

Достоверность санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод при большом количестве случайных воздействий и отсутствии доминирующего фактора

© 2016. В. П. Усольцев, вед. инж.-электроник, С. И. Юран, гл. н. с.,
Ижевский государственный технический университет
им. М. Т. Калашникова,
426069, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7,
e-mail: vpusoltcev@mail.ru, yuran-49@yandex.ru

На основании учёта параметров аварийных сбросов, времени между анализами и вероятности пропуска загрязнений, превышающих уровни предельно допустимого сброса (ПДС), рассчитаны вероятности получения ошибочных результатов экологического контроля, т. е. признания качества сточных вод неудовлетворительным при фактическом отсутствии превышения ПДС (при этом принимаются необоснованные экологические санкции) или признания сверхнормативных сбросов в качестве нормативных, что сопровождается экологическим риском и безвозмездным нанесением вреда окружающей среде.

Ключевые слова: очистные сооружения, предельно допустимые сбросы, санитарно-эпидемиологический анализ, сточные воды, экологические санкции.

Reliability of sanitary and epidemiologic analysis of sewage at a large number of casual impacts and absence the dominating factor

V. P. Usoltcev, S. I. Yuran,
Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
7 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069,
e-mail: vpusoltcev@mail.ru, yuran-49@yandex.ru

It is known that the existing methods of the analysis of sewage composition can reveal excess of maximum permissible concentration no more than ten percent of total of rated pollution. Therefore, the actual task is increase of reliability of sanitary and epidemiologic analysis of sewage and cleaning quality of industrial drains as for existence of traces of pollution. It is reached by accounting of probabilistic and time characteristics of a stream of pollution receipt at treatment facilities using probability theory, mathematical statistics, theory of mass service. Functioning of treatment facilities is mathematically presented as a real system, the research allows to receive information on sewage control quality and control reliability. As for the set frequency, only a part of sewage parameters is exposed to control, the analysis of their structure is made with errors and has a selective character. Thus time of the analysis can coincide with pollution existence, and this pollution can be identified. If pollution isn't identified, it can be missed. Results of the analysis are defined by methods of mathematical statistics. Selective control reduces assessment reliability of the analysis quality, but it reduces labor costs. Therefore frequency of carrying it out is an established proceeding as for economic reasons taking into account stability of the accepted technology of the sewage forming productions. On the basis of the accepted probabilistic model analytical expressions and requirements to the plan of decision-making at which the probability of adoption of unreasonable ecological sanctions and probability of an environmental risk, and also gratuitous harming environment didn't surpass the values established taking into account standards of the ISO 14000 series and interests of interested parties are developed. For concrete streams of sewage on the basis of statistical data relative errors of receiving the results of the analysis which aren't exceeding value of maximum permissible dumping which admit unsatisfactory are calculated. Thus unreasonable ecological sanctions, and also recognition of excess dumpings as the standard are accepted. It is followed by an environmental risk, gratuitous harming environment. Therefore for increase of reliability of the sanitary and epidemiologic analysis of sewage it is necessary to consider parameters of a stream of emergency dumpings, and also time between analyses and probabilities of the admission of

the pollution exceeding levels of maximum permissible dumpings. Thus the frequency of emergence and existence of these dumpings are defined by real operating time of the equipment. The technique allows to increase reliability of the sanitary and epidemiologic analysis and is necessary at design of treatment facilities, a choice of the equipment and technology of the analysis of sewage.

Keywords: treatment facilities, maximum permissible dumpings, sanitary and epidemiologic analysis, sewage, ecological sanctions.

Качество окружающей среды становится лимитирующим фактором социально-экономического развития и здоровья населения всё большего числа регионов России [1]. Особые требования предъявляются к водным ресурсам [2].

Существующие методы анализа водной среды могут выявить предельно допустимые концентрации лишь 10% общего количества нормированных веществ.

