-2010. – Минск, 2010.
3. Кульбей, А.Г. Построение полей индивидуального риска для промышленных объектов / А.Г. Кульбей, И.А. Леонович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8.

УДК 331.461:625.748.54

**ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ФАТОРАХ
НА ПРИМЕРЕ АЗС «БЕЛНЕФТЕХИМ» В ГОРОДЕ НОВОПОЛОЦК**

В.В. СЕРГЕЛЬ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.Г. КУЛЬБЕЙ)

На примере АЗС «Белнефтехим» в городе Новополоцке рассчитаны радиусы опасных зон и условные вероятности поражения людей тепловым излучением при пожаре пролива, образовании «огненного» шара и взрыве. По полученным результатам можно сделать вывод, что торговый центр «Зодиак», построенный недалеко от рассматриваемой АЗС, находится на небезопасном расстоянии.

В нормативном документе ТКП 474-2013 «Категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» приведены методы расчета интенсивности теплового излучения и оценки индивидуального риска при различных поражающих факторах. Нами была проведена оценка возможных масштабов поражения для каждого из вариантов реализаций аварии на АЗС «Белнефтехим» в городе Новополоцке согласно [1].

Вблизи рассматриваемой АЗС построили торговый центр «Зодиак» на расстоянии приблизительно равном 54 м. На территории данной АЗС расположено 2 резервуара ёмкостью 200 м³. Также важным было рассмотреть вероятность поражения людей по дороге к торговому центру, расстояние до которой от АЗС, составляющем 16 м.

Доставка жидкого моторного топлива (ЖМТ) на АЗС осуществляется автомобильными цистернами (АЦ) преимущественно российского и белорусского производства (рис. 1), ёмкостные характеристики которых из них представлены в таблице 1.

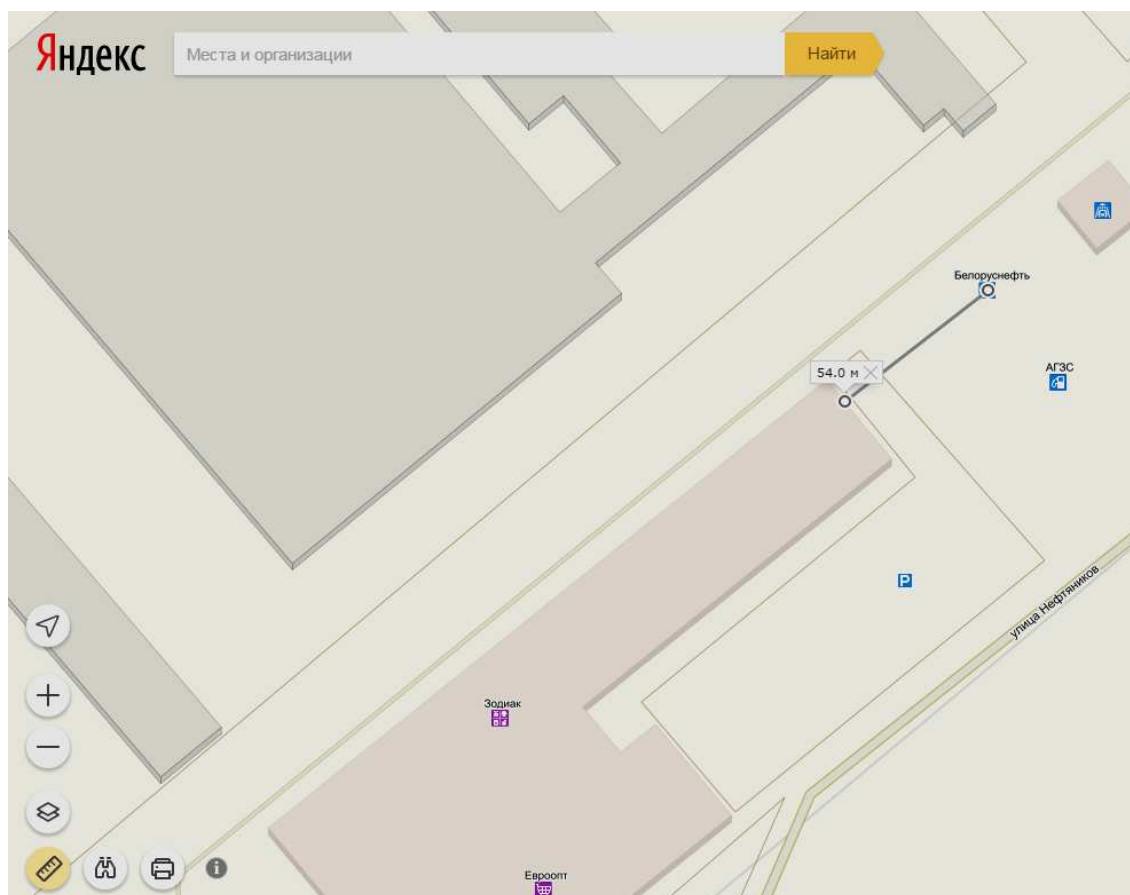


Рис. 1. План расположения АЗС «Белнефтехим»: расстояние от АЗС «Белнефтехим» до ТЦ «Зодиак»

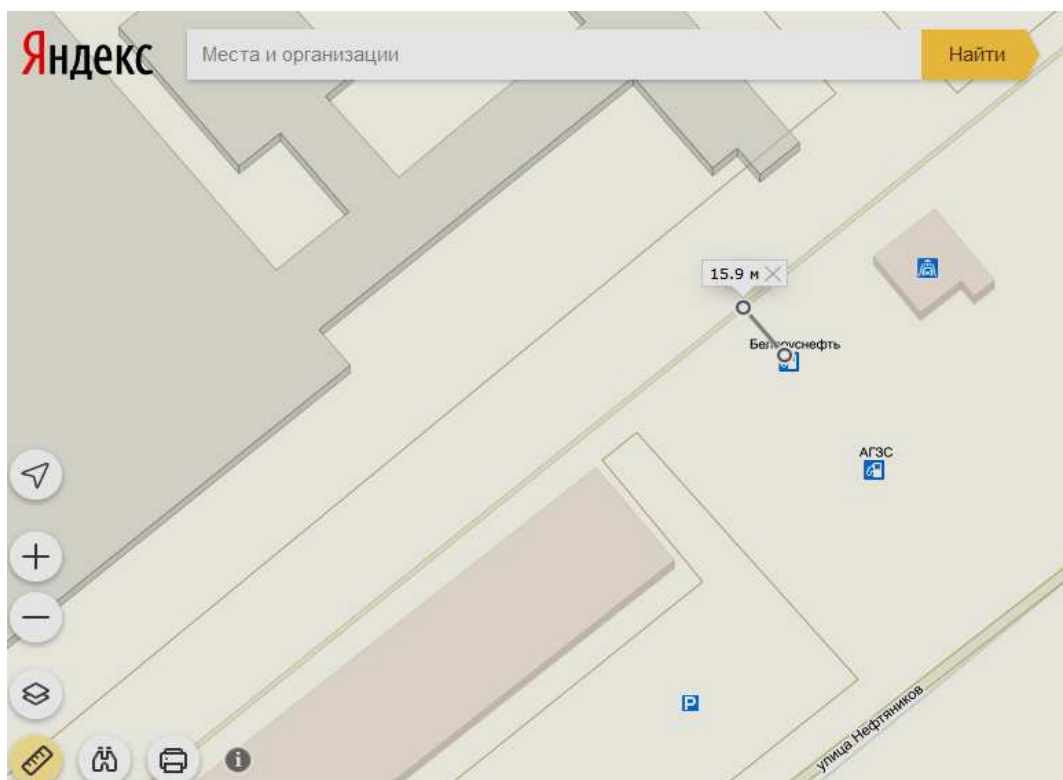


Рис. 2. Расстояние от АЗС «Белнефтехим» до дороги, ведущей к ТЦ «Зодиак»



