РАЗДЕЛ 4. ОХРАНА ТРУДА

УДК 574(006.015.8)027.541

Федоркин С. И., Ветрова Н. М.

О МЕТОДЕ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА ПРИ ДЕЙСТВИИ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

У статті розглянуто метод оцінки рівня екологічної безпеки регіону на заставі групування техногенних загроз екологічній безпеці. Метод апробовано на прикладі Кримського регіону.

Ключові слова: *екологічна безпека регіону, загрози, метод оцінки.*

В статье рассмотрен метод оценки уровня экологической безопасности региона на основе группировки техногенных угроз экологической безопасности. Метод апробирован на примере Крымского региона.

Ключевые слова: *экологическая безопасность региона, угрозы, метод оценки*

In the article the method of estimation of ecological strength of region security has been considered on the basis of classification of technological threats of ecological safety. The method is approved on the example of the Crimean region.

Key words: *ecological safety of a region, threats, method of estimation.*

Постановка проблемы. Обеспечение сбалансированности экономики и экологических возможностей окружающей природной среды предполагает определение ограничений при эксплуатации природных ресурсов, связанных со способностью биосферы восстанавливаться в условиях деятельности человека. В целом территориальная организация экономической системы должна удовлетворять ряду условий, к которым относятся соответствие масштабов экономической деятельности при обеспечении совокупных потребностей населения уровню экологической безопасности территории и природно-ресурсному потенциалу региона. Решение данных задач требует управленческих воздействий, в основе которых должны лежать оценки реальных параметров экологической безопасности в соответствии с совокупностью экологических угроз. Подходы к оценке уровня экологической безопасности региональных систем разрабатывались многими учеными [1–6], хотя на данный момент имеются различные подходы, которые трудно адаптировать к системе управления.

Цель данной **статьи** – обосновать метод оценки уровня экологической безопасности региональных систем в рамках механизма управления экологическим состоянием.

Изложение основного материала. Широко известны работы зарубежных и отечественных ученых по проблемам оценки уровня экологического состояния среды. Н. Ф. Реймерс выделял подход к оценке предельных нагрузок на природную среду по проявлению реакции системы на антропогенную нагрузку [2, с. 293]. В. И. Вернадский [1] рассматривал устойчивость природного ландшафта как производную экологического взаимодействия четырех сфер: атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы и для степени изменения антропогенных ландшафтов оценивал ассиметрию распределения центров геосфер в зависимости от особенностей трансформации их под влиянием загрязнителей или нарушений экологических параметров. В. И. Коробкин и Т. В. Передельский [7] в целях оценки общей устойчивости экосистем к антропогенным нагрузкам обосновывают целесообразность использования показателей запаса живого и мертвого органического вещества, эффективность обновления органического вещества (продуктивность растительности территории), видовое и структурное разнообразие территории. Т. А. Акимова, В. В. Хаскин вводят критерий безопасности и связанные с ним понятия: U – природоемкость территории (совокупность объемов хозяйственного изъятия и поражения местных возобновимых ресурсов, включая загрязнения среды и другие формы техногенного угнетения реципиентов, в том числе ухудшение здоровья людей); $T_э$ – экологическая техноемкость территории (обобщенная характеристика территории, отражающая самовосстановительный потенциал природной системы и количественно равная максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность всех реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств) [8, с. 374].

Критерий безопасности $U \leq T_э$ означает, что техногенная нагрузка не может превышать самовосстановительный потенциал природных

систем территории. Количественный показатель экосистем в исследованиях зарубежных ученых характеризуется процентом территории, которая не меняется за период исследования. Качественный показатель отражает степень изменчивости на территории за период исследования ключевого набора растений и животных (по соотношению текущих показателей к базовым). Характеристикой устойчивости экосистем является степень вариации индекса природного капитала.

Учитывая исследования особенностей формирования угроз экологической безопасности антропогенного характера [9; 10] и одновременно рассматривая цель управления как обеспечение безопасности в регионе, целесообразно для осуществления и контроля оценивать именно уровень экологической безопасности региональных систем. При этом логически возможно оценивать экологическую безопасность региональных систем по уровню снижения попадания антропогенных веществ в среду (в натуральных показателях за период и в динамике изменений объемов попадания) и по степени снижения изменений качества природных систем. Для подтверждения гипотезы о возможности использования показателей уровня экологической безопасности по снижению техногенных угроз экологической безопасности наиболее соответствующими математическими методами [11; 12] являются методы многомерного статистического анализа, что подтверждено результатами анализа факторов экологической безопасности Украины [13].

Для проверки выбранной гипотезы была сформирована база данных по результатам исследований изменения угроз экологической безопасности по АР Крым в целом, а также городам, районам за 2003–2005 гг. (табл. 1).

Таблица 1.

Показатели элементов экологической безопасности.

№ п/п	Наименование показателя	Краткое содержание показателя
По группе снижения угроз ЭБ попадания в среду антропогенных веществ		
1	X_1	снижение показателя концентрации вредных веществ в атмосфере
2	X_2	снижение показателя концентрации вредных веществ в воде
3	X_3	снижение объемов токсичных отходов производства
4	X_4	снижение объемов ТБО
По снижению угроз ЭБ изменения природных систем при потреблении природных ресурсов и действии пространственно-планировочных факторов		
5	X_5	снижение потерь воды при транспортировке в системах
6	X_6	снижение площади вырубки лесов для целей производства
7	X_7	снижение площади вырубки лесов под застройку и при пожарах
8	X_8	увеличение площади лесовосстановления
9	X_9	оптимизация площади дорожных систем
10	X_{10}	сокращение площади оползневых, эрозийных и других форм нарушения геологических массивов
11	X_{11}	увеличение площади рекультивации карьеров

Математическим аппаратом исследования поставленной проблемы выбран метод главных компонент (использующий возможности корреляционно-регрессионного анализа), задачей которого является выбор из множества показателей наиболее существенных (главных) компонент, характеризующих исследуемую проблему. Суть метода главных компонент заключается в следующем: имеем m случайных переменных $X_1, \ldots, X_m$ с многомерным, необязательно нормальным, совмещенным распределением, вектором средних μ и ковариационной матрицей σ_{ij}.

Взаимосвязь между переменными $X_1, \ldots, X_m$ называется структурой зависимости и может быть измерена ковариациями или, что эквивалентно, дисперсиями и корреляциями между $X_1, \ldots, X_m$. Можно найти линейные комбинации $Y_1, \ldots, Y_q$ переменных $X_1, \ldots, X_m$ ($q < m$), на основании которых возможно получить структуру зависимости между $X_1, \ldots, X_m$. Таким образом, получаем краткое описание структуры зависимости, которое содержит практически всю информацию, содержащуюся в самих переменных.

Главные компоненты – это такие нормативные линейные комбинации итоговых переменных:

$$Y_i = \sum_{j=1}^{m} a_{ij} X_j, \qquad (1)$$

где X_j – показатели;
Y_i – главные компоненты;
$i = 1, \ldots, m$;
$\sum_{j=1}^{m} a_{ij}^2 = 1,\ j = 1,2,\ldots, m;$
$\mathrm{cov}(Y_i, Y_j) = 0, i, j = 1,\ldots, m, i \neq j$
дисперсия компонент – $V(Y_1) \geq V(Y_2) \geq \ldots \geq V(Y_m)$.

