

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.064+681.785

DOI 10.22213/2410-9304-2019-1-117-125

### ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СТОЧНЫХ ВОД

*В. А. Алексеев*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*В. П. Усольцев*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*С. И. Юран*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Рассматривается методика экологического мониторинга сточных вод промышленного предприятия в условиях за- проектных аварий, при которых отсутствует целый ряд показателей, выявляемых в реальном масштабе времени. Поэтому предлагается использовать априорные данные об источниках и характере загрязнений. В процессе контроля находят промежуточные значения величины загрязнений между проведением измерений. При этом контроль состоит из двух ступеней. При наличии двух результатов контроля через заданный интервал между проведением соседних контрольных операций требуется построить функцию, которая могла бы с высокой точностью описать вероятность наличия загрязнений между проведением контрольных операций (которые могли быть пропущены), при которой кривая построенной функции проходила точно через имеющиеся точки полученных результатов.*

*В работе приведен пример с использованием оптико-электронного способа исследования особенностей процессов движения загрязняющих веществ, протекающих в жидкой среде. Используется стохастический подход, заключающийся в максимально полном использовании статистики наличия загрязнений, а также данных о появлении загрязнений на объектах-аналогах. Приведена математическая модель протекания загрязнений по сточной трубе с использованием вероятностей появления загрязнений в определенных точках (постах) канализационной трубы. Оценивается вероятность пропуска постами контроля загрязнений, что позволяет повысить достоверность экологического мониторинга сточных вод предприятий.*

**Ключевые слова:** аварийный сброс, вероятность обнаружения загрязнения, изменение оптической плотности, контроль, сточные воды.

#### Введение

Развитие технического прогресса привело к большому количеству техногенных и антропогенных источников опасности, что повышает вероятность аварий и сбросов опасных веществ в окружающую среду [1–4]. Так, при возникновении аварии происходит повреждение машин, станков, оборудования, зданий, сооружений, что ведет к нарушению производственного процесса и связанное с этим повышение опасности для человеческих жизней. Аварии могут произойти в коммунально-энергетических сетях, на транспорте, промышленных предприятиях, в жилых помещениях, больницах, животноводческих, птицеводческих комплексах, предприятиях по переработке продуктов животноводства, очистных сооружениях. В результате аварии на производстве и в быту возможны взрывы и пожары, а их последствия – это разрушение и повреждение зданий, сооружений, техники и оборудования, затопление территории, выход из строя линий связи, энергетических и коммунальных сетей.

Наиболее часто аварии происходят на предприятиях, производящих, использующих или хранящих сильнодействующие ядовитые вещества. К ним относятся водопроводные и очист-

ные сооружения, на которых применяют хлор, предприятия химической и других родственных отраслей промышленности. Каждые 4-5 мин. в России вспыхивает пожар. Ежегодно в дым и пепел превращаются ценности на миллиарды рублей. Каждый час в огне погибает 1 человек и около 20 получают ожоги и травмы [5].

На состояние промышленной безопасности на предприятиях негативно влияют физический износ основного технологического оборудования, несвоевременное и некачественное проведение капитального и текущего ремонта оборудования, зданий и сооружений, эксплуатация оборудования с отработанным нормативным сроком, применение несовершенных технологий, неконтролируемое сокращение численности квалифицированных специалистов и производственного персонала, снижение качества профессиональной подготовки производственного и ремонтного персонала. Продолжается эксплуатация физически устаревшего оборудования, медленно идут модернизация и техническое перевооружение производств. Не на должном уровне проводится разработка планов ликвидации аварий и учебно-тренировочные занятия по устранению аварий.

В связи с этим большое внимание уделяется наблюдению, оперативной оценке состояния окружающей природной среды, ее изменениям с целью прогнозирования и своевременного предупреждения возможных неблагоприятных последствий. По совокупной степени опасности загрязнения окружающей среды на первый план выходит загрязнение природных открытых водоемов и грунтовых вод [6, 7]. По оценке Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) от загрязнения воды и антисанитарии в мире ежегодно гибнет 3,5 млн человек [8].

Как известно, основным загрязнителем открытых водоемов и подземных вод являются сточные воды. Более 90 % сточных вод, поступающих через коммунальные сети в поверхностные водные объекты, сбрасываются загрязненными. Наиболее распространены следующие загрязнители: нефть и нефтепродукты, кислоты, щелочи, соли разных металлов, сернистые соединения, аммиак, фенолы, синтетические смолы, болезнетворные микробы и др. Загрязняющие вещества, содержащиеся в сточных водах, при попадании в больших количествах в водоемы или скапливаясь в почве, могут существенно ухудшать санитарное состояние водоемов и атмосферы, способствовать распространению различных заболеваний.