а)



б)

Рис. 3. Автомобильные цистерны для доставки жидкого моторного топлива на АЗС:
а – автоцистерна АЦ-56141-010-30 на шасси МАЗ-533605-240-600; б – полуприцеп-цистерна ППЦ-33

Таблица 1

Характеристика АЦ для доставки ЖМТ на АЗС

Название АЦ	Тип транспортируемой жидкости	Объём цистерны
Автоцистерна АЦ-56141-06 на шасси МАЗ-533702-246-660	светлые нефтепродукты	11 м ³
Автоцистерна АЦ-12 на шасси УРАЛ	светлые нефтепродукты	12 м ³
Прицеп-цистерна ПЦ-86531	светлые нефтепродукты	15 м ³
Прицеп БЦМ-83.6	легковоспламеняющиеся жидкости класса 3 (бензин, дизельное топливо, керосин)	20 м ³
Полуприцеп-цистерна ППЦ-33	светлые нефтепродукты	33 м ³

В качестве легковоспламеняющейся жидкости для всех сценариев развития аварий рассмотрен бензин. При пожаре пролива рассмотрено несколько сценариев аварий, когда площадь пролива определялась исходя из пролива 1 м³, 5 м³, 10 м³, 15 м³, 20 м³ и 33 м³ (весь объём полуприцепа-цистерны ППЦ-33). Эти сценарии получили обозначение С_{№1}1; С_{№2}5; С_{№3}10; С_{№4}15; С_{№5}20; С_{№6}33.

Площадь испарения при разливе на горизонтальную поверхность определяется (при отсутствии справочных или иных экспериментальных данных) исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,10 м², а остальных жидкостей – на 0,15 м² [1, с. 19, прил. В, пункт В.1.3.4]).

Так, например, по сценарию С_{№1}1, при проливе 1 м³ бензина прогнозируемая площадь разлива составит: $S = 1000 \cdot 0,15 = 150 \text{ м}^2$.

Результаты расчёта площади разлива нефти для всех сценариев приведены в таблице 2.

Таблица 2

Площадь разлива нефти

Наименование сценария аварии	Площадь разлива, м ²
С _{№1} 1	150
С _{№2} 5	750
С _{№3} 10	1500
С _{№4} 15	2250
С _{№5} 20	3000
С _{№6} 33	4950

Для расчета интенсивности теплового излучения необходимо знать размеры пятна пролитого горючего вещества. При свободном разлитии нефти предположить форму пятна разлившегося нефтепродукта невозможно, поэтому принимается эквивалентное разлитие в форме круга, площадь которого принимается равновеликой площади разлива согласно таблице 2.

Определим эквивалентный диаметр пролива нефти (1). Для круга:

$$D_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{4S_{\text{эк}}}{\pi}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{эк}}$ – эквивалентный диаметр пролива нефтепродукта, м; $S_{\text{эк}}$ – площадь эквивалентного круга, м².

Высота пламени H , м, вычисляется по формуле

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m}{\rho_{\text{в}} \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (2)$$

где m – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг·м⁻²·с⁻¹; $\rho_{\text{в}}$ – плотность окружающего воздуха, кг·м⁻³; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м·с⁻².

Например, для сценария № 1 с площадью разлития 150 м²:

$$D_{\text{эк С№1}}^{\text{прывыв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 150}{\pi}} = 13,82 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 13,82 \cdot \left(\frac{0,06}{1,225 \cdot \sqrt{g \cdot 13,82}} \right)^{0,61} = 20,63 \text{ м}.$$

Согласно проведенным расчетам, сведенным в таблицу 3, при пожаре пролива опасные зоны (находясь в которых есть условная вероятность поражения человека) для рассматриваемой АЗС составили (в качестве безопасной принята интенсивность теплового излучения 1,4 кВт/м²):

Таблица 3

Размеры опасных зон при возгорании

Наименование сценария аварии	Эффективный диаметр разлива, м	Высота пламени, м	Радиусы опасной зоны, м
С _{№1} 1	13,82	20,63	127
С _{№2} 5	30,91	36,08	251
С _{№3} 10	43,71	45,91	337
С _{№4} 15	53,54	52,86	400
С _{№5} 20	61,82	58,42	452
С _{№6} 33	79,41	69,52	559

Определим условную вероятность Q_{ni} поражения человека тепловым излучением в зависимости от его местонахождения.

Изначально необходимо рассчитать величину «пробит»-функции P_r по формуле (2):

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln(t \cdot q^{1,33}), \quad (3)$$

где t – эффективное время экспозиции, с; q – интенсивность теплового излучения, кВт·м⁻².

Расчет интенсивности теплового излучения q , кВт/м² для пожара пролива проводят по формуле (4):

$$q = 5,7 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_{\phi}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{CB}}{100} \right)^4 \right] \cdot \Phi_{1\phi}, \quad (4)$$

где 5,7 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴); ε_{np} – приведенная степень черноты системы;

$$\varepsilon_{np} = \left(\frac{1}{\varepsilon_{\phi}} + \frac{1}{\varepsilon_{\epsilon}} - 1 \right)^{-1}, \quad (5)$$

ε_{np} – степень черноты факела; ε_{np} – степень черноты облучаемого вещества; T_{ϕ} – температура горения «огненного шара», К; T_{CB} – температура горючего вещества, К; $\Phi_{1\phi}$ – коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями.

Коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями вычисляется по формуле (для $r \geq a$ и $r \geq b$)

$$\Phi_{1\phi} = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \cdot \arctg \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \cdot \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right), \quad (6)$$

где $a = H/2$; $b = d/2$; r – расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями.

Величину эффективного времени экспозиции t для пожаров проливов можно найти как:

$$t = t_o + x/v, \quad (7)$$

где t_o – характерное время обнаружения пожара, с, (допускается принимать $t = 5$ с); x – расстояние от места расположения человека до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает 4 кВт·м⁻², м; v – скорость движения человека, м·с⁻¹ (допускается принимать $v = 5$ м·с⁻¹).

Для сценария № 1 на расстоянии 16 м:

$$a = 20,63/2 = 10,31 \text{ м};$$

$$b = 13,82/2 = 6,91 \text{ м};$$

$$\Phi_{1\phi} = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{10,31}{\sqrt{10,31^2 + 16^2}} \cdot \arctg \frac{6,91}{\sqrt{10,31^2 + 16^2}} + \frac{6,91}{\sqrt{6,91^2 + 16^2}} \cdot \arctg \frac{10,31}{\sqrt{6,91^2 + 16^2}} \right) = 0,255;$$

$$\varepsilon_{np} = \left(\frac{1}{0,98} + \frac{1}{0,95} - 1 \right)^{-1} = 0,93;$$

$$q = 5,7 \cdot 0,93 \cdot \left[\left(\frac{1473}{100} \right)^4 - \left(\frac{313}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,255 = 63675,71 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$t = 5 + (75 - 16)/5 = 16,8 \text{ с};$$

$$P_r = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(16,8 \cdot 63675,71^{1,33}) = 6,47.$$

С помощью таблицы В2 [1] определим условную вероятность поражения человека.

Так, при значении $P_r = 6,47$ значение $Q_{en} = 92,8 \% = 0,928$.