Сброс загрязнений со сточными водами допускается на уровне, не превышающем нормативы предельно допустимого сброса (ПДС), при этом реальные показатели сброса могут случайным образом меняться во времени под влиянием многочисленных технико-эксплуатационных факторов. Поэтому необходима оперативная разработка методической и нормативной базы оценки и повышения эффективности анализа сточных вод [3].

Является актуальным повышение достоверности санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод и качества очистки промышленных стоков на наличие следов загрязнений за счёт учёта вероятностно-временных характеристик потока поступления загрязнений на очистные сооружения.

Для повышения достоверности санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод разработана методика, опирающаяся на теорию вероятности, математическую статистику, теорию массового обслуживания. Функционирование очистных сооружений математически представлено в виде реальной системы, исследование которой позволяет получать информацию о качестве контроля сточных вод, и, соответственно, повысить достоверность санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод. Чтобы определить состав сточных вод, необходимо сделать множество различных химических и санитарно-бактериологических анализов. Для оценки бытовых сточных вод делают санитарно-химические анализы полного и сокращённого типа.

По полученным в результате санитарно-химических анализов данным за длительный промежуток времени выполняются оценки технологической эффективности работы

очистных сооружений. По результатам статистической обработки этих данных принимаются стратегические решения, совершенствуются методы проектирования очистных сооружений.

Сокращённый санитарно-химический анализ выполняется в промежутках между полными анализами для частичной характеристики сточных вод с целью:

- обнаружения и идентификации загрязнений, не предусмотренных ранее проектом или технологическим регламентом;
- обнаружения залповых сбросов сточных вод, способных перевести водоём или процессы очистки в неустойчивое состояние;
- получения характеристик, несущих «технологические сведения», т. е. позволяющих осуществлять контроль процесса очистки сточных вод и управление этим процессом.

Показатели работы очистных сооружений определяются на основании обработки представленных среднесуточных анализов проб сточных вод. Периодичность отбора, время хранения проб, методика, технология производственного контроля при очистке и обеззараживании сточных вод регламентированы и согласовываются с органами государственного надзора.

Из-за дискретности проведения анализа получаемая в результате контроля информация содержит неопределённость.

Для оценки ожидаемых интенсивностей появления и наличия загрязнений используются следующие подходы:

- статистический подход, заключающийся в максимально полном использовании статистики наличия загрязнений, а также данных о движении загрязнений на объектах-аналогах;
- экспертный подход, заключающийся в выработке оценки с учётом мнений специалистов в данной области.

Схематично поток сточных вод представлен на рисунке 1, где t – текущее время, t_0 – время начала наблюдений, T_n – время наблюдения, t_{1b} – время до появления первого загрязнения (случайная величина), t_{1c} – время наличия первого загрязнения (случайная величина), аналогично для второго и третьего

загрязнения, t_{im} – время до начала проведения первого санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод за время наблюдения (обычно детерминированная величина), t_{ii} – время проведения первого санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод за время наблюдения (обычно постоянная величина). Примем: T_{ib} – среднее время до появления загрязнения, T_{ic} – среднее время наличия загрязнения, λ_i – интенсивность поступления загрязнений, β_i – интенсивность протекания загрязнений. Интенсивность поступления загрязнений – λ_i – это среднее число появления загрязнений в единицу времени, величина, обратная T_{ib} . Интенсивность протекания загрязнений – β_i – это среднее число загрязнений в единицу времени, величина, обратная T_{ic} .

При проведении анализа все контролируемые параметры считаются равнозначимыми, и превышение любым из них норматива ПДС принимается за нарушение санитарной нормы.

Любая система контроля работает с погрешностями, кроме того, контролю подвергается только часть параметров сточных вод с заданной периодичностью, которая может меняться от нескольких часов (при ликвидации чрезвычайных происшествий) до нескольких лет [4]. Мерой определённости результатов санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод в большинстве случаев является достоверность контроля.