В соответствии с действующими ГОСТ 12.1.004–91 и ГОСТ Р 12.3.047–98 производственные процессы должны разрабатываться так, чтобы вероятность возникновения нештатных ситуаций на любом участке (объекте) в течение года не превышала  $10^{-6} \cdot \text{год}^{-1}$ .

В настоящее время ведутся исследования по нормированию рисков. В практике проектирования в качестве критериев допустимости уровня индивидуального риска  $R_e$  рассматриваются три области:

$R_e$  менее  $5,0 \cdot 10^{-5}$  – область малых рисков, по этому мер по их снижению не требуется;

$R_e$  от  $5,0 \cdot 10^{-5}$  до  $10^{-3}$  – область, требующая принятия определенных мер по снижению рисков с учетом экономической целесообразности этих мер;

$R_e$  более  $10^{-3}$  – область недопустимого риска, требующая обязательного выполнения мер по его снижению, невзирая на размер финансовых затрат [9].

Обеспечение указанных требований возможно при соответствующей достоверности контроля.

При санитарно-эпидемиологическом анализе сточных вод определяется, не превышают ли

контролируемые показатели предельно допустимых концентраций в данный конкретный момент времени, когда производится забор проб. Однако ничего не гарантируется в промежутках времени между ними. Кроме этого, загрязнение вообще может не попасть в пробу или в зону контроля.

Существующие методы повышения объективности контроля основываются на повышении количества анализов и установке большого числа стационарных или передвижных станций экологического мониторинга, использовании биомониторинга. Эти методы являются дорогостоящими и не обеспечивают достоверного анализа, поскольку сброс может пройти мимо зоны контроля, не попасть в пробу и не быть идентифицированным.

Разработка методов экологического мониторинга сточных вод в условиях дефицита целевых экологических показателей, действия помех измерения пространственной, временной неравномерности и дискретности целевых показателей предполагает предварительный анализ имеющихся априорных данных об источниках загрязнений.

Целью работы является создание системы интерполяционного контроля загрязнений сточных вод, когда в процессе контроля используется способ нахождения промежуточных значений величины загрязнений между проведением контрольных операций по имеющемуся дискретному набору известных значений результатов контроля, с помощью двухступенчатого метода контроля состояния водной среды при производственных и техногенных авариях в условиях действия помех измерения и неоднозначности описания существующих моделей динамики потоков жидкости.

#### Основной раздел

В работе использован оптико-электронный способ исследования особенностей процессов движения загрязняющих веществ, протекающих в жидкой среде. Действие основано на наличии взаимосвязи параметров (интенсивность, диапазон длин волн) электромагнитного излучения с составом исследуемой жидкости. При прохождении оптического излучения через жидкость его интенсивность ослабляется вследствие поглощения (абсорбции), отражения и рассеяния. Различают анализаторы жидкостей, работающие в следующих областях спектра электромагнитного излучения: ультрафиолетовой (длина волны излучения  $\lambda < 0,4$  мкм), видимой ( $\lambda = 0,4 - 0,72$  мкм), ближней и средней инфракрасной ( $\lambda = 0,72 - 20$  мкм), длинноволновой ( $\lambda > 20$  мкм) [10, 11].

Поскольку процесс распространения загрязняющих веществ в жидкой среде сточных вод имеет случайный характер, для восстановления направления и скорости движения загрязнений по данным реперных измерений текущих показаний с постов контроля для разработки алгоритма работы системы за основу был взят метод стохастической интерполяции, используемый как средство решения задач распознавания, идентификации, обучения и адаптации [12–14]. При наличии двух результатов контроля через заданный интервал между проведением соседних контрольных операций требуется построить функцию, которая могла бы с высокой точностью описать вероятность наличия загрязнений между проведением контрольных операций (которые могли быть пропущены), при которой кривая построенной функции проходила точно через имеющиеся точки полученных результатов.

Для оценки экологического состояния водной среды производится сбор исчерпывающего априорного статистического материала, достоверно отражающего внутренние закономерности между наблюдаемыми результатами анализа, оценивается их достоверность, производится подтверждение наблюдаемых сходств или различия с аналогичными данными либо результатами контрольных экспериментов, оцениваются причинно-следственные связи, устойчивость метода при случайных погрешностях и в ситуациях, когда отсутствует описание полного набора факторов, влияющих на динамику оценки.

В системе канализации последовательно, друг за другом, устанавливаются два специализированных поста санитарно-эпидемиологического контроля.

Появление загрязнений сточных вод, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), в общем случае имеет случайный характер и представлено в виде случайного потока, ординарного, стационарного и без последствия. Для математической формализации использован пуассоновский поток, при этом время между соседними загрязнениями имеет экспоненциальное распределение с учетом дневных (утро, обед и вечер), сезонных (весна, лето, осень и зима) и других изменений параметров потока появления загрязнений. Случайный характер динамических параметров потока движения сточных вод определяет (задает) вероятностно-временные характеристики результатов контроля загрязненности. Чем точнее учтены эти функционально-корреляционные связи, тем выше достоверность интерполяционного контроля.