Первая главная компонента Y_1 определяется из условия максимальности дисперсии среди всех нормированных комбинаций X_i, i = 1, 2, …, m (m – число показателей); вторая главная компонента Y_2 определяется из условия максимальности дисперсии среди всех нормированных комбинаций X_i, i = 1, 2, …, m, которые не коррелируют с Y_1; третья главная компонента Y_3 определяется из условия максимальности дисперсии среди всех нормированных комбинаций X_i, i = 1, 2, …, m, которые не коррелируют с Y_1 и Y_2.

Подмножество первых q переменных Y_i объясняет большую часть общей дисперсии показателей, и, таким образом, получаем краткое описание структуры зависимости выходных переменных.

Метод главных компонент заключается в определении коэффициентов a_{ij}, i, j = 1, …, m по корреляционной матрице выходных показателей. Были рассчитаны (выполнены по программе с использованием средств EXCEL) собственные значения по показателям и соответствующие им собственные векторы корреляционной матрицы переменных, а также коэффициенты a_{ij} модели, и по ним вычислялись значения главных компонент для каждого показателя.

Чтобы определить вклад каждого показателя в главную компоненту, следует проанализировать матрицу компонентных нагрузок. Компонентные нагрузки пропорциональны коэффициентам корреляции соответствующей главной компоненты и анализируемого показателя.

Результаты расчетов выявили, что первые 5 главных компонент объясняют 81,31% общей дисперсии всех показателей, причем на первую главную компоненту приходится 30,45% общего вклада компонент в структуру исследуемого явления, вторая компонента объясняет 17,91% общей дисперсии, третья – 12,31%, четвертая – 11,66%, пятая компонента – 8,98% (рис. 1).

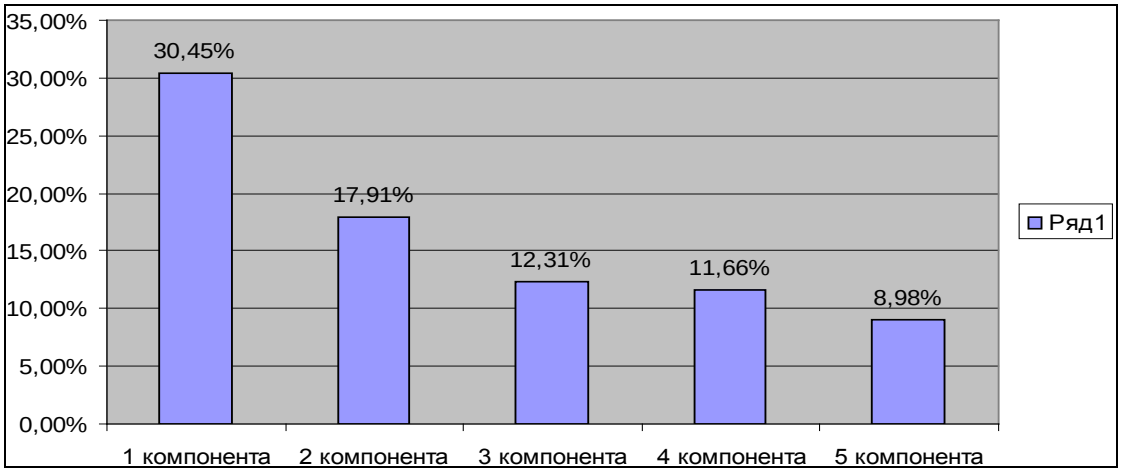

Рис. 1. Численные оценки главных компонент экологической безопасности региона АР Крым.

Поскольку на практике рекомендуется выделять число главных компонент, объясняющих 70–75% их суммарной дисперсии, а для нашей задачи – это достаточная доля дисперсии для описания структуры выходных переменных, то в дальнейшем будем анализировать четыре главные компоненты.

Результаты математической обработки в рамках метода главных компонент на основе общей совокупности показателей по сокращению двух групп угроз экологической безопасности позволили выявить компонентную структуру уровня экологической безопасности АР Крым, которая характеризуется с помощью матрицы коэффициентов корреляции между показателями и главными компонентами.

Первую главную компоненту экологической безопасности региона (y_1) определяют четыре показателя:

- снижение уровня ТБО (коэффициент корреляции равен 0,922);
- снижение уровня загрязнения атмосферы (коэффициент корреляции равен 0,816);
- снижение уровня загрязнения вод (коэффициент корреляции равен 0,805);
- снижение вырубки леса для производства (коэффициент корреляции равен 0,722).

Таким образом, первая главная компонента – основная внутренняя угроза экологической безопасности Крыма, которая объясняет 30,45% общей дисперсии структуры множества первичных данных: загрязнение окружающей среды выхлопными газами, воды – неочищенными стоками и размещение химически опасных производств на территории. В целом первая компонента экологической безопасности региона отражает значение для экологической безопасности региона проблем снижения уровня загрязнения антропогенными веществами сред.

Вторая главная компонента экологической безопасности региона (y_2) определяется тремя показателями:

- снижение потерь леса при пожарах (коэффициент корреляции равен 0,620);
- увеличение площади лесовосстановительных работ (коэффициент корреляции равен 0,617);
- предотвращение оползневых и других нарушений геологических массивов (коэффициент корреляции равен 0,622).

Интерпретируя вторую главную компоненту, объясняющую 17,91% общей дисперсии структуры множества первичных данных, следует признать важность мер по предупреждению лесных пожаров и нарушений геологических массивов для обеспечения экологической безопасности АР Крым, а также необходимость расширения лесовосстановления. Близкие коэффициенты корреляции отражают важность для полуострова решения всех видов стабилизации изменений природных систем при потреблении ресурсов и пространственно-планировочных воздействий.

Третья главная компонента экологической безопасности региона (y_3) определяется двумя показателями:
- увеличением площадей рекультивируемых карьеров добычи полезных ископаемых (коэффициент корреляции равен 0,614);
- снижением потерь воды при транспортировке в системах водоснабжения (коэффициент корреляции равен 0,566).

Анализ сущности третьей главной компоненты экологической безопасности региона отражает значимость расширения работ по рекультивации карьеров и предотвращение потерь воды при транспортировке к потребителям, что связано со значительным износом сетей.

Четвертая главная компонента экологической безопасности региона (y_4) связана с сокращением токсичных отходов (коэффициент корреляции равен 0,645), а также с наличием проблем оптимизации площади и схемы дорог (коэффициент корреляции равен 0,729). По результатам анализа исходных данных действия практически не осуществляются, а наоборот – дорожные системы развиваются в виду широкого транспортного использования полуострова.

Выводы. Представленный метод оценки уровня экологической безопасности региона позволяет выявить особенности параметров среды для целей управления и может быть использован для прогноза выходных показателей, описывающих основные угрозы экологической безопасности АР Крым.