Результаты определения радиусов опасных зон и расчета условной вероятности поражения людей при реализации различных сценариев аварий приведены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

Размеры опасных зон при возгорании

Наименование сценария аварии	Эффективный диаметр разлива, м	Высота пламени, м	Радиусы опасной зоны, м
C _{№1}	13,82	20,63	25
C _{№2} 5	30,91	36,08	63
C _{№3} 10	43,71	45,91	97
C _{№4} 15	53,54	52,86	125
C _{№5} 20	61,82	58,42	150
C _{№6} 33	79,41	69,52	208

Таблица 5

Условная вероятность поражения людей при пожаре пролива

Расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями r , м, (выборочно)	Коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями	Интенсивность теплового излучения q , Вт·м ⁻²	«Пробит»-функция P_r	Условная вероятность поражения $Q_{эп}$, %
C _{№1}				
1	0,98792	246550,4	11,5	100
16	0,255	63675,71	6,47	92,8
29	0,096	24039,05	2,72	1,2
30	0,091	22621,72	2,48	0
54	0,030	7507,72	-2,35	0
C _{№2} 5				
1	0,998	248949	12,94	100
16	0,573	143039,3	10,82	100
54	0,108	26946,05	4,43	28,3
68	0,071	17734,31	2,68	1
69	0,069	17261,08	2,57	0
C _{№3} 10				
1	0,999	249284,4	11,08	100
16	0,708	176648,6	12,25	100
54	0,179	44561,09	7,04	97,6
98	0,062	15529,27	2,68	1
99	0,061	15236,98	2,59	0
C _{№4} 15				
1	0,999	249403,1	14,01	100
16	0,773	193008,6	12,98	100
54	0,234	58447,81	8,48	100
121	0,058	14434,96	2,72	1,2
122	0,057	14213,26	2,65	0
C _{№5} 20				
1	1	249465	14,29	100
16	0,813	202859,6	13,45	100
54	0,280	69931,14	9,44	100
141	0,055	13613,68	2,7	1,1
142	0,054	13433,33	2,63	0
C _{№6} 33				
1	1	249541,8	14,78	100
16	0,868	216628,5	14,19	100
54	0,371	92691,5	10,99	100
183	0,05	12415,43	2,7	1,1
184	0,049	12287,8	2,65	0

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что условная вероятность поражения людей при пожаре пролива на расстоянии 16 метров практически при всех сценариях развития аварий равна 100 % (на расстоянии 1 м – 92,8 %). Так, 100 % вероятность поражения людей существует на расстоянии 54 метров при проливе 15 м³, 20 м³ и 33 м³ топлива. При сценарии C_{№2}5 вероятность поражения людей равна 28,3 %, C_{№1} – 0 %.

Основным поражающим фактором при воздействии на человека «огненного шара» является предельно допустимая доза теплового излучения и интенсивность теплового излучения. Поражающие факторы при воздействии «огненного шара» будем определять согласно [1].

Расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара» q , кВт/м² проводят по формуле (8):

$$q = 5,7 \cdot \epsilon_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_{\Gamma}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{CB}}{100} \right)^4 \right] \cdot \Phi_{1\phi}, \quad (8)$$

где T_{Γ} – температура горения «огненного шара» (допускается принимать 1500 К); T_{CB} – температура облучаемого вещества, К; $\Phi_{1\phi}$ – коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями.

Коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями вычисляется по формуле (для $r_2 \geq r_1$):

$$\Phi_{1\phi} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \left(\arctg \frac{r_1}{\sqrt{r_2^2 + r_1^2}} \right), \quad (9)$$

где r_1 – радиус «огненного шара», м; r_2 – расстояние от облучаемого объекта до центра «огненного шара», м.

Радиус «огненного шара» определяется по формуле (10):

$$r_1 = 2,665 \cdot m^{0,327}, \quad (10)$$

где m – масса горючего вещества, кг.

Высоту центра «огненного шара» H определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать H равной r_1 .

Время существования «огненного шара» t_s , с, рассчитывают по формуле (11):

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303}. \quad (11)$$

Принимая в качестве критериев опасного теплового воздействия «огненного шара» на человека предельно допустимую дозу теплового излучения – $1,2 \cdot 10^5$ Дж/м² (ожог 1-й степени), $2,2 \cdot 10^5$ Дж/м² (ожог 2-й степени) и $3,2 \cdot 10^5$ Дж/м² (ожог 3-й степени) и тепловые нагрузки для людей – 1,4 кВт/м², 7 кВт/м² и 10,5 кВт/м² определяем опасные зоны теплового излучения. В качестве безопасной принята интенсивность теплового излучения 1,4 кВт/м², при этом радиус опасной зоны составил 116 м.

Дозу теплового излучения Q , Дж/м², рассчитывают по формуле (12):

$$Q = q t_s, \quad (12)$$

где q – интенсивность теплового излучения «огненного» шара, Вт/м²; t_s – время существования «огненного шара», с.

Пример расчета условной вероятности поражения человека тепловым излучением при образовании «огненного» шара на расстоянии 54 м:

$$r_1 = 2,665 \cdot 132,6^{0,327} = 13,18;$$

$$\Phi_{1\phi} = \frac{13,18}{54} \cdot \left(\arctg \frac{13,18}{\sqrt{54^2 + 13,18^2}} \right) = 0,057;$$

$$\epsilon_{np} = \left(\frac{1}{0,98} + \frac{1}{0,95} - 1 \right)^{-1} = 0,93;$$

$$q = 5,7 \cdot 0,93 \cdot \left[\left(\frac{1200}{100} \right)^4 - \left(\frac{313}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,057 = 6226,16 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$t = 5 + (68 - 54)/5 = 7,8 \text{ с};$$

$$P_{\Gamma} = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(7,8 \cdot 6226,16^{1,33}) = -3,41.$$

Для значения $P_{\Gamma} = -3,41$ значение $Q_{en} = 0 \%$.

Результаты расчета условной вероятности поражения людей при образовании «огненного» шара приведены в таблице 6.

Таблица 6

Условная вероятность поражения людей при образовании «огненного» шара

Расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями r , м (выборочно)	Коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями	Интенсивность теплового излучения q , Вт·м ⁻²	Дозу теплового излучения Q , Дж/м ²	«Пробит»-функция P_r	Условная вероятность поражения $Q_{оп}$, %
1	10,329	1132487	4580,91	16,5	100
16	0,466	51123,56	206,79	5,495	69
25	0,23	25209,06	101,97	2,77	1,3
26	0,215	23587,42	95,41	2,51	0
54	0,057	6226,16	25,18	-3,41	0

Таким образом, условная вероятность поражения тепловым излучением человека, идущего по дороге к торговому центру «Зодиак», равна 69 %.

Одним из наиболее тяжёлых поражающих факторов, которые могут возникнуть при возможной аварии на АЗС «Белнефтехим», является избыточное давление фронта ударной волны, которая образуется при взрыве. Расчет избыточного давления фронта взрывной волны производился согласно [1].

Определим зоны поражения избыточным давлением фронта взрывной волны с границами, определяемыми радиусами поражения R , центром которых является резервуар. Границы каждой зоны характеризуются значениями избыточных давлений по фронту ударной волны (ΔP).

Классификация зон по перепаду давлений во фронте ударной волны с принятыми для каждой зоны радиусами поражения R приведена в таблице 7.