Схематично поток сточных вод представлен на рис. 1, где  $t$  – текущее время,  $t_0$  – время начала наблюдений, или время окончания забора проб первого санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод;  $T_n$  – время наблюдения;  $t_1^b$  – время до появления первого загрязнения (случайная величина);  $t_1^c$  – время наличия первого загрязнения (случайная величина), аналогично для второго и третьего загрязнения;  $t_1^m$  – время до начала проведения второго санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод за время наблюдения (обычно детерминированная величина);  $t_1^i$  – время проведения второго санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод за время наблюдения (обычно постоянная величина).

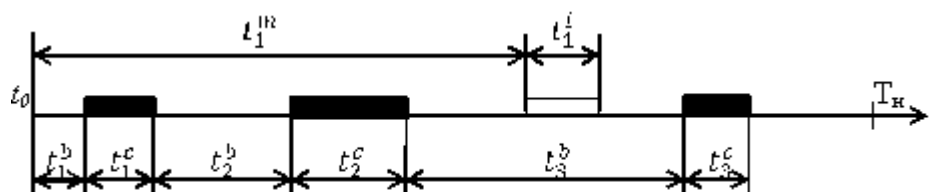


Рис. 1. Временные характеристики потока сточных вод

При проведении анализа все контролируемые параметры считаются равно значимыми, и выход любого из них за пределы ПДК принимается за отрицательные результаты анализа.

1. Любая система контроля работает с погрешностями, кроме того, контролю подвергается только часть параметров сточных вод с заданной периодичностью, которая может ме-

няться от нескольких часов (при ликвидации чрезвычайных ситуаций) (МУ 1.1.724-98. «Организация и проведение санитарно-гигиенических мероприятий в зонах химических аварий») до нескольких лет (Постановление Правительства РФ от 21.06.2013 № 525 «Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод»). Мерой определенности результатов санитарно-эпидемио-

логического анализа сточных вод в большинстве случаев является достоверность контроля.

На практике деление результатов оценки качества анализа сточных вод на плохие и хорошие будет удовлетворительным в зоне неопределенности, примыкающей к значению ПДК, в случае, когда назначаются два числа  $p_1$  и  $p_2$ , при этом  $p_2 > p_1$ . Доля  $p_1$  называется приемлемым результатом, доля  $p_2$  называется предельным допустимым результатом. Результаты считаются заведомо хорошими при  $p \leq p_1$  и заведомо плохими при  $p > p_2$ . При  $p_1 < p < p_2$  результаты считаются приемлемыми по качеству.

$$P(p) \geq 1 - P(a) \text{ при } p \leq p_1;$$

$$P(p) \leq P(b) \text{ при } p \geq p_2.$$

Вероятность  $1 - P(p_1) = P(a)$  – это вероятность того, что сточные воды имеют допустимый уровень качества, не превышающий ПДК, но признаются неудовлетворительными, при этом принимаются необоснованные экологические санкции.

Вероятность, равная  $P(p_2) = P(b)$ , соответствует тому, что сточные воды имеют недопустимый уровень качества, сверхнормативные сбросы признаются в качестве нормативных, что сопровождается экологическим риском, безвозмездным нанесением вреда окружающей среде.

Требования к плану принятия решения состоят в том, чтобы вероятности ошибок  $P(a)$  и  $P(b)$  не превосходили заданных значений. Эти значения устанавливаются с учетом нормативных документов и интересов заинтересованных сторон. Стандарты серии ISO 14000, включающие ISO 14001:2004 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» и ISO 14004:2004 «Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по принципам, системам и методам обеспечения функционирования», не устанавливают конкретных критериев в отношении экологической эффективности из-за специфичности конкретных производств. Наиболее распространены  $P(a) = 0,05$  и  $P(b) = 0,10$ .

В предлагаемом техническом решении использован инструментальный метод исследования вероятностно-временных особенностей динамических процессов движения загрязняющих веществ, протекающих в жидкой среде. Как было сказано выше, для разработки алгоритма работы системы по данным реперных измерений и текущих результатов анализа был взят метод стохастической интерполяции.

Структурная схема установки для реализации способа интерполяционного контроля загрязненности сточных вод и промышленных стоков представлена на рис. 2.