На рисунке 1 показано, что анализ сточных вод осуществляют периодически, он носит выборочный характер. Выборочный анализ является статистическим, если его объём и правила приёмки определены методами математической статистики, исходя из вероятностных характеристик и заданных значений надёжности оценки качества контроля. Выборочный контроль снижает достоверность оценки качества анализа, но уменьшает трудозатраты, поэтому периодичность его проведения назначается исходя из экономических соображений с учётом стабильности принятой технологии производственных процессов.

С использованием статистической оценки результатов контроля [5] решение об экологической обстановке в данном регионе принимается по выборке, состоящей из некоторого количества результатов анализов, выполненных через определённые промежутки времени. Следовательно, выборка должна с определённой достоверностью представлять параметры потока поступления сточных вод за время между анализами, т. е. быть репрезентативной. Наиболее распространёнными являются две вероятностные модели – биномиальная и гипергеометрическая.

Биномиальное распределение:

$$P(X = k) = C_i^k p^k (1-p)^{i-k} \quad (1),$$

где $C_i^k = \frac{k!(i-k)!}{i!}$ – биномиальный коэффициент, C_i^k – число сочетаний из i элементов по k , p – уровень дефектности (вероятность появления k превышений ПДК в генеральной совокупности за время между анализами).

Вероятность появления k превышений ПДК за время между соседними санитарно-эпидемиологическими анализами можно рассчитать по выражениям, приведённым в [6]. Формула (1) задаёт так называемое биномиальное распределение.

Оценка результатов анализа сточных вод выполняется по альтернативному признаку («превышены», «не превышены» уровни ПДС), вследствие чего результаты могут быть правильными либо ошибочными, что создаёт возможность получения четырёх вариантов:

- признать удовлетворительными результаты анализа при отсутствии загрязнения сточных вод, превышающего уровень предельно допустимого сброса (ПДС), то есть водопользование, соответствующее установленным требованиям, признаётся соответствующим (загрязнение сточных вод, превышающее значение ПДС за интервал времени между соседними анализами, отсутствует);

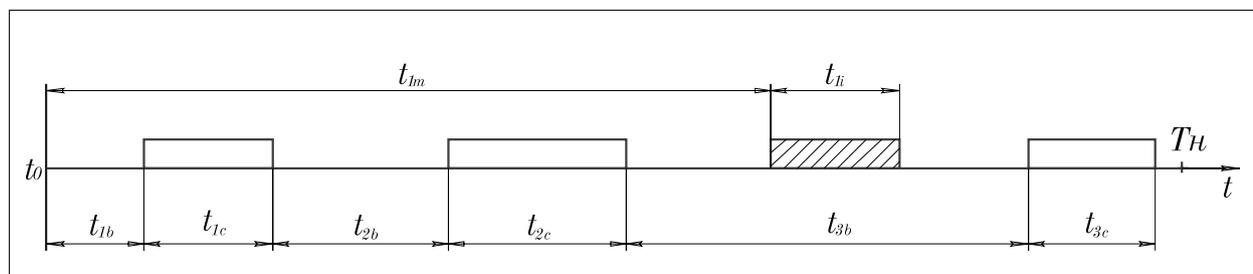


Рис. 1. Временные характеристики потока сточных вод

– признать неудовлетворительными результаты анализа, превышающие уровни ПДС, при этом накладываются обоснованные экологические санкции, то есть водопользование, не соответствующее установленным требованиям, признается несоответствующим (загрязнение сточных вод превышало значение ПДС за интервал времени между соседними анализами);

– признать неудовлетворительными результаты анализа, не превышающие уровни ПДС, при этом возможны необоснованные экологические санкции, то есть водопользование, соответствующее установленным требованиям, признаётся несоответствующим;

– принять отрицательные результаты анализа за удовлетворительные, то есть водопользование, не соответствующее установленным требованиям, признаётся соответствующим (сверхнормативные сбросы признаются в качестве нормативных, что сопровождается экологическим риском, безвозмездным нанесением вреда окружающей среде).