Таблица 7

Характеристика зон поражения при избыточном давлении

Радиус поражения	ΔP , кПа	Характеристика зоны
R1	100	Полное разрушение (разрушение и обрушение всех элементов зданий и сооружений)
R2	53	50 % разрушение зданий (разрушение части стен и перекрытий верхний этажей, образование трещин в стенах, деформация перекрытий нижних этажей)
R3	28	Разрушение зданий без обрушения (разрушение главным образом второстепенных элементов: крыш, перегородок, оконных и дверных заполнений. Перекрытия, как правило, не обрушиваются. Часть помещений пригодна для использования после расчистки от обломков и проведения ремонта). Разрушаются резервуары нефтехранилищ
R4	12	Разрушение внутренних перегородок (разрушение оконных и дверных заполнений и перегородок. Нижние этажи полностью сохраняются и пригодны для использования после уборки мусора и заделки проёмов)
R5	3	Разрушение оконного стекла (малые повреждения – разбито не более 10 % стекол)

Воздействие избыточного давления взрыва на человека представлено в таблице 8.

Таблица 8

Характеристика действия ударной волны на человека

Радиус поражения	ΔP , кПа	Характеристика действия ударной волны
R6	65,9	Порог выживания (летальное травмирование людей)
R7	5	Порог повреждения (контузия лёгких, временная потеря управляемости)

Параметрами волны давления, являются избыточное давление в положительной фазе волны Δp и импульс положительной фазы волны i .

Избыточное давление в положительной фазе волны Δp , кПа, и импульс фазы волны i , Па·с рассчитывают по формулам (13), (15):

$$\Delta P = P_o \cdot (0,8 \cdot m_{np}^{0,33}/r + 3 \cdot m_{np}^{0,66}/r^2 + 5 \cdot m_{np}/r^3), \quad (13)$$

где P_o – атмосферное давление, (допускается принимать равным 101 кПа); r – расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м; m_{np} – приведенная масса газа или пара, кг, вычисляется по формуле (14):

$$m_{np} = (Q_{сг}/Q_o) \cdot M \cdot Z, \quad (14)$$

где $Q_{сг}$ – удельная теплота сгорания газа или пара, Дж·кг⁻¹; Z – коэффициент участия горючих газов и паров в горении (для наземных резервуаров принимаем $Z = 0,1$, для подземных резервуаров и для случа-

ев пролива в здании принимаем $Z = 0,3$); Q_o – константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж·кг⁻¹; M – масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

Величину импульса волны давления i , Па·с, вычисляют по вышеупомянутой формуле (15):

$$i = 123 \cdot m_{np}^{0,66}/r. \quad (15)$$

«Пробит»-функцию P_r допускается вычислять по формуле:

$$P_r = 5 - 0,26 \cdot \ln(V), \quad (16)$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3}. \quad (17)$$

При взрыве одного из резервуаров опасная зона для рассматриваемой АЗС составит 96 м (согласно таблице 7).

Определим условную вероятность поражения человека тепловым излучением при образовании взрыва на расстоянии 54 м:

$$m_{np} = (43965 \cdot 10^3 / (4,52 \cdot 10^6)) \cdot 42 \cdot 0,3 = 122,56 \text{ кг};$$

$$i = 123 \cdot 122,56^{0,66} / 54 = 54,43 \text{ Па·с};$$

$$\Delta P = 101 \cdot (0,8 \cdot 122,56^{0,33} / 54 + 3 \cdot 122,56^{0,66} / 54^2 + 5 \cdot 122,56 / 54^3) \cdot 1000 = 10190,2 \text{ Па}.$$

$$V = \left(\frac{17500}{10190,2} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{54,43} \right)^{9,3} = 5717774,322.$$

$$P_r = 5 - 0,26 \cdot \ln(5717774,322) = 0,95.$$

Для значения $P_r = 0,95$ значение $Q_{en} = 0$ %.

Результаты расчета условной вероятности поражения людей при взрыве приведены в таблице 9.

Таблица 9

Условная вероятность поражения людей при взрыве

Расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями r , м (выборочно)	Избыточное давление ΔP , Па	Импульс волны давления i , Па·с	V	«Пробит»-функция P_r	Условная вероятность поражения Q_{en} , %
1	69526538	2939,064	4,42545E-10	10,6	100
16	68077,56	183,692	69,87	3,9	13
26	29422,74	113,041	6385,74	2,72	1,2
27	27704,5	108,854	9070,72	2,63	0
54	10190,2	54,4271	5717774,322	0,95	0

При полученном перепаде давлений 10,19 кПа при взрыве в торговом центре «Зодиак» на расстоянии 54 м произойдет разрушение оконного стекла.

Рассматривая воздействие избыточного давления взрыва на человека, представленного в таблице 8, приходим к выводу, что при взрыве на рассматриваемой АЗС, вход в торговый центр «Зодиак» со стороны АЗС является опасной зоной, в которой ударная волна может вызвать контузию лёгких, разрыв барабанных перепонок, отбрасывание ударной волной и/или временную потерю управляемости. Что касается зоны дороги к торговому центру, то на ней возможно летальное травмирование людей.

При реализации сценария аварии обычно происходит комплексное воздействие всех указанных выше поражающих факторов на находящиеся поблизости объекты [3], что усугубляет возникающую ситуацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474-2013. – Минск, 2013.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.yaraw.com/catalog/?id=61>.
3. Кульбей, А.Г. Построение полей индивидуального риска для промышленных объектов / А.Г. Кульбей, И.А. Леонович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8.

УДК 697:721.011.25

ПРОБЛЕМЫ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

С.И. БОГУШ, Н.А. ВАСИЛЕВИЧ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.И. ЛИПКО; О.Н. ШИРОКОВА)

Рассматривается проблема создания благоприятного микроклимата в помещениях герметизированных зданий жилого и общественного назначения, связанного с подачей свежего наружного воздуха в вентилируемые помещения, оздоровлением микроклимата помещений с длительным пребыванием людей, влияющего на оздоровительные функции человека, способствующие повышению производительности труда.

Проблема ухудшения санитарно-гигиенических параметров микроклимата в жилищном строительстве связана с герметизацией зданий, характеризующихся низкой воздухопроницаемостью ограждающих конструкций. Многочисленные обследования вновь построенных и длительно эксплуатируемых жилых зданий, проведенные специалистами Полоцкого государственного университета в городах Полоцке и Новополоцке по ходатайству эксплуатирующих организаций, связанные с жалобами жильцов, показали повышенную избыточную влажность внутреннего воздуха из-за нарушений естественной вентиляции, основанной на инфильтрации.