Исследование закономерностей в каждой из групп показателей и в общей совокупности позволяет сделать вывод о значимости всех показателей для уровня экологической безопасности региона, а также не опровергает логическую группировку показателей в зависимости от природы экологических угроз.

Снижение угроз попадания антропогенных веществ в среды является комплексной проблемой и формирует первую и частично вторую главные компоненты экологической безопасности региона, снижение степени изменения природной среды при потреблении природных ресурсов и действии пространственно-планировочных факторов формирует третью и четвертую компоненты экологической безопасности региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Биосфера. Избранные труды по биогеохимии / В. И. Вернадский. – М. : Мысль, 1967. – 232 с.
2. Одум Ю. Экология : в 2 томах / Ю. Одум. – М. : Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с.
3. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы, гипотезы) / Н. Ф. Реймерс. – М. : Россия молодая, 1994. – 367 с.
4. Мельник А. В. Основи регіонального еколого-ландшафтознавчого аналізу / А. В. Мельник. – Львів : Літопис, 1997. – 229 с.
5. Дмитриев В. В. Оценка устойчивости и чувствительности водных экосистем к антропогенному эвтрофированию / В. В. Дмитриев // Известия РГО. – 1995. – Т. 127, вып. 4. – С. 16–26.
6. Боков В. А. Методология и методика оценки экологической ситуации / [В. А. Боков, А. И. Личак, И. Г. Черванев и др.]. – Симферополь : Таврия-Плюс, 2000. – 100 с.
7. Коробкин В. И. Экология / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2000. – 576 с.
8. Акимова Т. А. Экология – Человек – Экономика – Биота – Среда : учебник для вузов / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. –566 с.
9. Ветрова Н. М. Уровень экологических опасностей и устойчивость окружающей природной среды / Н. М. Ветрова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2007. – № 5. – С. 43–47.
10. Ветрова Н. М. Особливості формування екологічної небезпеки в регіоні / Н. М. Ветрова // Науковий вісник ІФНТУНІ : зб. наук. праць. – № 2(14). – Івано-Франківськ, 2006. – С. 157–162.
11. Петровский А. Б. Пространства множеств и мультимножеств / А. Б. Петровский. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 248 с.
12. Воронин А. Н. Системный анализ и многокритериальная оценка космических проектов экспертными методами / А. Н. Воронин // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 1. – С. 121–135.
13. Качинський А. Б. Екологічна безпека України: аналіз, оцінка та державна політика / А. Б. Качинський, Т. А. Хміль. – К. : НІСД, 1997. – 127 с.

УДК 628.339

Николенко И. В., Скидан В. Ю.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ (ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ)

У статті розглянута схема оборотного водопостачання підприємств по виробництву будівельної кераміки з використанням процесу гідродинамічного фільтрування. Встановлені залежності, для розрахунку залишкового вмісту зважених речовин залежно від вихідних концентрацій забруднень та витрати оброблюваної рідини на гідродинамічному фільтрі.

Ключові слова: *промислові скидання, оборотне водопостачання, гідродинамічне фільтрування, концентрація, витрата.*

В статье рассмотрена схема оборотного водоснабжения предприятий по производству строительной керамики с использованием процесса гидродинамического фильтрования. Установлены зависимости, для расчета остаточного содержания взвешенных веществ в зависимости от исходных концентраций загрязнений и расхода обрабатываемой жидкости.

Ключевые слова: *промышленные стоки, оборотное водоснабжение, гидродинамическое фильтрование, концентрация, расход.*

In the article the chart of circulating water-supply of enterprises is considered on the production of build ceramics with the use of process of hydrodynamic filtration. Dependences are set, for the calculation of remaining maintenance of the self-weighted matters depending on the initial concentrations of contaminations and expense of the processed liquid on a hydrodynamic filter.

Key words: *industrial upcasts, circulating water-supply, hydrodynamic filtration, concentration, expense.*

Постановка проблемы. Вода на промышленных предприятиях необходима для проведения технологических процессов, на пожаротушение, а также на хозяйственно-питьевые нужды. Количество и качество технической воды, необходимое каждому предприятию, определяется масштабом и характером его технологических процессов. Свойства используемой воды, ее расходы, применяемые системы водоснабжения в значительной степени определяют качество и себестоимость выпускаемой продукции, а также условия рационального использования природных ресурсов.

Анализ литературы. На современном этапе промышленного производства определяются направления рационального использования природных ресурсов: более полное использование и расширенное воспроизводство ресурсов пресных вод; разработка новых технологических процессов, позволяющих предотвратить загрязнение водоемов и свести к минимуму потребление энергии, свежей воды и минеральных ресурсов [1].

Производство строительных материалов является одной из важнейших отраслей промышленности АР Крым, т. к. имеются хорошие сырьевые ресурсы и емкие рынки сбыта готовой продукции [2]. Особенностью производства строительных материалов является возможность использования местных минеральных ресурсов, что во многом обуславливает состав сточных вод. В настоящее время на предприятиях по производству строительных материалов большая часть производственных и хозяйственно-бытовых стоков подается в городские канализационные сети или после очистки сбрасываются в водоемы. В таких производствах мало распространены системы оборотного водоснабжения, что увеличивает себестоимость производимых строительных материалов из-за значительного расхода воды и энергоресурсов [3]. Поэтому развитие отрасли производства строительных материалов связано с дополнительными затратами на сырьевые, водные и энергоресурсы.

Резервом сбережения водных ресурсов любого производства является применение оборотного водоснабжения, в котором многое зависит от технологии очистки стоков [4; 5]. При внедрении оборотных систем промышленного водоснабжения имеются дополнительные резервы по сокращению расхода свежей воды и уменьшению сбросов очищенных стоков в водоемы. Очистка промышленных сточных вод представляет трудную технологическую и методическую задачу по разработке эффективных способов регенерации, которые обеспечивают повторное использование очищенной воды в производственном процессе.

Сточные воды (СВ) в производствах строительной керамики образуются при охлаждении оборудования, очистке аспирационного и пневмотранспортного воздуха, очистке оборудования и т. д. [3]. Поэтому СВ производств строительной керамики и фаянса загрязнены в основном частицами глины и в незначительном количестве отощающими добавками. Концентрация этих загрязнений составляет до 3 г/л, крупность частиц от 0,001 до 1 мм, а гидравлическая крупность частиц от 0,1 до 10 мм/с.

Особенностью стоков производства строительных материалов является то, что в них преобладают минеральные загрязнения, которые могут использоваться в производственном процессе как сырье. Для очистки таких видов стоков применяют различные методы, отличающиеся между собой энергозатратами [3]. На предприятиях по производству строительных материалов очистка СВ осуществляется в горизонтальных отстойниках при продолжительности отстаивания не менее 4 часов и механизированном удалении осадка. При повторном использовании очищенных СВ отстойники рассчитывают на осаждение частиц гидравлической крупностью не менее 0,2 мм/с. Частиц меньшей гидравлической крупности около 1% и они не влияют на производственные процессы. При необходимости более глубокой очистки стоков применяется фильтрование через сетчатые контейнеры с загрузкой из дробленых и отсортированных до крупности 1–2 мм отходов керамического производства со скоростью фильтрования 5–6 м/ч. Влажность осадка из отстойников колеблется в пределах 75–90%. После обезвоживания на иловых площадках-отстойниках осадок может использоваться в производстве кирпича и керамических труб как добавка к основной массе в количестве не более 20%; при отсутствии этих производств осадок вывозится на свалку.