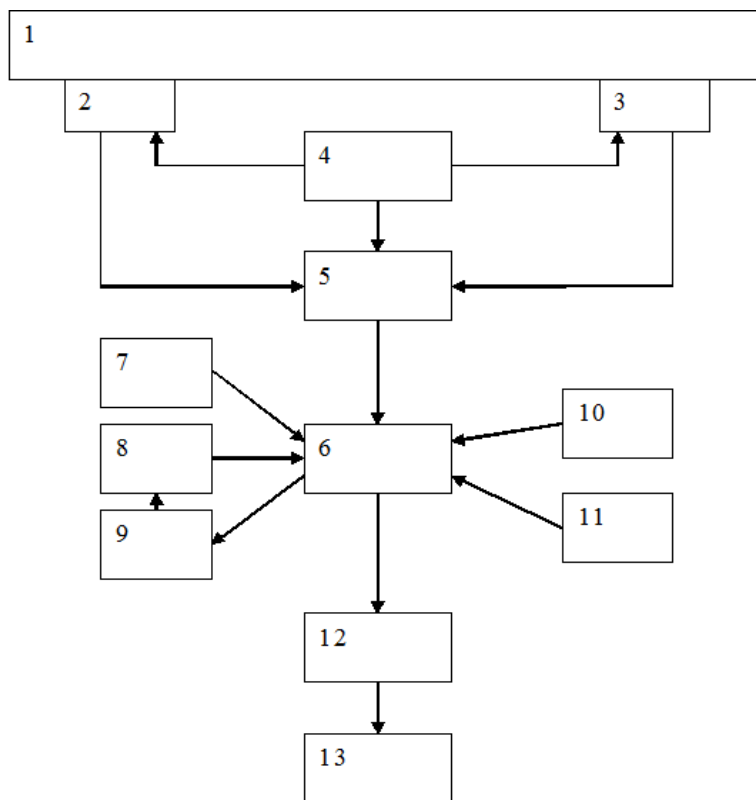


Рис. 2. Структурная схема установки

Установка содержит объект контроля – сточные воды или промышленные стоки, протекающие по канализационной трубе 1, посты анализа загрязнений сточных вод или промышленных стоков 2 и 3, тактовый генератор 4, коммутатор 5, вычислительно-логический блок 6, датчик ПДК по контролируемому загрязняющему веществу 7, датчик интервала времени между загрязнениями данного вида 8, измеритель времени между обнаруженными загрязнениями 9, датчик времени наблюдения, времени получения информации о виде и степени загрязнения обоими постами, времени от начала наблюдений до первого анализа, времени между анализами, при чередовании постов 10, датчик установки достоверности контроля за время наблюдения 11, логический блок 12, индикатор 13.

Предлагаемый способ контроля реализуется следующим образом.

Информация о виде и степени загрязнения с постов анализа загрязнений сточных вод или промышленных стоков 2 или 3 по команде с тактового генератора 4 через коммутатор 5 в определенной последовательности, в соответствии с командами тактового генератора 4 поступает на вычислительно-логический блок 6. Далее с помощью вычислительно-логического блока 6 сравниваются измеренные концентрации загрязнений со значениями ПДК, записанными в датчик ПДК по контролируемому загрязняющему веществу 7, после чего рассчитывается интенсивность появления загрязнений по данным, записанным в датчик интервала времени между загрязнениями данного вида 8, которые постоянно корректируются с учетом данных, полученных измерителем времени между обнаруженными загрязнениями 9. Здесь же с учетом времени наблюдения, времени получения информации о виде и степени загрязнения обоими постами, времени от начала наблюдений до первого анализа, времени между анализами, при чередовании постов, записанными в датчик 10, вычисляется вероятность необнаружения загрязнения постами 2 или 3 при протекании одного или более загрязнений по канализационной трубе, которая сравнивается с достоверностью контроля, задаваемой с помощью датчика установки достоверности контроля 11. После этого с помощью логического блока 12 производится дифференциальная оценка результатов контроля путем сравнения и логического анализа измеренных и вычисленных значений с предельными отклонениями. Результаты контроля выводят на индикатор 13.

Время получения информации о виде и степени загрязнения с поста анализа загрязнений сточных вод или промышленных стоков 2, установленного на канализационной трубе, составляет  $T_1$ . С поста анализа 2 сточные воды направляются далее по канализационной трубе. Время протекания сточных вод по этому участку канализационной трубы составит  $T_2$ . С этого участка канализационной трубы сточные воды поступают на пост анализа загрязнений сточных вод или промышленных стоков 3, на котором время получения информации о виде и степени загрязнения составляет  $T_3$ . Время протекания сточных вод от начала наблюдений до поста анализа 2 составляет  $T_0$ .

При протекании сточных вод по канализационной трубе за время наблюдения  $T_n$  возможны два несовместных события, образующих полную группу несовместных событий:

1. Загрязнений, превышающих ПДК, не было, и, соответственно, пост анализа загрязнений 2 этих загрязнений не обнаружил, в канализационной трубе загрязнений не было, и пост анализа загрязнений 3 данных загрязнений не обнаружил. Во время протекания сточных вод по канализационной трубе до поста анализа загрязнений 2 загрязнений тоже не было. Время протекания сточных вод по канализационной трубе до поста анализа загрязнений 2 составит  $T_0$ . Вероятность такого события  $P_1$ .