Расчёт расхода свежего приточного воздуха, поступающего в помещения за счет инфильтрации, выполненный по СНБ 4.02.01.-03, даёт завышенные значения, так как в формулах используются нормативные значения воздухопроницаемости ограждающих конструкций, а не их фактические значения, которые в сотни раз меньше. Таким образом, уже на стадии проектирования закладываются условия недопоставки свежего воздуха в помещения, связанные с нарушением нормативных воздухообменов и дискомфортом микроклимата [1; 2]. Вторым серьёзным недостатком в жилищно-строительном комплексе Республики Беларусь является наличие внутри почти всех зданий лестнично-лифтового объёма, выполняющего функции сквозной шахты с малым аэродинамическим сопротивлением, с которой трудно конкурировать вытяжным каналам и вентблокам, имеющим значительно большее аэродинамическое сопротивление на проход воздуха. Таким образом, высотное здание работает в режиме аэрации, при которой нижняя часть здания находится под разрежением и работает на инфильтрацию, а верхняя – под избыточным давлением, то есть работает на эксфильтрацию, создавая тем самым дискомфорт по санитарно-гигиеническим нормативам микроклимата помещений. Третий важнейший фактор риска, связанный с дискомфортом микроклимата, – отсутствие предпусковой и ежегодной наладки и регулировки систем вентиляции перед отопительным сезоном, которая предполагает наладку на нормативный режим воздухообменов помещений за счет регулируемых решеток или установкой специальных диафрагм под нерегулируемые решетки вытяжных систем вентиляции. Такая работа должна проводиться по специальной методике, утвержденной Минздравом, с фиксацией параметров микроклимата специальными приборами для санитарно-гигиенических испытаний качества воздушной среды жилых газифицированных зданий, которая практически никем не выполняется ни на стадии пуско-наладочных работ, ни в процессе эксплуатации зданий. В результате разрегулировки в нижних этажах за счет большего гравитационного давления, пропорционального высоте вытяжных каналов, создается переохлаждение за счет многократного увеличения нормативного расхода инфильтрующегося наружного холодного воздуха, а в верхних этажах создаются условия «опрокидывания циркуляции», при которых отработанный переувлажненный и загазованный воздух из объема чердака выдавливается через обособленные ответвления вентблоков внутрь жилых помещений верхних этажей, причем открытие форточек усиливает обратную тягу и ухудшает санитарно-гигиенические условия воздушной среды. Четвертым фактором нестабильности микроклимата помещений жилых зданий является повышенная герметизация ограждающих конструкций и отсутствие технических средств, обеспечивающих равномерное поступление свежего наружного воздуха в каждое помещение в нормируемых количествах, пропорциональных площади пола, вне зависимости от этажности и внешних воздействий от изменений наружной температуры, барометрического и ветрового давлений. Такие устройства созданы в Полоцком университете, испытаны и прошли экспериментальную проверку в лабораторных и реальных условиях эксплуатации.

В настоящее время в УО «ПГУ» продолжаются работы по важнейшей для Республики Беларусь тематике, направленной на дальнейшее совершенствование отопительно-вентиляционной техники и энергоэффективных технологических схем по созданию комфортных параметров микроклимата и энергоресурсосберегающих технологий тепловоздухоснабжения зданий с использованием природной теплоты солнечной радиации и вторичных энергоресурсов, включая рекуперацию теплоты уходящего воздуха и трансмиссионной теплоты, теряемой зданиями через наружные ограждения, для нагрева приточного воздуха в системах воздушного обогрева зданий, совмещенных с приточной вентиляцией, которые значи-

тельно снижают затраты материальных средств и энергоресурсов при строительстве и эксплуатации объектов жилищно-культурного назначения.

Создание комплекса отопительно-вентиляционного оборудования, основанного на малоинерционных низкотратных видах высокотехнологичных теплоносителей, исключающих применение энергоёмких и металлозатратных водяных систем теплоснабжения зданий, предполагает высокоэкономичную эффективность от реализации проекта.

Разработка новейших технических средств, технологических схем и конструктивных решений по тематике проводимых исследований, по результатам которых подготовлено 12 заявок на изобретения и полезные модели Республики Беларусь.

Выполненные исследования убедительно доказали, что наиболее перспективным направлением в области дальнейшего совершенствования отопительно-вентиляционной техники и энергетического оборудования зданий являются системы воздушного обогрева зданий, совмещенные с приточно-вытяжной вентиляцией, в которых возможно применение энергоэффективных приемов снижения теплопотребления за счет рекуперации трансмиссионной теплоты, утилизации теплоты удаляемого воздуха, использования солнечной и ветровой энергии нескончаемых природных источников, а также круглогодичного использования низкопотенциальной теплоты в системах кондиционирования микроклимата.

Рациональное использование тепловой и электрической энергии, природных и вторичных источников, утилизация тепловых отходов и низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов на основе передовых достижений науки и техники, позволяющих снизить энергопотребление в строительной отрасли и повысить термодинамическую эффективность в коммунально-бытовой сфере экономики, являются в настоящее время стратегической базой при дальнейшем решении практических задач по снижению энергоёмкости в градостроительстве.

Известно, что здания любого назначения защищают людей от воздействия внешних климатических условий и, естественно, принимают на себя своими наружными ограждениями все неблагоприятные воздействия наружной среды. Все инженерные системы зданий (водопровод и канализация, теплогазоснабжение и отопление, освещение и вентиляция, телекоммуникации и т.п.) создают комфортные условия микроклимата помещений с длительным пребыванием людей. Наиболее металло- и энергоёмкими из них являются системы теплоснабжения и вентиляции, которые призваны подавать свежий воздух и обеспечивать тепловой комфорт, жизненно необходимые для человека.

Все здания жилого и общественного назначения, построенные до 1993 года, имеют воздухопроницаемые наружные ограждения с теплотехнической характеристикой, рассчитанной для климатических условий Республики Беларусь по нормативно-требуемому термическому сопротивлению в пределах $R = 0,8 \dots 1,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ для наружных стен и $R = 0,4 \dots 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ для окон и балконных дверей.

В связи с тем, что в Республике Беларусь в последние годы политика энерго- и ресурсосбережения имеет приоритетное значение, начиная с 1993 года вступили в действие нормативные документы по повышению теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций за счет увеличения требуемого значения термического сопротивления: для наружных стен до $R_{\text{нст}} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; для окон и балконных дверей до $R_0 = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; перекрытий над подвалами $R_{\text{пер}} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; покрытий $R_{\text{пок}} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

В результате вновь вводимые в эксплуатацию по завершении строительства или планового капитального ремонта здания имеют дополнительное утепление наружных ограждений, снижающих теплопотери зданий более чем в три раза. Это достигается за счет уменьшения воздухопроницаемости наружных ограждений путём повышения их герметичности, а также за счет оклеивания наружных стен дополнительными слоями утеплителя на герметичных клеющих мастиках; оконные блоки с двойным остеклением и составными открывающимися элементами, имеющими многочисленные щели для поступления наружного воздуха в помещение за счет инфильтрации, заменены на более современные герметичные долговечные конструкции из пластика и алюминия с тройным остеклением и вакуумированием межстекольного пространства, выполненными по европейским стандартам. Однако эти дорогостоящие меры, принятые с обоснованной целью экономии теплоэнергоресурсов, привели к другим негативным последствиям, связанным с вентиляцией зданий.

Существующая общепринятая технология вентиляции зданий жилого и общественного назначения основана на создании организованной общеобменной вытяжки внутреннего воздуха через вытяжные вентиляционные каналы с естественным гравитационным побуждением и неорганизованного притока в вентилируемые помещения наружного свежего воздуха через воздухопроницаемые наружные ограждения и неплотности притворов оконных блоков и наружных, балконных дверей. Затраты тепловой энергии на нагрев поступающего снаружи воздуха компенсируются за счет перегрузки системы отопления зданий, рассчитываемой по специальной методике.

Повышение герметичности наружных ограждений при новом строительстве и реконструкции зданий исключает возможность неорганизованного притока свежего наружного воздуха в вентилируемые помещения жилых и общественных зданий. Аналогичные негативные последствия возникают при оклеивании окон на зиму или заклеивании решеток вытяжных каналов при безграмотной эксплуатации систем

вентиляции. Под действием естественного гравитационного давления часть внутреннего воздуха через вытяжные каналы выносится из помещений до создания некоторого значения вакуума, из-за которого движение воздуха в вытяжных каналах прекращается.

Увеличение влажности внутреннего воздуха приводит к увлажнению изнутри наружных ограждающих конструкций, в результате чего увеличивается их теплопроводность и резко возрастают теплопотери здания в целом. Таким образом сводятся на нет все дополнительные затраты по утеплению здания, а кроме того увлажнение строительных материалов приводит к снижению их прочности и долговечности.