Одним из современных способов очистки стоков от минеральных загрязнений является гидродинамическое фильтрование, которое отличается от других минимальными затратами, возможностью очистки загрязнений с размерами частиц до 25 мкм, самоочисткой фильтрующего элемента [6; 7].

Система водоснабжения промышленного предприятия представляет собой комплекс сооружений, оборудования и трубопроводов, обеспечивающих забор воды из природного источника, либо подачу воды из существующей водопроводной сети, очистку и ее обработку, транспортирование и подачу воды в соответствии с технологическим процессом потребителя требуемых расходов и качества. В системах технического водоснабжения предусматриваются также оборудование и сооружения, необходимые для приема отработавшей воды и подготовки ее для повторного использования, а также станции очистки сточных вод.

Выбор способа или способов очистки жидкости, конструкции, места установки очистителя производится с учетом назначения жидкости, вида и степени исходной загрязненности, требуемой чистоты после очистки, порядка технического обслуживания и ремонта, а также технико-экономической эффективности мероприятий по очистке.

В настоящее время применение гидродинамических фильтров (ГДФ) для очистки промышленных СВ от нерастворимых загрязнений очень перспективны. ГДФ являются одним из современных способов очистки жидкости от нерастворимых примесей. В основу очистки жидкости в этих фильтрах положена гидродинамическая теория З. Л. Финкельштейна о движении частиц примесей в потоке жидкости вблизи фильтрующего элемента [6; 7].

Поверхностный фильтрующий элемент (ФЭ) представляет собой пластину, покрытую отверстиями определенного размера. При традиционной схеме очистки поток загрязненной жидкости направляется перпендикулярно плоскости ФЭ. На нем не задерживаются частицы, линейные размеры которых меньше размера фильтрующей ячейки. Частицы большего размера накапливаются со стороны подающего потока и постепенно закрывают отверстия ФЭ. В течение времени уменьшается его пропускная способность, повышается перепад давления на нем, а в конечном итоге ФЭ теряет работоспособность. Для ее восстановления ФЭ подлежит промывке, замене или регенерации. Для увеличения грязеемкости и срока службы необходимо значительно увеличивать поверхность или объем ФЭ. Поэтому такой способ очистки жидкости далек от совершенства по технико-экономическим показателям, так как на время очистки либо замены ФЭ необходимо предусмотреть дополнительные, резервные элементы либо периодическую работу без очистки.

В ГДФ поток жидкости, подлежащей очистке, направляется параллельно плоскости фильтроэлемента. Гидродинамические свойства ГДФ таковы, что через ячейки фильтра вместе с жидкостью проникают только те частицы, линейные размеры которых в 3–10 раз меньше размера ячейки. Большие частицы двигаясь в потоке жидкости удаляются потоком жидкости с ячеек фильтра, чем обеспечивают его непрерывную самоочистку. Поэтому ГДФ никогда не забивается частицами большего размера и без замены фильтроэлементов работают 7–10 лет без техни-

ческого обслуживания и ремонта. При этом ГДФ обеспечивают уменьшение перепада давления, повышение тонкости очистки, надежное предохранение от засорения.

В настоящее время на Украине серийно выпускаются ГДФ на пропускную способность от 4 л/мин. до 4000 м^3/ч и тонкостью очистки 15–500 микрон [1]. Такая стабильная тонкость очистки, обеспечиваемая ГДФ, недостижима никакими другими очистителями при их эксплуатации в системах промышленного водоснабжения в производственных условиях.

Наибольшее применение ГДФ получили в промышленном водоснабжении, в основном в системах оборотного водоснабжения предприятий металлургической и угольной промышленности [6]. В таких системах достигнута высокая технико-экономическая эффективность за счет низкой стоимости, простоты конструкции; непрерывной самоочистки фильтрующей поверхности; увеличения срока службы; отсутствия технического обслуживания и снижения затрат на очистку; стабильной тонкости очистки и постоянного перепада давления не зависимо от загрязненности поступающей жидкости.

Применение ГДФ решает важнейшую проблему повышения экологической безопасности вредных промышленных производств, так как максимально сокращает объемы потребляемой для производственного процесса воды из поверхностных либо подземных источников, а также существенно сокращает объемы СВ, которые подвергаются очистке.

Оборотное водоснабжение, или безотходная система водоснабжения при производстве строительных материалов, является относительно малоизученным процессом. Это объясняется тем, что СВ содержат в основном минеральные загрязнения, источником которых являются местные минеральные ресурсы, что позволяет возвращать после систем очистки в природную среду. Малое распространение систем оборотного водоснабжения в производстве строительных материалов увеличивает их себестоимость, а также не обеспечивает рационального использования природных ресурсов из-за значительного расхода воды и минеральных ресурсов, уходящих в СВ, которые потенциально могут использоваться повторно в производстве. Использование преимуществ ГДФ позволяет существенно усовершенствовать систему оборотного водоснабжения при производстве строительных материалов с повышением его технико-экономической эффективности.

Цель статьи – разработать рекомендации по применению ГДФ в системах оборотного водоснабжения предприятий по производству строительных материалов на основе комплекса экспериментальных исследований по обоснованию рациональных параметров процесса ГДФ, на основании полученных результатов разработать предложения по совершенствованию систем оборотного водоснабжения с оценкой технико-экономической эффективности и с учетом повышения рационального использования природных ресурсов.

Изложение основного материала. Для моделирования процесса очистки СВ производства строительных материалов с применением ГДФ разработана экспериментальная установка, общий вид которой показан на рис. 1, а ее схема – на рис. 2.

Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки.

Установка состоит из бака 1, насосной станции 2, ГДФ 3, расходомера 4, манометра 5, трубопроводов 6–9 и регулирующей арматуры 11–13. Всасывающий трубопровод 10 предназначен для подачи загрязненной жидкости из бака 1 на насосную станцию 2, из которой по напорному трубопроводу 6 подается на ГДФ 3. После прохождения загрязненной воды через ГДФ 3 очищенная вода поступает в бак 1 по трубопроводу 7 через расходомер 4, а по трубопроводу 8 происходит сброс загрязнений, которые смываются с фильтроэлементов ГДФ 3. Регулировка параметров, настройка скорости фильтрования обеспечивается регулирующей арматурой 11–13. Для подачи на ГДФ 3 жидкости с необходимой скоростью служит вентиль 12, установленный на напорном трубопроводе 6, остальная часть жидкости сливается в бак 1 через безопасный трубопровод 9 и регулируется вентилем 11. Давление на ГДФ 3 регулируется вентилем 13 на трубопроводе 8.