На практике деление результатов оценки качества анализа сточных вод на плохие и хорошие будет удовлетворительным в зоне неопределённости, примыкающей к значению ПДС в случае, когда назначаются два числа p_1 и p_2 , $p_2 > p_1$, 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.

$$\begin{aligned} P(p) &\geq 1 - P(a) \text{ при } p \leq p_1 \\ P(p) &\leq P(b) \text{ при } p \geq p_2 \end{aligned}$$

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

Вероятность ложной приёмки, 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 учётом нормативных документов и интересов сторон.

Стандарты серии ISO 14000 не устанавливают конкретных критериев в отношении экологической эффективности из-за специфичности конкретных производств [7, 8]. Наиболее распространены значения $P(a) = 0,05$ и $P(b) = 0,10$.

Определение вероятности применения необоснованных экологических санкций $P(a)$ или вероятности безвозмездного нанесения вреда окружающей среде $P(b)$ производится следующим образом:

$$P(a) = 1 - \sum_{i=0}^n C_n^i (1 - p_1)^{n-i} p_1^i \quad (2),$$

$$P(b) = 1 - \sum_{i=0}^n C_n^i (1 - p_2)^{n-i} p_2^i \quad (3).$$

Разложив выражения (2) и (3) в ряд и ограничившись первым членом ряда, что обеспечивает 95% точность, можно рассчитать относительные погрешности получения результатов анализа, не превышающих значения ПДС, которые признаются неудовлетворительными $\gamma(a)$, при этом принимаются необоснованные экологические санкции, а также признание сверхнормативных сбросов в качестве нормативных $\gamma(b)$, что сопровождается экологическим риском, безвозмездным нанесением вреда окружающей среде.

$$\gamma(a) = P(a) \frac{\left[1 + \left(\frac{2p_1}{p_2 - p_1}\right)(1 - P_i(t_m))\right]^2}{P_i(t_m)} - 1 \quad (4),$$

$$\gamma(b) = \frac{\left[1 + \left(\frac{2p_1}{p_2 - p_1}\right)(1 - P_i(t_m))\right]^2}{P_i(t_m)} - 1 \quad (5).$$

Как следует из выражений (4) и (5), при пропуске превышения значений ПДС за время между соседними анализами один раз (превышение не фиксировалось) относительная погрешность применения необоснованных экологических санкций составляет 5% от номинальной, относительная погрешность безвозмездного нанесения вреда окружающей среде составляет 11%. Пропуск превышения уровня ПДС за время между соседними анализами два раза даёт относительные погрешности соответственно 10% и 21%.

Для расчёта реальных относительных погрешностей, полученных из результатов анализа по выражениям (4), (5), рассчитаем вероятности пропуска загрязнений между анализами. Согласно начальным условиям, на поток

появления загрязнений сточных вод влияет большое количество случайных воздействий, отсутствует доминирующий фактор, поэтому можно принять для математической формализации данного потока, что время до появления загрязнений и время наличия загрязнений имеют экспоненциальное распределение.

Интенсивность появления загрязнений задается или рассчитывается по формулам на основе экспериментальных данных:

$$\lambda_b = \frac{N_b}{\sum_{i=1}^n t_{ib}},$$

где N_b – число появившихся загрязнений за время наблюдения T_n , $\sum_{i=1}^n t_{ib}$ – суммарная длительность времени отсутствия загрязнений за время наблюдения.

Интенсивность наличия загрязнений задается или рассчитывается по формуле:

$$\lambda_c = \frac{N_c}{\sum_{i=1}^n t_{ic}},$$

где N_c – число окончившихся сбросов за время наблюдения T_n , $\sum_{i=1}^n t_{ic}$ – суммарная длительность времени протекания загрязнений за время наблюдения.