Основное негативное последствие герметизации зданий – нарушение неорганизованного притока свежего наружного воздуха, жизненно необходимого для человека, который предусмотрен существующей технологической схемой вентиляции жилых и общественных зданий.

Исходя из изложенного, главной целью выступает создание благоприятного микроклимата в помещениях герметизированных зданий жилого и общественного назначения. Наряду с экономией теплоэнергетических ресурсов социальная значимость настоящей работы связана с жизненно необходимой подачей свежего наружного воздуха в вентилируемые помещения, оздоровлением микроклимата помещений с длительным пребыванием людей, влияющего на оздоровительные функции человека, способствующие повышению производительности труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03. – Минск: М-во архитектуры и строительства Ресап. Беларусь, 2003.
2. Строительная теплотехника (с изменениями № 1-6): ТКП 45-2.04-43-2006. – Минск: М-во архитектуры и строительства, 2007.

УДК 697:721.011.25

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.А. НИКРАШЕВИЧ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.И. ЛИПКО; С.В. ЛАНКОВИЧ)

На основе анализа и обобщения ряда проблем в практике градостроительства предлагаются инновационные решения для модернизации инженерных систем зданий с точки зрения энергосбережения.

Строительная отрасль экономики Республики Беларусь за последнее время ежегодно наращивает объемы жилищного строительства повсеместно в крупных городах и агрогородках. Высотное строительство по известным причинам обходится значительно дороже и в процессе возведения зданий, и в период их эксплуатации, поэтому в спальных районах городской застройки, а особенно в небольших городах и сельских населенных пунктах все большую долю составляют малоэтажные здания.

В настоящее время в жилищном строительстве совершенствуются технологии, используются новые строительные материалы, инженерное оборудование, индивидуальные и автономные системы энергоснабжения, компьютерное управление системами жизнеобеспечения, используются вторичные и природные энергоисточники и другие средства комфортного проживания [1].

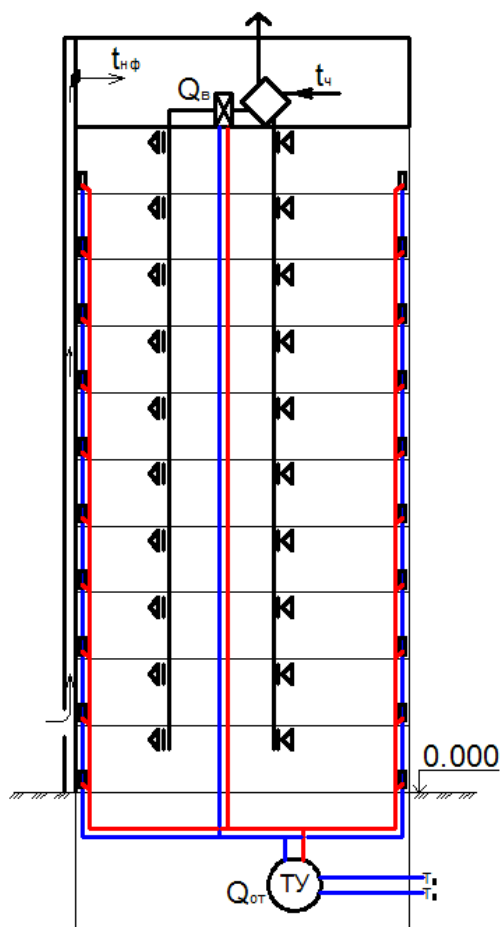
Наряду с положительными тенденциями развития строительной индустрии обостряются и некоторые проблемы, решение которых весьма актуально.

В целях снижения теплопотерь через наружные ограждающие конструкции нормативной базой ужесточаются требования к повышению их теплозащитных характеристик. Если теплозащиту наружных стен, перекрытий подвалов и потолка можно легко повысить за счет увеличения толщины слоя утеплителя, то для заполнения световых проемов с термическим сопротивлением $R_{ок} \geq 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ трудно найти приемлемые конструктивные решения даже с учетом предложений оконных стеклоблоков, выполненных по европейским стандартам с вакуумированием межстекольного пространства и заполнением инертными газами или покрытием стекла различными напылениями и пленочными покрытиями, значительно удорожающими и усложняющими конструктивное исполнение и не всегда удовлетворяющими нормативным требованиям Республики Беларусь [2]. Одним из возможных решений является запатентованный оконный блок [3], который помимо своей основной функции (светопропускания) используется как теплообменник, в котором циркулирующий в межстекольном пространстве вентиляционный приточный наружный воздух аккумулирует с внешней стороны теплоту прямой и рассеянной солнечной радиации в дневное время и круглосуточно воспринимает через внутреннее остекление трансмиссионную теплоту в течение всего

отопительного периода. Таким образом, внутрь вентилируемого помещения поступает наружный воздух уже в предварительно подогретом состоянии, значительно снижая нагрузку на систему отопления [4].

Естественная вентиляция жилых зданий, основанная на инфильтрации и узаконенная нормативными актами документально [5; 6], широко применяется в жилищном строительстве. Однако в условиях практически полной герметизации наружных ограждающих конструкций [7; 8] не обеспечивает нормативный воздухообмен вентилируемых помещений по санитарно-гигиеническим параметрам и способствует наполнению вредными газами и избыточной влагой, значительно ухудшая условия проживания и способствуя появлению плесени, грибковых образований, разрушающих деревянные конструкции и отделочные материалы. Избыточное переувлажнение наружных ограждений снижает теплозащитные характеристики и приводит к дополнительным и весьма значительным безвозвратным потерям тепловой энергии [9; 10].

В целях снижения материальных средств и энергоресурсов, потребляемых от внешних энергоисточников системами тепловоздухоснабжения жилых зданий с наружными ограждениями повышенной теплозащиты и герметичности, необходима их инновационная модернизация в соответствии с патентами Республики Беларусь [11; 12], в которых предусмотрено использование навесных вентилируемых светопрозрачных фасадных систем, технологических чердаков, функционально преобразованных из вытяжных секционных вентиляционных объемных камер в объемные приточные вентиляционные камеры для



Расчетная схема
отопительно-вентиляционной системы здания

сбора предварительно подогретого в щелевых воздухопроводящих каналах, образованных навесными вентилируемыми светопрозрачными фасадными системами и наружными ограждающими вертикальными конструкциями, наружного приточного вентиляционного воздуха с последующей его подачей через рекуперативные пластинчатые теплоутилизаторы внутрь вентилируемых помещений, как это показано схематично на рисунке [13].

В работе [13] на основе анализа и обобщения известных технических решений разработан комплекс мероприятий по дальнейшей модернизации систем тепловоздухоснабжения по критерию минимизации энергопотребления от внешних источников за счет более широкого использования резерва внутреннего потенциала солнечной радиации. На основе теоретических положений тепломассообменных процессов создана методическая база для аналитического расчета и проектирования систем тепловоздухоснабжения энергоэффективных жилых зданий, подтверждающая снижение теплопотребления от внешних источников свыше 75 % с возможностью перехода от энергозатратного и металлоемкого водяного отопления к энергосберегающим системам воздушного отопления, совмещенного с активной вентиляцией [14; 15].