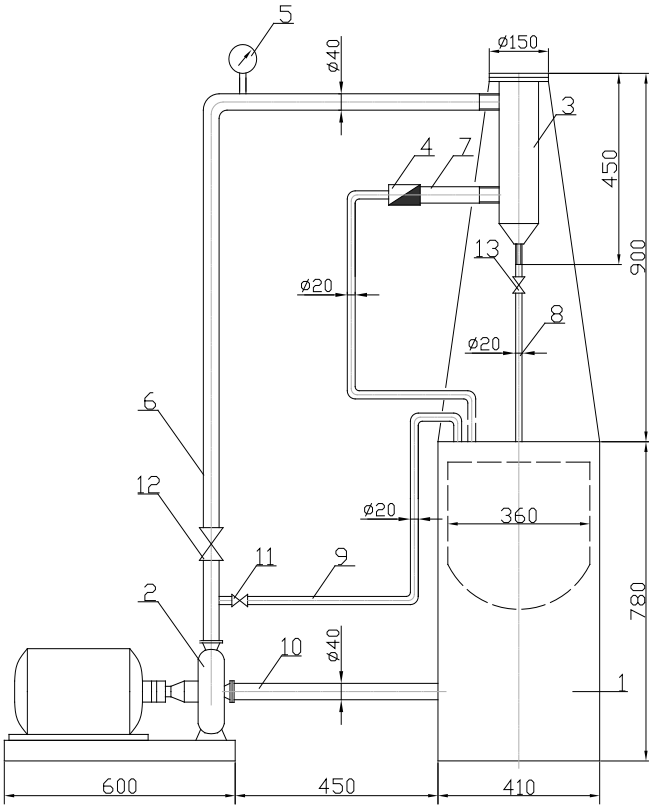

Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

В качестве ГДФ установлен серийно изготавливаемый неполнопоточный фильтр типа ФКД1.1-60, в котором для самоочистки некоторое количество фильтруемой жидкости возвращается вместе с загрязнениями в емкость, из которой жидкость забирается на очистку, а очищенная жидкость поступает потребителю.

Техническая характеристика неполнопоточного фильтра ФКД1.1-60 представлена нами в табл. 1.

Таблица 1.

Техническая характеристика фильтра ФКД1.1-60.

Максимальная производительность по входу, л/мин	60
Максимальная производительность по выходу, л/мин	50
Абсолютное количество воды на смыв, л/мин	10
Характер загрязнений	механические примеси
Максимальная загрязненность исходной воды, г/л	3
Минимальный перепад давления на фильтре, кг/см^2	0,5
Максимальные перепад давления на фильтре, кг/см^2	0,7
Максимальная крупность исходных загрязнений, мм	2
Максимальная остаточная крупность загрязнений, мм	0,025
Масса фильтра с фильтроэлементом, кг	20

В большинстве случаев, очищенная жидкость с ГДФ может подаваться другому потребителю, требование к показателям очищенной воды после очистки СВ у которого ниже [3; 4]. В условиях производства строительных материалов вода после очистки ГДФ может повторно использоваться в технологическом процессе. Фильтр ФКД1.1-60 может работать как полнопоточный, без сброса промывной жидкости, при этом все 100% очищенной жидкости поступает потребителю. Для учета основных свойств СВ производства строительных материалов, обеспечения заранее известных и не изменяющихся показателей, повышения точности проведения эксперимента за счет уменьшения случайных погрешностей испытания проведены на «искусственной СВ». Состав такой СВ определен по допустимой загрязненности исходной воды для производства строительной керамики после прохождения технологического процесса и перед подачей на очистные сооружения. Для выбранного производства были определены виды загрязнений, содержащихся в реальной СВ.

Экспериментальные исследования проводились на загрязненной воде, близкой по своему составу к СВ строительного предприятия по производству керамических изделий, которая моделировались следующим образом. Исходное

сырье для производства строительной керамики (глина) высушивалось в сушильном шкафу, измельчалось в мелкодисперсную массу, после чего приготавливались навески сырья с заданной массой и влажностью. Добавляя навески в 1 л дистиллированной воды, были получены необходимый диапазон концентраций загрязнений СВ: 250; 500; 1000; 1500, 2000 мг/л. Предварительно, по оптическим свойствам смоделированной исскуственной СВ и ее концентрации тарировался фотоэлектрокалориметр типа ФК-1У, по которому определялись остаточные концентрации загрязнений в жидкости после очистки в ГДФ.

Загрязненная жидкость с определенной концентрацией загрязнений заливалась в бак экспериментальной установки, а затем при различных величинах подачи на ГДФ определялась остаточная концентрация загрязнений ΔK. В результате предварительно проведенных экспериментальных исследований определены остаточные концентрации взвешенных веществ при расходах загрязненной жидкости в диапазоне Q = 50–60 л/мин. и при концентрациях исходных загрязнений в диапазоне K_0 0,25–2 г/л.

По результатам обработки экспериментальных данных предварительно установлены аналитические зависимости для определения остаточной концентрации ΔK от подачи на ГДФ загрязненной жидкости и ее исходной загрязненности.

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований и полученная аналитическая зависимость остаточной концентрации ΔK взвешенных веществ (г/л) от расхода (л/мин) при исходной концентрации загрязнений 0,5 г/л.

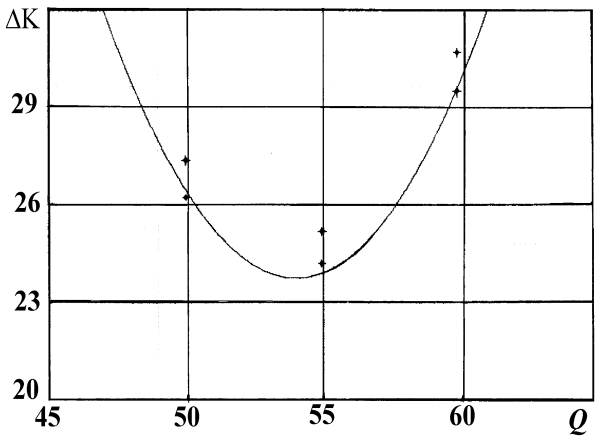

Рис. 3. Экспериментальные точки и аналитическая зависимость остаточной концентрации взвешенных веществ при расходе в диапазоне 50–60 л/мин. при исходной концентрации взвешенных веществ 0,5 г/л при коэффициенте корреляции 0,976.

В результате экспериментальных исследований установлено, что после очистки ГДФ принятой конструкции минимальная остаточная концентрация загрязнений достигает ΔK = 0,023…0,025 г/л при концентрации исходных загрязнений $K_0 \leq 1$ г/л и практически не зависит от исходной концентрации. При увеличении исходной концентрации загрязнений остаточная концентрации взвешенных веществ увеличивается, и при K_0 = 2 г/л остаточная концентрация загрязнений достигает ΔK = 0,029...0,032 г/л.