2. Загрязнения, превышающие ПДК, были, вероятность такого события  $P_2$ .

Вероятность полной группы несовместных событий равна единице.

Вероятность события  $P_2$  складывается из суммы вероятностей нескольких совместных событий:

1. Во время протекания сточных вод по канализационной трубе до поста анализа загрязнений 2 загрязнения, превышающие ПДК, было одно или более загрязнений. Вероятность такого события  $P_{20}$ .

2. Пост анализа загрязнений 2 обнаружил загрязнения, превышающие ПДК. Вероятность такого события  $P_{21}$ .

3. Между получением информации о виде и степени загрязнения с постов анализа загрязнений 2 и 3 в канализационной трубе появилось одно или более загрязнений, превышающих ПДК. Вероятность такого события  $P_{22}$ .

4. Пост анализа загрязнений 3 обнаружил загрязнения, превышающие ПДК. Вероятность такого события  $P_{23}$ .

Приняв, что время наличия загрязнений мало по сравнению с временем наблюдения, интенсивность появления загрязнений  $\lambda$  – среднее число появления загрязнений определенного вида в единицу времени, величина, обратная среднему интервалу времени между загрязнениями. Для оценки ожидаемой интенсивности появления используются следующие подходы:

– статистический подход, заключающийся в максимально полном использовании статистики наличия загрязнений, а также данных о появлении загрязнений на объектах-аналогах;

– графоаналитический подход, заключающийся в использовании логических методов анализа «деревьев событий» или расчетных, имитационных, моделей пользователей;

– экспертный подход, заключающийся в выработке оценки путем учета мнений специалистов в данной области.

Для различных источников загрязнения характерен явный недостаток репрезентативных статистических данных об отказах, ошибках и технических неполадках в технологическом процессе, авариях на объектах-аналогах, уникальности производственных циклов, отсутствии исчерпывающих исходных данных о производстве, условиях размещения и эксплуатации оборудования. Поэтому целесообразно применение сочетания указанных подходов и процедур, адаптированных к специфике целей и задач анализа риска аварийных выбросов конкретного производства.

Вероятность того, что во время протекания сточных вод по канализационной трубе до поста анализа загрязнений 2 загрязнений не было, определится выражением

$$P_{10} = e^{-\lambda T_0}. \quad (1)$$

Вероятность того, что пост анализа загрязнений 2 загрязнений не обнаружил, определится выражением

$$P_{11} = e^{-\lambda T_1}. \quad (2)$$

Вероятность того, что в канализационной трубе между анализами загрязнений не было, определится выражением

$$P_{12} = e^{-\lambda T_2}. \quad (3)$$

Вероятность того, что пост анализа загрязнений 3 загрязнений не обнаружил, определится выражением

$$P_{13} = e^{-\lambda T_3}. \quad (4)$$

Эти события независимы, поэтому вероятность их одновременного выполнения определится их произведением. Перемножив выражения (1)–(4), в результате алгебраических преобразований получим выражение

$$P_1 = P_{10} \times P_{11} \times P_{12} \times P_{13} = e^{-\lambda(T_0+T_1+T_2+T_3)}. \quad (5)$$

Вероятность того, что во время протекания сточных вод по канализационной трубе до поста анализа загрязнений 2 было одно или более загрязнений, определится выражением

$$P_{20} = 1 - e^{-\lambda T_0}. \quad (6)$$

Вероятность того, что пост анализа загрязнений 2 обнаружил загрязнение, определится выражением

$$P_{21} = 1 - e^{-\lambda T_1}. \quad (7)$$

Используя разложение в ряд Тейлора, с учетом того, что время получения информации о виде и степени загрязнения  $T_1$  намного меньше всего времени наблюдения  $T_n$ , то есть, в сравнении с ним, стремится к нулю, можно ограничиться первым членом ряда, и выражение (7) преобразуется к виду:

$$P_{21} \approx \lambda T_1. \quad (8)$$

Вероятность того, что между постами анализа загрязнений 2 и 3 в канализационной трубе появилось одно или более загрязнений, определится выражением

$$P_{22} = 1 - e^{-\lambda T_2}. \quad (9)$$

Вероятность того, что пост анализа загрязнений 3 обнаружил одно или более загрязнений, с учетом малости времени получения информации о виде и степени загрязнения  $T_3$  со всем временем наблюдения, аналогично выражению (8), определится выражением:

$$P_{23} = 1 - e^{-\lambda T_3} \approx \lambda T_3. \quad (10)$$

Используя известное выражение для расчета суммы четырех совместных событий, получим выражение для расчета вероятности наличия загрязнений

$$P_2 = P_{20} + P_{21} + P_{22} + P_{23} - P_{20} \times P_{21} - P_{20} \times P_{22} - P_{20} \times P_{23} - P_{21} \times P_{22} - P_{21} \times P_{23} - P_{22} \times P_{23} + P_{20} \times P_{21} \times P_{22} + P_{20} \times P_{21} \times P_{23} + P_{20} \times P_{22} \times P_{23} + P_{21} \times P_{22} \times P_{23} - P_{20} \times P_{21} \times P_{22} \times P_{23}. \quad (11)$$