В целях дальнейшего повышения энергоэффективности в жилищном строительстве и снижения энергопотребления от внешних энергоисточников нельзя не отметить тот факт, что в отопительный период эксплуатации зданий нет необходимости отапливать лестнично-лифтовый пространственный объем, так как жилыцы находятся в нем в теплой зимней одежде. Расположенные внутри здания, занимающие отапливаемый объем до 20 % и конструктивно выполненные в виде объемной шахты они оказывают влияние на весь аэродинамический режим внутри здания, при котором происходит не только нарушение нормальной работы вытяжных вентиляционных систем, но их полное отключение и опрокидывание циркуляции воздуха. Таким образом, по экономическим,

технологическим и санитарно-гигиеническим показателям лестнично-лифтовые пространственные конструкции из внутреннего объема целесообразно перенести на северный короткий торцевой фасад здания без отопления с функцией тамбурной пристройки, обеспечив дополнительное снижение отопительной нагрузки здания от внешнего теплопотребления.

На основании изложенного выше можно сделать следующие *выводы*:

- отмеченные в работе проблемы жилищного строительства могут быть решены путем инновационной модернизации технологических схем, конструктивных преобразований и объемно-планировочных решений с использованием навесных вентилируемых светопрозрачных фасадных систем, преобразования чердаков в приточные объемные секционные вентиляционные камеры с установкой в них теплоутилиза-

торов теплоты вытяжного воздуха и возможностью перехода на экономичные системы воздушного отопления при минимальном теплоснабжении от внешних энергоисточников;

- при малоэтажном строительстве целесообразно полностью отказаться от централизованного теплоснабжения и шире использовать вторичные и природные энергоисточники для систем отопления и вентиляции зданий с наружными ограждениями повышений теплозащиты и герметичности;

- в качестве энергоэффективных заполнений световых проемов предлагается использование вентилируемых оконных стеклопакетов в качестве теплообменников-утилизаторов трансмиссионной теплоты и природной теплоты солнечной радиации;

- снижение теплоснабжения жилых зданий до 20 % обеспечивается за счет переноса лестнично-лифтового пространственного объема на короткий северный торцевой фасад без отопления, что защитит и уменьшит теплотери самого фасада здания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство приточной вентиляции здания, совмещенной с его обогревом: пат. № 8998 Респ. Беларусь, МПК F24D7/00 / Липко В.И., Липко С.В., Самохвал Е.А., Широкова О.Н.; заявитель и патентообладатель Полоц. гос. ун-т. – № и 20120681; заявл. 16.07.2012; опубл. 28.02.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013.
2. / Широкова, О.Н. Энергоэффективное автономное тепловоздухоснабжение малоэтажных герметичных зданий / О.Н. Широкова, В.И. Липко // Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф. – Брянск, 2013. – Т. 2. – С. 81–88.
3. Приточный вентиляционный оконный блок: пат. № 947 Респ. Беларусь, МПК E06B7/02,7/10 / Липко В.И.; заявитель и патентообладатель Полоц. гос. ун-т. – № и 20020379; заявл. 04.12.2002; опубл. 30.09.2003 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003.
4. Липко, В.И. Построение физической и математической моделей к вопросу теории расчета рекупративного теплообмена при инфильтрации приточного воздуха через энергосберегающие вентилируемые двухслойные стеклопакеты с утилизацией трансмиссионной теплоты / В.И. Липко, Е.С. Добросольцева, С.В. Ланкович // Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф. – Брянск, 2013. – Т. 2. – С. 75–81.
5. Жилые здания: СНБ 3.02.04-03 / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск. – 2003.
6. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 3.02.01-03 / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск. – 2003.
7. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий / В.И. Липко. Т. 1 – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2000. – 300 с.
8. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий / В.И. Липко. Т. 2. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2000. – 246 с.
9. Липко, В.И. Энергоресурсоэффективное тепловоздухоснабжение гражданских зданий: в 2-х т. / В.И. Липко. Т. 1 – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2004 – 212 с.
10. Липко, В.И. Энергоресурсоэффективное тепловоздухоснабжение гражданских зданий: в 2-х т. / В.И. Липко. Т. 2 – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2004. – 392 с.
11. Технологический чердак здания: пат. № 9618, Респ. Беларусь, МПК 04Н1/02 / Липко В.И., Добросольцева Е.С., Липко С.В., Ланкович С.В.; заявитель и патентообладатель Полоц. гос. ун-т. – № и 20130302; заявл. 09.04.2013; опубл. 22.07.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – 3 с.
12. Рекуперативное устройство приточно-вытяжной вентиляции здания: пат. № 8381 Респ. Беларусь, МПК F24D7/00 / Липко В.И., Липко С.В.; заявитель и патентообладатель Полоц. гос. университет. – № и 20120004; заявл. 01.02.2012; опубл. 04.03.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – 4 с.
13. Ланкович, С.В. Инновационная модернизация технологических чердаков и разработка теоретических основ тепломассообменных процессов многоэтажных зданий: магистерская дис. / С.В. Ланкович. – Новополоцк, 2015.
14. Широкова, О.Н. Энергоэффективная технология тепловоздухоснабжения чердачных зданий / О.Н. Широкова, В.И. Липко // Энергосберегающие технологии теплогазоснабжения, строительства и муниципальной инфраструктуры: материалы междунар. науч.-практ. интернет-конференции. – Харьков, 2013. – С. 95–98.
15. Ланкович, С.В. Инновационная модернизация технологических чердаков с использованием вторичных и природных энергоресурсов для тепловоздухоснабжения зданий / С.В. Ланкович, В.И. Липко // Энергосберегающие технологии теплогазоснабжения, строительства и муниципальной инфраструктуры: материалы междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Харьков, 2013. – С. 98–100.

УДК 697

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ****Е.К. СИНЮКОВИЧ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.И. ЛИПКО; Е.С. ДОБРОСОЛЬЦЕВА)*

Рассматриваются функциональные возможности и эксплуатационные характеристики оконных конструкций. Светопрозрачные оконные элементы всегда отличались определенными решениями пропорций и форм окон, что было связано с развитием строительной науки и техники каждой эпохи.

Один из древних архитекторов Альберти в своем трактате «Десять книг о зодчестве» (книга первая, глава XII) дает определение роли и назначения окон: «Окна должны быть в каждом помещении, как для доступа света, так и для обновления воздуха. Они должны быть соразмерны с нуждами места и толщины стены так, чтобы пропускать света ни больше, ни меньше, чем нужно, и не быть более частыми или более редкими, чем это требуется».

Формы, пропорции, размеры и размещение окон существенно влияют на фасад и интерьер здания. Архитектурной практикой в каждую историческую эпоху вырабатывались свои специфические решения пропорций и форм окон, неразрывно связанные с архитектурным стилем и уровнем развития строительной науки и техники.

Помимо функций освещения, естественной вентиляции и инсоляции, окна как конструктивный элемент относятся к наружным ограждающим конструкциям зданий и должны удовлетворять теплотехническим и санитарно-гигиеническим требованиям. Для обеспечения необходимой теплозвукоизоляции окна имеют одинарное, двойное, тройное и даже большее остекление, различное расстояние между стеклами и тщательную герметизацию стыков элементов оконных заполнений.

Световая площадь окон определяется расчетом необходимого естественного освещения и для жилых помещений должна составлять 1/5...1/8 площади пола в зависимости от географической широты и ориентации зданий по сторонам света [1, с. 6].

При современном состоянии строительства стоимость световой площади окна обходится дороже аналогичной площади наружной стены, а теплопотери через единицу площади окна значительно больше, чем через стену; поэтому при увеличении площади окон существенно увеличиваются капитальные и эксплуатационные расходы материальных средств и энергоресурсов.