Результаты предварительных экспериментальных исследований остаточной концентрации загрязнений СВ производства керамических изделий после очистки ГДФ обобщены при помощи следующих уравнений в зависимости от расхода в л/мин.:

- при исходной концентрации K_0 = 0,25 г/л

$$\Delta K(Q) = 502{,}922 - 17{,}73 \times Q + 0{,}164 \times Q^2; \quad (1)$$

- при исходной концентрации K_0 = 0,5 г/л

$$\Delta K(Q) = 504 - 17{,}73 \times Q + 0{,}164 \times Q^2; \quad (2)$$

- при исходной концентрации K_0 = 1 г/л

$$\Delta K(Q) = 307{,}748 - 10{,}422 \times Q + 0{,}096 \times Q^2; \quad (3)$$

- при исходной концентрации K_0 = 1,5 г/л

$$\Delta K(Q) = 48{,}981 - 0{,}741 \times Q + 7{,}797 \times 10^{-3} \times Q^2; \quad (4)$$

- при исходной концентрации K_0 = 2 г/л

$$\Delta K(Q) = -242{,}121 + 10{,}103 \times Q - 0{,}093 \times Q^2. \quad (5)$$

Математическое моделирование процесса гидродинамического фильтрования СВ производства строительной керамики. Результаты предварительных стендовых исследований процесса позволили выполнить планирование двухфакторного эксперимента для создания обобщенной математической модели процесса очистки СВ с применением ГДФ. В качестве исследуемых параметров принимались исходная концентрация загрязнений и величина подачи загрязненной жидкости на фильтр.

Для эксперимента применялся метод ротатабельного планирования, который позволяет получать более точное математическое описание поверхности отклика по сравнению с ортогональным центрально композиционным планированием, что достигается благодаря увеличению числа опытов в центре плана эксперимента и специальному выбору величины звездного плеча α = 1,41 [8].

Основные характеристики матрицы ротатабельного планирования для двухфакторного эксперимента [9]: число опытов факторного планирования – 4; число опытов в звездных точках – 4; число опытов в центре плана – 5; общее число опытов – 13.

При рототабельном ЦКП для вычисления коэффициентов регрессии и соответствующих оценок дисперсии определены следующие константы:

$$A = \frac{1}{2B[(n+2)b - n]} = 0{,}5;$$

$$B = \frac{nN}{(n+2)(N - N_0)} = 0{,}81; \qquad (6)$$

$$C = \frac{N}{N - N} = 1{,}63.$$

где n – число факторов;
N – общее число опытов;
N_0 – число опытов в центре плана.

Проверку адекватности уравнения регрессии осуществляют с помощью критерия Фишера [10–12]. По результатам предварительных экспериментов по очистке искусственной СВ на ГДФ по зависимостям (1)–(5) определены точки в окрестностях, которых был составлен план двухфакторного эксперимента.

При этом принято X_1 – концентрация взвешенных веществ на входе в фильтр, X_2 – расход (X^*_2 – скорость) жидкости на ГДФ. Условия эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Условия проведения эксперимента.

Фактор	X_1, мг/л	X_2, л/мин.	X_2^*, м/с
Верхний уровень	2000	60	0,5
Основной уровень	1500	55	0,46
Нижний уровень	250	60	0,42
Интервал варьирования	500	5	0,04

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований вычислялись коэффициенты регрессии. Оценка дисперсии воспроизводимости выполнялась на основании результатов опытов, проведенных в центре плана. При переходе в уравнении регрессии от координированных переменных к физическим получено уравнение регрессии в виде:

$$\Delta K(K_0, Q) = 144{,}46 + 5{,}8 \times 10^{-3} \times \Delta K^2 - 7{,}34 \times$$
$$\times 10^{-3} \times \Delta K + 3{,}84 \times 10^{-2} \times Q^2 - 4{,}224 \times Q, \qquad (7)$$

где K_0 – исходная концентрация взвешенных веществ, мг/л;
Q – расход СВ, л/мин.

Следовательно, на основании результатов экспериментальных исследований обработки СВ производства строительной керамики на ГДФ получена математическая модель протекающего процесса.

Данная модель позволяет получить поверхность отклика для описания процесса гидродинамического фильтрования СВ производства строительной керамики, а также представить номограмму (рис. 4) для определения остаточного содержания взвешенных веществ в зависимости от подачи исходного содержания взвешенных веществ в СВ.

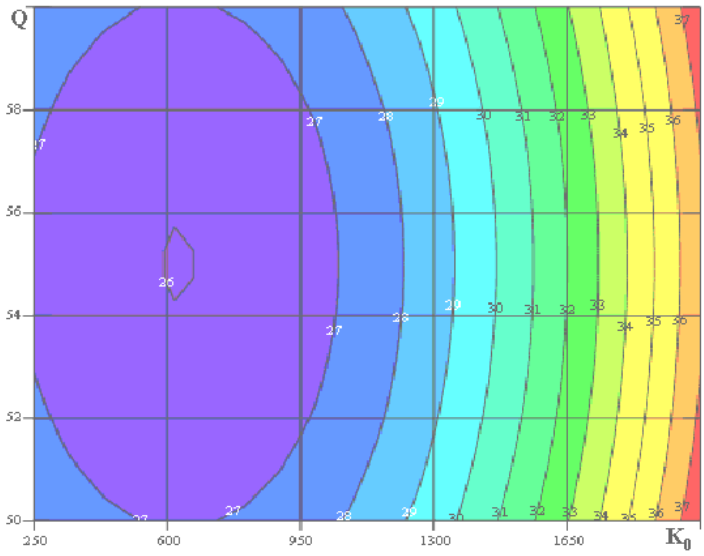

Рис. 4. Номограмма для определения остаточной концентрации взвешенных веществ после ГДФ в зависимости от исходной концентрации – K_0, мг/л и расхода СВ – Q, л/мин.

Анализ представленной зависимости показал, что при загрязнениях СВ с исходной концентрацией взвешенных веществ $K_0 \leq 1000$ мг/л ГДФ позволяет ее очистить до остаточной концентрации взвешенных веществ $K_0 \leq 30$ мг/л. Минимальный уровень остаточной концентрации достигается при расходе СВ на фильтре рассмотренной конструкции $Q = 55$ л/мин., что соответствует скорости жидкости на фильтре $v = 0{,}46$ м/с.

Следует отметить, что при исходной концентрации взвешенных веществ $K_0 > 1000$ мг/л

остаточная концентрация практически не зависит от величины подачи, а определяется только исходной концентрацией.

Таким образом, экспериментально установлены параметры ГДФ, которые могут служить основой для разработки современной технологической схемы оборотного водоснабжения производства строительных материалов. Полученная остаточная концентрация взвешенных веществ после ГДФ достаточна, чтобы очищенные СВ можно было повторно применять в производственном процессе, а отделяемые загрязнения повторно использовать при производстве строительных материалов.

Внедрение в производство строительных материалов систем оборотного водоснабжения с применением ГДФ позволяет эффективно использовать их преимущества, что обеспечивает более рациональное использование природных ресурсов.