С другой стороны

$$P_2 = 1 - P_1 = 1 - P_{10} \times P_{11} \times P_{12} \times P_{13}. \quad (12)$$

Приравняв выражения (11) и (12), получим

$$1 = P_{10} \times P_{11} \times P_{12} \times P_{13} + P_{20} + P_{21} + P_{22} + P_{23} -$$

$$- \frac{P_{20} \times P_{21}}{P_{20} \times P_{22}} - P_{20} \times P_{22} - \frac{P_{20} \times P_{23}}{P_{21} \times P_{22}} -$$

$$- P_{21} \times P_{23} - \frac{P_{22} \times P_{23}}{P_{20} \times P_{21} \times P_{22}} +$$

$$+ \frac{P_{20} \times P_{21} \times P_{23}}{P_{20} \times P_{22} \times P_{23}} + \frac{P_{21} \times P_{22} \times P_{23}}{P_{20} \times P_{21} \times P_{22} \times P_{23}} -$$

$$- \frac{P_{20} \times P_{21} \times P_{22} \times P_{23}}{P_{20} \times P_{21} \times P_{22} \times P_{23}}. \quad (13)$$

Выделив произведения, в которые входит вероятность одновременного выполнения независимых событий – наличия загрязнений при протекании сточных вод по канализационной трубе до или после поста анализа загрязнений 2, а посты 2, или 3, или оба обнаружили загрязнения, получим следующее выражение:

$$1 - P_{10} \times P_{11} \times P_{12} \times P_{13} - P_{20} - P_{21} - P_{22} - P_{23} +$$

$$+ P_{20} \times P_{22} + P_{21} \times P_{23} = - P_{20} \times P_{21} - P_{20} \times P_{23} -$$

$$- P_{21} \times P_{22} - P_{22} \times P_{23} + P_{20} \times P_{21} \times P_{22} + P_{20} \times$$

$$\times P_{21} \times P_{23} + P_{20} \times P_{22} \times P_{23} + P_{21} \times P_{22} \times P_{23} -$$

$$- P_{20} \times P_{21} \times P_{22} \times P_{23} \quad (14)$$

По выражению (14) рассчитана вероятность возможного не обнаружения загрязнения постами 2 или 3 при протекании одного или более загрязнений сточных вод по канализационной трубе до или после поста анализа загрязнений 2

$$P_{\text{обн}} = 1 + e^{-\lambda(T_0+T_1+T_2+T_3)} - e^{-\lambda T_0} + \lambda T_1 - e^{-\lambda T_2} + \lambda T_3 -$$

$$- (1 - e^{-\lambda T_0})(1 - e^{-\lambda T_2}) - \lambda T_1 \times \lambda T_3. \quad (15)$$

### Анализ результатов

Из литературных источников известно, что крупная авария происходит в среднем через 175,2 часа, случай разлива нефти – в среднем через 26,3 минуты. Среднее время до появления загрязнения может изменяться от 0,5 до 150 часов, среднее значение приблизительно 50 часов. Среднее время устранения последствий загрязнений в большинстве случаев изменяется от нескольких суток до нескольких лет. Среднее время наличия загрязнения 240 часов (10 суток).

Для примера оценим вероятность обнаружения загрязнения. Исходные данные: время наблюдения – один месяц, средний интервал времени между загрязнениями (в виде взвешенных веществ) пятьдесят часов, среднее время получения информации о виде и степени загрязнения обоими постами одинаково и составляет 12 минут. Время от начала наблюдений до первого анализа – один час, между анализами, при чередовании постов – десять часов. Всего за время

наблюдения сделано по одному анализу каждым из постов, и загрязнений, превышающих ПДК, не обнаружено.

Вычисленная по формуле (15) вероятность возможного необнаружения загрязнения постами 2 или 3 составила всего 0,00758, что свидетельствует об отсутствии загрязнений.

Если бы вероятность обнаружения загрязнения постами 2 или 3 была достаточно высокая, например 0,1...0,2, а посты этого загрязнения не обнаружили, то, в соответствии с требованиями обеспечения указанных ранее рисков, необходимо сделать вывод о наличии загрязнений, превышающих ПДК, которые могли быть пропущены, и, следовательно, требуется проведение защитных мероприятий.