Вероятность пропуска загрязнений сточных вод (т. е. вероятность того, что не будет пропущено ни одного загрязнения за время (t)) равна:

$$P(0) = 1 - \frac{(\lambda \cdot t)^0 e^{-\lambda t}}{0!} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6).$$

Конкретные значения интенсивности появления и наличия загрязнений можно получить из экспериментальных данных.

К опасным объектам относят предприятия химической, нефтеперерабатывающей промышленности, предприятия пищевой, мясомолочной промышленности, хладокомбинаты, продовольственные базы, имеющие холодильные установки, в которых в качестве хладагента используется аммиак, водоочистные и другие сооружения, использующие хлор, склады с запасом сильнодействующих химических веществ.

Только для нефтегазового комплекса, даже если учесть, что информация о части аварий предприятия является неполной, имеющиеся цифры говорят сами за себя. Ежегодно на предприятиях отрасли происходит около 50 крупных аварий и около 20 тыс. случаев, со-

провождающихся значительными разливами нефти, попаданием её в водоёмы, гибелью людей, большими материальными потерями, т. е. крупная авария происходит в среднем через 175,2 час, случай разлива нефти – в среднем через 26,3 мин. С учётом изложенного, примем, что среднее время до появления загрязнения может изменяться от 0,5 до 150 час. Примем среднее значение, равное приблизительно 50 час.

В соответствии с требованиями, установленными Постановлением Правительства РФ № 613 от 21.08.2000 г. «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» (в редакции от 15.04.2002 г.), регламентирующими совокупное время приведения в готовность и время прибытия к месту разлива, локализацию разливов нефти необходимо осуществить в сроки, равные 6 час на суше, 4 час на воде, при порыве трубопровода – 25% максимального объёма прокачки в течение 6 час, при проколе трубопровода – 2% максимального объёма прокачки в течение 14 дней. Анализ реальных случаев разгерметизации нефтепроводов для конкретных потоков сточных вод: в пойме реки Бишинды в начале марта 2006 г., аварии на магистральном нефтепроводе на водосборе реки Улуир в конце января 2008 г., аварийного разлива нефти вследствие разгерметизации магистрального нефтепровода в пойме реки Нурлинка в апреле 2009 г. – показывает, что среднее время устранения последствий загрязнений в большинстве случаев изменяется от нескольких суток до нескольких лет. Примем среднее время наличия загрязнения 240 час (10 сут).

Время между ближайшими проведением санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод в соответствии с постановлением Правительства РФ от 21.06.2013 № 525 «Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод» примем 17520 час (2 года) и в соответствии проектом Федерального Закона № 484225-5 «О водоснабжении и канализовании» – 4380 час (0,5 года).

Зависимость вероятности пропуска загрязнений сточных вод, превышающих уровни ПДС, от времени, рассчитанная по выражению (6), приведена на рисунке 2. На графиках представлена вероятность пропуска загрязнений сточных вод за время наблюдения в десять раз большее, чем среднее время отсутствия загрязнений. Очевидно, что чем больше время между анализами, тем вероятность пропуска загрязнений больше. Кроме того, чем больше значение λ , тем круче идёт график, то есть быстрее растёт вероятность пропуска загрязнений.

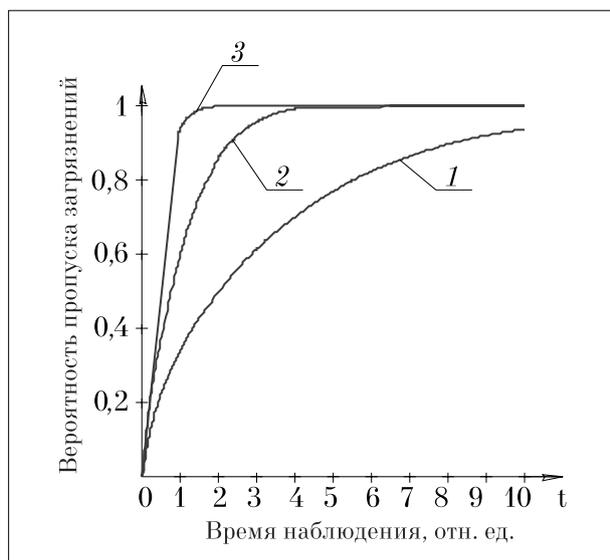


Рис. 2. Вероятность пропуска загрязнений сточных вод за время между анализами: 1 – $\lambda=0,5$; 2 – $\lambda=1,0$; 3 – $\lambda=2,0$