В программе энергосбережения светопрозрачным ограждениям отводится наиболее важная роль, поскольку современный уровень их теплозащиты уступает теплозащите стеновых конструкций здания. Согласно расчетам, в жилых домах теплопотери через полы, стены и кровлю суммарно составляют около 60 %, свыше 40 % утечка теплоты происходит через оконные проемы [2, с. 186–205]. Это объясняется тем, что сопротивление теплопередаче оконных проемов в 3...4 раза ниже сопротивления теплопередаче остальной части наружных ограждений здания. В целях снижения теплопотерь, начиная с 1992 года нормативное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов в Республике Беларусь регулярно повышалось с $R_{ок} \geq 0,39 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ до $R_{ок} \geq 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [3, с. 4, табл. 5.1], но в настоящее время по-прежнему значительно отстает по величине от нормативного сопротивления теплопередаче для наружных стен, которое составляет $R_{нс} \geq 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ по нормативным показателям 2015 года [3].

Требования, предъявляемые к окнам, можно условно разделить на три группы:

- формальные (размеры, членение, вид открывания, цвет, материал);
- функциональные (теплозащита, воздухообмен, светопропускание, звукоизоляция, огнестойкость, надежность эксплуатации);
- экономические (единовременные капиталовложения, эксплуатационные затраты).

В настоящее время существует множество разновидностей стекла и изделий из него, используемых при строительстве домов. Оконное листовое стекло является наиболее распространенным и используется для остекления оконных и дверных проемов, балконов и лоджий.

Стекольная промышленность освоила также выпуск стеклопакетов, профильного стекла, пустотелых стеклоблоков, армированного стекла, матового, цветного, узорчатого, рифленого и других видов стекла.

Для придания стеклу новых свойств при изготовлении энергоэффективных стеклопакетов поверхности стекол вскрываются специальным низкоэмиссионным или селективным защитным покрытием, которые задерживают и не пропускают через свою конструкцию вредные электромагнитные излучения определенных частот.

В настоящее время многочисленные оконные компании (а их только в России свыше 500) работают над минимизацией теплопотерь через окна. «Умные окна» разработали исследователи из Китая, кото-

рые не только способствуют нагреву помещения зимой и охлаждению летом, но могут также использоваться в качестве аккумулятора энергии для питания электроприборов, находящихся в здании.

Таким образом, дальнейшие технико-экономические, конструктивно-технологические исследования и научные разработки в области совершенствования оконных элементов не только актуальны и социально значимы, но и стратегически необходимы особенно в современных условиях нарастания энергетического и экологического кризиса мировой экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилые здания: СНБ 3.02.04-03 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2003.
2. Липко, В.И. Энергоэффективное тепловоздушоснабжение гражданских зданий: в 2-х т. / В.И. Липко. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2004. – Т. 2. – 392 с.
3. Строительная теплотехника: ТКП 45.2.04-43-2006 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2007.

УДК 697

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ОКОННЫХ СТЕКЛОПАКЕТОВ

Е.К. СИНЮКОВИЧ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.И. ЛИПКО; Е.С. ДОБРОСОЛЬЦЕВА)

Рассматривается вопрос экономного расходования топливно-энергетических ресурсов за счет модернизации технологических процессов во всех сферах экономики, включая и градостроительную. Делается вывод об особенной значимости решения этой проблемы для стран, импортирующих энергоресурсы, к которым относится и Республика Беларусь.

Современные светопрозрачные оконные элементы наружных ограждающих конструкций зданий повышенной теплозащиты и герметичности помимо требований энергоэкономичности не должны означать отказ от необходимости организованного притока свежего наружного воздуха в нормируемых количествах в вентилируемые помещения.

Один из путей снижения энергозатрат на эксплуатацию жилых зданий – применение вентилируемых окон, позволяющих повысить температуру внутренней поверхности остекления и получить экономию энергии за счет использования трансмиссионных теплопотерь, теряемых через светопрозрачную наружную ограждающую конструкцию окна, для предварительного подогрева наружного приточного вентиляционного воздуха, проходящего через межстекольное пространство стеклопакета, который при этом выполняет функции пластинчатого теплообменника – рекуператора.

При наличии солнечной радиации вентилируемые окна работают как солнечные коллекторы, которые через внешнее остекление стеклопакета аккумулируют до 55 % природной теплоты солнечной энергии, снижают нагрузку на систему отопления здания от внешних энергоисточников. Как показали расчеты, в отопительный период теплопотери через конструкцию вентилируемого окна значительно меньше, чем через конструкцию традиционных герметичных стеклопакетов. Например, при соотношении площади окна к площади пола помещения равном 1:5 ($F_{ок} = 5 \text{ м}^2$; $F_{п} = 25 \text{ м}^2$) температура наружного воздуха при инфильтрации через межстекольное пространство вентилируемого стеклопакета не ниже $t_{пр} \geq 20 \text{ °C}$ даже при наружной температуре воздуха ниже нормативно-расчетных значений для климатической зоны Беларуси.

Расчет эффективности энергосбережения от использования вентилируемых оконных рекуперативных элементов производится по следующей методике.

Доля трансмиссионной теплоты, возвращаемой в отапливаемое помещение вместе с приточным предварительно подогретым наружным воздухом, инфильтрующимся через межстекольное пространство вентилируемых оконных рекуперативных элементов согласно [1, с. 55]:

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot L_{пр} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{пр} - t_n).$$

В расчетах принимаем:

$L = 3 \text{ м}^3/\text{м}^2$ – расход приточного воздуха удельный на 1 м^2 площади пола вентилируемого помещения;

$t_в = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура внутреннего воздуха, до значений которой он нагревается при прохождении через рекуперативный вентилируемый оконный стеклопакет, выполняющий функции теплообменника- утилизатора;

$t_н = -2 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура наружного воздуха средняя за отопительный период для Витебской области согласно [3, с. 3, табл. 4.4];

$\rho = \frac{353}{273-2} = 1,3 \text{ кг / кДж}$ – плотность воздуха при температуре $t_н = -2 \text{ }^\circ\text{C}$; $c = 1 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ – теплоемкость воздуха; 0,28 – переводной коэффициент кДж в Вт.

После подстановки принятых значений имеем

$$Q = 0,28 \cdot 3 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot (20 + 2) = 24 \text{ Вт / м}^2,$$

получим $Q = 24 \text{ Вт/м}^2$ на каждый квадратный метр площади пола вентилируемых помещений.

Если учесть, что норма жилой площади в Беларуси составляет $F = 15 \text{ м}^2$ на человека, а в городах проживает половина населения Беларуси, то общее количество сэкономленной тепловой энергии на нагрев наружного приточного воздуха, прошедшего через вентилируемые оконные рекуперативные стеклопакеты, составит

$$Q = 24 \cdot 15 \cdot 5000000 = 1,8 \cdot 10^9 \text{ Вт.}$$

За весь отопительный период $Z=207$ суток для Витебской области согласно [2, с. 3 табл. 4.4] экономия энергоресурсов на цели отопления и вентиляции жилых зданий составит

$$Q_z = 1,8 \cdot 10^9 \cdot 207 \cdot 24 = 8,94 \cdot 10^9 \text{ кВт / ч.}$$

Использование в жилищном строительстве вентилируемых оконных рекуперативных стеклопакетов позволит сэкономить материальные средства по Республике Беларусь в целом за счет снижения теплопотребления на цели отопления и вентиляции жилых зданий.

При внедрении данной технологии в Российской Федерации и странах СНГ экономический эффект будет более значительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2004.
2. Строительная теплотехника: ТКП 45.2.04-43-2006 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2007.