### Выводы

При практической реализации предлагаемого способа необходимо делать оценку по каждому из обязательных контролируемых загрязнений сточных вод: биохимическому потреблению кислорода, взвешенным веществам, азоту аммонийных солей, сульфатам, нитратам, нефтепродуктам, хрому, меди, никелю, цинку, свинцу, фосфору, нитритам, железу, хлоридам и т. д.

Для наглядности приведенные выше материалы применены для случая, когда время наличия загрязнения мало. В случае когда время протекания загрязнения велико, например при аварии или катастрофе (до одного месяца и больше), более корректно применение выражений, полученных в работе авторов [15]. С использованием существующей вычислительной техники данные расчеты легко реализуются.

### Библиографические ссылки

1. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: монография [Я. И. Вайсман и др.]; под ред. Я. И. Вайсмана ; Пермский нац. исслед. политехнический ун-т, НИИ ЭЧ и ГОС им. А. Н. Сысина. Пермь : Изд-во Пермского нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. 258 с.
2. Вайсман Я. И., Глушанкова И. С., Дьяков М. С., Ходяшев М. Б. Экологически безопасный способ утилизации осадков сточных вод биохимических очистных сооружений с получением углеродсодержащих сорбционных материалов // Вода: химия и экология. 2011. № 3. С. 14–24.
3. Воронов Ю. В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / учебник для вузов. М. : АСВ, 2006. 704 с.
4. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек : учеб. пособие. М. : ФАИР-ПРЕСС, 2005. 736 с.

5. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И., Девятков Н. А. Идентификация вида и степени загрязнений сточных вод в технологическом процессе промышленного производства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2015. № 4 (20). С. 107–121. DOI 10.15593/240935125/2015.04.08

6. Статистические характеристики сточных вод морского порта / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов, В. А. Наумов, М. Н. Великанова // Вода: химия и экология. 2011. № 3. С. 66–70.

7. Александровская Л. Н., Розенталь О. М. Риск-ориентированный контроль содержания в воде загрязняющих веществ // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20. № 1. С. 6–14.

8. «Зеленая» экономика: перезагрузка : коллективная монография / С. П. Анисимов, С. Н. Бобылев, И. И. Комарова [и др.] ; под общ. ред. А. В. Шевчука. М. : Зимородок, 2017. 448 с.

9. Габричидзе Т. Г. Основы комплексной системы безопасности критически важных (потенциально опасных) объектов муниципального и регионального уровней: монография. Самара : Изд-во Самар. НЦ РАН, 2011. 391 с.

10. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: Учеб. пособие для вузов / В. И. Козинцев, В. М. Орлов, М. Л. Белов и др. ; под ред. В. Н. Рождествина. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 528 с.

11. Козаченко Е. М. Разработка автоматизированной системы управления аварийными выбросами в сточных водах промышленных предприятий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2012. 24 с.

12. Усольцев В. П., Юран С. И. Достоверность санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод при большом количестве случайных воздействий и отсутствии доминирующего фактора // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 19-24. DOI: 10.25750/1995-4301-2016-3-019-024

13. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Контроль загрязнений сточных вод и промышленных стоков с использованием двухчастотного лазерного зондирования // Безопасность в техносфере. 2017. № 1. С. 3–9. DOI: 10.12737/article\_5901928bac1f44.76816878

14. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Обобщенная вероятностная математическая модель поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах // Интеллектуальные системы в производстве. 2014. № 1 (23). С. 108–113.

15. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. № 2 (22). 2013. С. 173–177.

## References

1. Vaysman Ya.I. et al. *Upravlenie otkhodami. Stochnye vody i biogaz polygonov zakhoroneniya tverdykh bytovykh otkhodov* [Waste management.

Wastewater and biogas landfill solid waste]. Permiskiye nats. issled. politekhnicheskiiy un-t, NII ehkologii cheloveka i gigieny okruzhayushchej sredy im. A.N. Sysina [Perm National Research Polytechnic University, Research Institute of human ecology and environmental hygiene named after A.N. Sysin]. Perm: [Publishing house of Perm National Research Polytechnic University]. 2012. 258 p. (in Russ.).

2. Vaysman Ya.I., Glushankova I.S., Dyakov M.S., Khodyashev M.B. [Environmentally safe method of disposal of sewage sludge biochemical treatment facilities with obtaining a carbon-containing sorption materials]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 3, pp.14-24. (in Russ.).

3. Voronov Yu.V., Yakovlev S.V. *Vodootvedenie i ochildka stochnyh vod* [Water disposal and sewage treatment]. Moscow. ASV Publ., 2006. 704 p. (in Russ.).