Если интенсивность появления загрязнений велика, то вероятность их пропуска быстро растёт с увеличением времени между анализами. По приведенному графику можно оценить вероятность отсутствия загрязнений сточных вод, превышающих значение ПДС, для конкретного потока сточных вод. Для анализируемого случая $P(0) = 1$, т. е. за 0,5 г. и за 2 г. загрязнения будут обязательно пропущены. За 24 часа (1 сут) $P(0) = 0,381$, что тоже весьма большая величина.

Это объясняет наличие высокой вероятности ошибки контроля, зависящей от числа измерений, среди которых по расчётам профессора О. М. Розенталя доля ошибочных измерений 0,08 (пример совершенной лаборатории) или 0,21 (рядовая лаборатория).

Таким образом, при проектировании очистных сооружений, выборе методики, аппаратуры и технологии анализа при большом количестве случайных воздействий и отсутствии доминирующего фактора применение разработанной методики свидетельствует о том, что в целях повышения достоверности санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод для конкретных потоков сточных вод необходимо учитывать параметры аварийных сбросов, время между анализами и вероятности пропуска загрязнений, превышающих уровни ПДС, частота появления и наличие которых определяется реальным временем работы оборудования.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»

(Государственный контракт № 16.740.11.0468 от 13.05.2011).

Литература

1. Гринин А.С., Новиков В.Н. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2003. 288 с.
2. Лимонов Ю.Ю., Ашихмина Т.Я., Савиных В.П. Анализ загрязнения сточными водами городов среднего течения реки Вятки // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 2. С. 108–113.
3. Ашихмина Т.Я. Научно-методические основы комплексного экологического мониторинга окружающей среды в районах объектов хранения и уничтожения химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 23–24.
4. Козлитин А.М., Попов А.И. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2000. 216 с.
5. Статистические методы контроля качества продукции / Под ред. Л. Ноулера. М.: Издательство стандартов, 1989. 96 с.
6. 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). Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2014. С. 108–113.
7. ISO 14001:2004 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению».
8. ISO 14004:2004 «Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по принципам, системам и методам обеспечения функционирования».

References

1. Grinin A.S., Novikov V.N. Life safety: teaching aid. M.: FAIR-PRESS, 2003. 288 p. (in Russian).
2. Limonov Yu. Yu., Ashikhmina T. Ya., Savinykh V. P. Analysis of the sewage pollution of the cities of the middle reaches of the Vyatka river // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2013. № 2. P. 108–113 (in Russian).
3. Ashikhmina T. Ya. Scientific and methodical bases of complex ecological monitoring of environment in regions of objects of storage and destruction of the chemical weapon // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2007. № 2. P. 23–24 (in Russian).
4. Kozlitin A. M., Popov A. I. Methods of a technical and economic assessment of industrial and ecological safety of high-risk objects of technosphere. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2000. 216 p. (in Russian).
5. Statistical methods of production quality control / Ed. L. Nouler. M.: Izdatelstvo standartov, 1989. 96 p. (in Russian).
6. Alekseev V. A., Usoltsev V. P., Yuran S. I. The generalized likelihood mathematical model of sewage receipt by the treatment facilities at volley dumps // Intellekturnye sistemy v proizvodstve. 2014. № 1 (23). Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2014. P. 108–113 (in Russian).
7. ISO 14001:2004 «Systems of ecological management. Requirements and application guide» (in Russian).
8. ISO 14004:2004 «Systems of ecological management. Guidelines on the principles, systems and methods of ensuring functioning» (in Russian).