Выводы. На основе выполненного анализа установлена целесообразность применения гидродинамических фильтров в системах оборотного водоснабжения производства строительных материалов. Разработан стенд для экспериментальных исследований процессов ГДФ сточных вод производства строительной керамики. Проведены предварительные исследования остаточной концентрации взвешенных веществ в искусственных сточных водах, которыми моделировались стоки производства строительной керамики.

Разработан план двухфакторного эксперимента по гидродинамической очистке, проведены исследования и получено уравнение регрессии, характеризующее процесс удаления взвешенных веществ из сточных вод производства строительных материалов.

Установлены зависимости, позволяющие рассчитать остаточное содержание взвешенных веществ в зависимости от исходных концентраций загрязнений и расхода обрабатываемой жидкости на гидродинамическом фильтре.

Установлены рациональные параметры ГДФ, которые позволяют разрабатывать современные технологические схемы оборотного водоснабжения производства строительных материалов. Применение таких схем промышленного оборотного водоснабжения обеспечит рациональное использование природных ресурсов в производстве строительных материалов, так как существенно сокращается потребление воды из природных источников, а загрязнения, удаленные из сточных вод, могут быть использованы для основного производственного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов Б. В. Проблемы развития безотходных производств / Б. В. Громов, Б. Н. Ласкорин. – М. : Стройиздат, 1985. – 256 с.
2. Лушпаева П. П. Строительные материалы Крыма / П. П. Лушпаева. – Симферополь : Таврия, 1987 – 160 с.
3. Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий / [Ю. М. Баженов, Л. А. Алимов, В. В. Ворокина, Н. В. Трескева]. – М. : Издательство АСВ, 2005. – 472 с.
4. Алферова А. А. П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / А. А. Алферова, А. П. Нечаев. – М., 1987. – 86 с.
5. Когановский А. М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А. М. Когановский. – М. : Химия, 1983. – 232 с.
6. Финкельштейн З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З. Л. Финкельштейн. – М. : Недра, 1986. – 232 с.
7. Финкельшетйн З. Л. Расчет гидродинамических фильтров / З. Л. Финкельштейн // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М., 1979. – Вып. 7. – С. 232–240.
8. Саутин С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л. : Химия, 1975. – 48 с.
9. Адлер Ю. Н. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. Н. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1973. – 280 с.
10. Рузинов Л. П. Статические методы оптимизации химических процессов / Л. П. Рузинов. – М. : Химия 1972. – 200 с.
11. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1970. – 262 с.
12. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. – М. : Мир, 1967. – 406 с.

УДК 621.313

Подзноев Г. П.

ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В КРЫМУ

Розглянута можливість використання вітроелектроенергії непромислової якості для теплопостачання невеликих сільських селищ, знесолення сильно мінералізованої води й опріснення морської води. Обґрунтовується економічна доцільність використання автономних вітроенергокомплексів, обладнаних генераторами постійного струму без складних і дорогокоштовних інверторних систем.

Ключові слова: *вітроенергія, теплопостачання, опріснення й знесолення води, постійний струм.*

Рассмотрена возможность использования ветроэлектроэнергии непромышленного качества для теплоснабжения небольших сельских поселков, обессоливания сильно минерализованной воды и опреснения морской воды. Обосновывается экономическая целесообразность использования автономных ветроэнергокомплексов, оборудованных генераторами постоянного тока без сложных и дорогостоящих инверторных систем.

Ключевые слова: *ветроэнергия, теплоснабжение, опреснение и обессоливание воды, постоянный ток.*

The possibility of the usage of wind energy of non-industrial quality for small agricultural places is considered herein. Apart from that wind energy is used for demineralization highly mineralized water and for desalination of sea water. The author substantiates economic advantages of autonomous wind energy system which are equipped with direct current generators without complex, expensive inverted system.

Key words*: wind energy, heat supply, demineralization, desalination, direct current.*

Постановка проблемы. На конец XX – начало XXI вв. приходится резкое возрастание масштабов использования углеводородного сырья как в сфере энергообеспечения, так и в сфере материального производства. И именно в этот период человечество начало понимать, что постепенно и неотвратимо приближается к общемировому экологическому и энергетическому тупику. Во-первых, природные ресурсы углеводородов неотвратимо истощаются, и уже в обозримом будущем будет ощущаться их дефицит. Во-вторых, использование углеводородов как энергоносителей приводит к серьезному ухудшению экологического состояния окружающей природной среды обитания человека и нарушению теплового баланса планеты.

Анализ литературы. Наиболее перспективными альтернативными направлениями решения проблемы признаны водородная энергетика и практически неиссякаемые возобновляемые энергетические ресурсы ветра, Солнца и внутреннего тепла Земли. Наиболее продвинутыми в плане практической реализации на настоящий момент является прямое преобразование энергии ветра в электроэнергию.

По результатам отчета за 2009 г. Всемирной Ветроэнергетической Ассоциации (WWEA) [1] годовое мировое производство электроэнергии с помощью ветроэлектростанций (ВЭС) за последнее десятилетие увеличилось более чем в шесть раз, а их установленная мощность на конец 2009 г. достигла 159,2 ГВт. По общей установленной мощности (МВт) на конец 2009 г. в тройку наиболее продвинутых стран вошли США (35159), Китай (26010) и Германия (25777). Китай лидирует по приросту мощностей за 2009 г. – 13800 МВт. Товарооборот ветроэнергетики в 2009 г. превысил 50 млрд. евро.

На конец 2009 г. в мире ветроэлектростанциями выработано 340 ТВт/ч электроэнергии, или 2% от общего электропотребления. Наиболее высокая доля ветроэнергетики в общем электроснабжении в Дании (20%), Португалии (25%), Испании (14%) и Германии (9%).

В соответствии с прогнозами, сделанными «World Wind Energy Report 2008», представители финансового сектора стали понимать, что ветроэнергетика – это инвестиции с низкой степенью риска.

Украина пока занимает последнее место по использованию ветровой энергии в Европе и 37-ое место в мире, хотя обладает мощными ресурсами ветровой энергии на 20% своей территории с общим энергопотенциалом до 500–800 ГВт·ч. Наиболее перспективным в этом отношении является Крымский полуостров со среднегодовой скоростью ветра 5 м/с и более. Тем более что Крым на 90% использует электроэнергию, генерированную в континентальной Украине и поступающую на полуостров по трем межсистемным линиям электропередач. При этом при транспортировке теряется до 25% электроэнергии.

Цена электроэнергии, получаемой на ВЭС, по оценкам института EPRI (США) в регионах со среднегодовыми скоростями ветра 5–6 м/с уже сегодня составляет 5–7 цент/кВт·ч и сравнима с таковой традиционных электростанций (5–9 цент/кВт·ч на АЭС, 4–5 цент/кВт·ч на ТЭС, работающих на угле и газе, 5–20 цент/кВт·ч на ГЭС различной мощности. По суммарным затратам на обслуживание, ремонт, исходное топливо и др. (1,4 цент/кВт·ч) ВЭС оказываются предпочтительнее угольных ТЭС (2 цента/кВт·ч), газовых ТЭС (2,9 цента/кВт·ч), мазутных ТЭС (3,2 цента/кВт·ч). При более высоких среднегодовых скоростях ветра экономическая эффективность ВЭС возрастает. Прогнозируется, что к 2015 г. стоимость электроэнергии ВЭС станет ниже таковой для традиционных электрогенерирующих предприятий.