4. Novikov YU.V. *Ehkologiya, okruzhayushchaya sreda i chelovek* [Ecology, environment and person]. Moscow, FAIR-PRESS, 2005. 736 p. (in Russ.).

5. Alekseev V.A., Usoltsev V.P., Yuran S.I., Devyatov N.A. [Identification of the type and degree of wastewater pollution in the technological process of industrial production]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya jekologiya. Urbanistika*, 2015, no. 4, pp. 107–121 (in Russ.). DOI 10.15593/240935125/2015.04.08

6. Velikanov N.L., Naumov V.A., Velikanova M.N. [The statistical characteristics of wastewater seaport]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 3, pp. 66-70. (in Russ.).

7. Aleksandrovskaya L.N., Rozental O.M. [Risk-oriented control the concentration of pollutants]. *Analitika i control*, 2016, vol. 20, no. 1, pp. 6-14. (in Russ.).

8. Anisimov S.P., Bobylev S.N., Komarova I.I. et al. (ed. A.V. SHEVCHUK). *«Zelenaya» ehkonomika: perezagruzka* ["Green" economy: reset] Moscow. Zimorodok. 2017. 448 p. (in Russ.).

9. Gabrihidze T.G. *Osnovy kompleksnoy sistemy bezopasnosti kriticheski vazhnykh (potentsialno opasnykh) obektov munitsipalnogo i regionalnogo urovney* [Bases of complex system of safety of crucial (potentially dangerous) objects of municipal and regional levels]: the monography. Samara, Publishing house of the Samara center of science of the Russian Academy of Sciences, 2011, 391 p. (in Russ.).

10. Kozincev V.I., Orlov V.M., Belov M.L. et al. (ed. V.N. Rozhdestvin). *Optiko-ehlektronnyye sistemy ehkologicheskogo monitoringa prirodnoj sredy* [Optical-electronic systems of environmental monitoring of the environment] Moscow, Izd-vo MGTU im. N.Eh. Bauman, 2002. 528 p. (in Russ.).

11. Kozachenko E.M. *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy upravleniya avarijnymi vybrosami v stochnyh vodah promyshlennykh predpriyatij* [Development of the automated control system for emergency emissions in sewage of the industrial enterprises]: abstract of PhD thesis. Izhevsk, 2012, 24 p. (in Russ.).

12. Usoltsev V.P., Yuran S.I. [The validity of sanitary-epidemiological analysis of wastewater with a large number of random effects and absence of a dominant



factor]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2016, no. 3, pp. 19-24. (in Russ.). DOI 10.25750/1995-4301-2016-3-019-024.

13. Alekseev V.A., Usoltsev V.P., Yuran S.I. [Pollution control wastewater and industrial wastewater using two-frequency laser sounding]. *Bezopasnost v tekhnosfere*, 2017, no. 1, pp. 3-9 (in Russ.) DOI 10.12737/article\_5901928bac1f44.76816878.

14. Alekseev V.A., Usoltsev V.P., Yuran S.I. [The generalized likelihood mathematical model of receipt of

sewage on treatment facilities at volley dumps]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2014, no. 1(23), pp. 108-113. (in Russ.).

15. Alekseev V.A., Usoltsev V.P., Yuran S.I. [Identification of accidental releases in the filtration systems of wastewater expressed in conditions of multidimensionality and uncertainty]. *Intellektualnye sistemy v proizvodstve*, 2013, no 2(22), pp. 173-177 (in Russ.).

\*\*\*

### Interpolation Control of Sewage

*V. A. Alekseev*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

*V. P. Usoltsev*, PhD in Economics, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

*S. I. Yuran*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

*The technique of environmental monitoring of sewage of the industrial enterprise in the conditions of beyond design basis accidents at which there is no number of the indicators revealed in real time is considered. Therefore, it is offered to use prior data on sources and the nature of pollution. Intermediate values of size of pollution between carrying out measurements are in process of control. At the same time, control consists of two steps. With two results of control through the set interval between carrying out the next control operations it is required to construct a function which could describe with high precision the probability of existence of pollution between carrying out control operations (which could be missed), at which the curve of the constructed function passed precisely through the available points of the received results.*

*In work the example with use of an optical-electronic way of a research of features of processes of the movement of the pollutants proceeding in the liquid environment is given. The stochastic approach consisting in the fullest use of statistics of existence of pollution and also data on emergence of pollution on objects-analogs is used. The mathematical model of the course of pollution on a sewer with use of probabilities of emergence of pollution is given in certain points (posts) of a sewer pipe. Admission probability is estimated by posts of control of pollution that allows to increase reliability of environmental monitoring of sewage of the enterprises.*

**Keywords:** emergency discharge, probability of pollution detection, change in the optical density, control, sewage.

Получено: 11.12.18