В Украине еще в 2001 г. в Верховной Раде была одобрена Концепция энергетической стратегии на период до 2030 г., однако ее реализация, особенно в части инновационной альтернативной энергетики, практически не осуществлялась ни в организационном, ни в инвестиционном плане. И лишь в самые последние годы наметился серьезный прорыв в этом направлении.

Основные факторы, стимулирующие развитие ветроэнергетики:

- почти нулевая стоимость сырьевого (ветер) практически неисчерпаемого источника для производства электроэнергии;
- отсутствие каких-либо технологических газообразных, жидких или твердых отходов;
- высокий уровень экологической совместимости с окружающей средой, так как допускается хозяйственное использование земель, занимаемых ВЭС, в частности, под овцеводство и сельхозпосевы;
- низкий уровень эксплуатационных расходов ввиду отсутствия затрат на топливо и трудозатраты (численность персонала 300 МВт модуля 16 человек), то в себестоимости электроэнергии основная составляющая будет формироваться из амортизационных отчислений и налогов;
- высокая степень автоматизации и компьютеризации управления основным технологическим процессом.

Кроме этого, ветроэнергокомплекс установочной мощностью, например, 1000 МВт даст возможность, согласно Киотского протокола, снизить выбросы до 90 млн. тонн углекислого газа в год, что при цене квоты $71 за 1 тонну выбросов CO_2, доход составит около $6,5 млрд. в год. Это позволит снизить существенную часть затрат на его строительство.

В то же время основным недостатком ВЭС, зацикленных на централизованные энергосистемы, являются:

- высокая капиталоемкость возведения (начальные затраты);
- неравномерный характер выработки электроэнергии вследствие неравномерности потока ветра.

Это требует применения инвертора (~ 50% стоимости всей установки) для преобразования переменного или постоянного тока получаемого от ветрогенератора и его приведения к промышленным стандартам в ~ 220 В 50 Гц и синхронизации его по фазе с внешней сетью при параллельной работе генератора. Это ограничивает возможность автономного использования установок в децентрализованных энергосистемах без поддержки иных источников генерации (дизель-генераторов, аккумулирующих систем и т. д.).

В последние годы широкомасштабные проекты по внедрению ветроэнергии планируются и в Крыму [2]. Группа инвесторов из Греции планирует в рамках подписанного соглашения о сотрудничестве между Совмином и греческой компанией Preneson S. A. построить в Крыму современный ветропарк мощностью 1000 МВт в Первомайском, Раздольненском, Красноперекопском и Ленинском районах. Кроме этого, на полуострове в разных стадиях реализации находятся проекты ООО «ЕвроУкрВинд», а также компания ООО «Нова-Эко» с инвестициями $1,13 млрд. в создание Тарханкутской ВЭС мощностью 300 МВт и «Западнокрымской ВЭС» мощностью 250 МВт в Черноморском районе. На стадии финансирования находятся два проекта ООО «Конкорд Групп» – «Казантипская ВЭС» мощностью 100 МВт и «Сивашская ВЭС» мощностью 350 МВт. Начаты работы для проектов ООО НПО «ПланЭко» строительства «Красноперекопской ВЭС и «Джанкойской ВЭС» мощностью 200 МВт. Подготовкой технико-экономического обоснования проектов занято ООО «Крым-Эол», собирающееся построить сразу 4 ВЭС: «Солнечная долина» в Судаке (100 МВт), «Бахчисарайская ВЭС» (200 МВт), «Тургеневская ВЭС» (200 МВт) и «Холмогорская ВЭС (200 МВт). Четыре площадки зарезервировал под строительство ВЭС BETEN Ingenierie International – французский инвестор, который уже во второй половине 2010 г. был намерен приступить к реализации проекта.

Ветроэлектроэнергия планируется поставлять в единую энергетическую систему Украины по цене 11,8 евроцента за 1 кВт/ч.

Как следует из краткого обзора, упор в развитии ветроэнергетики делается на ее жесткой привязке к традиционным схемам потребления с жесткими технологическими характеристиками, что в значительной степени сохраняет и присущие таким энергосистемам системные недостатки.

Цель статьи – обосновать возможность использования нетрадиционного варианта энергоснабжения с помощью ветроэнергетики с системами непромышленного качества производимой электроэнергии.

Изложение основного материала. Для значительной категории потребителей электроэнергии в зоне действия ВЭС совершенно не обязательно использовать электроэнергию общепринятого промышленного качества. В ряде случаев экономически целесообразнее получение не синхронизированного по частоте и напряжению постоянного или переменного тока.

Для условий Крыма подобный вариант может быть использован в следующих случаях.

1. Использование не синхронизированной электроэнергии ВЭС с последующим преобразованием его с помощью ТЭНов в тепло для обогрева жилья и получения горячей воды; эта схема имеет несколько преимуществ:

- отопление является одним из основных энергопотребителей любого дома, особенно в зимнее время;

- схема ветрогенератора и управляющей автоматики кардинально упрощается, а стоимость снижается наполовину;
- схема автоматики может быть в самом простом случае построена на нескольких тепловых реле;
- в качестве аккумулятора энергии можно использовать обычный бойлерный накопитель с водой (например, централизованный) для отопления и горячего водоснабжения группы зданий или отдельного поселка;
- потребление тепла не так требовательно к качеству и бесперебойности, поскольку температуру воздуха в помещении можно поддерживать при ТЭНовой системе в широком диапазоне (19–25°С), а в накопительных бойлерах горячего водоснабжения 60–97°С.

2. Другим важным направлением нецентрализованного использования ветроэнергии могут стать системы электродиализного обессоливания и опреснения воды. Как известно проблема питьевой воды (а также и поливной) является острейшей проблемой Крыма, особенно в сельской местности. Ветроэнергетика непромышленного качества дает возможность кардинальным образом решить эту проблему, так как при электродиализе используется постоянный ток, а сам процесс происходит в рамных электролитических ячейках небольшой толщины, группируемых в многокамерные блочные (кассетные) конструкции с последовательным и параллельным подключением к источнику – ветрогенератору постоянного тока. Система позволяет автоматически отключать часть электродиализных блоков в режим ожидания при снижении поступления электричества от ветрогенератора и подключать их вновь при его повышении без ущерба для технологического процесса опреснения или обессоливания. Это качество весьма удобно в условиях непостоянства ветровой нагрузки. Непрерывность потребления качественной питьевой воды легко достигается с помощью накопительного резервуара, наполняющегося в периоды активной ветровой нагрузки.

Метод электродиализа технологически прост, относительно экономичнее в эксплуатации и экологически чист. Главное достоинство технологии электродиализа – возможность обессоливания как морской, так и минерализованной артезианской воды без использования химических реагентов при минимальных энергетических, эксплуатационных и капитальных затратах.

В отличие от обратноосмотических систем обессоливания электродиализ не требует больших затрат электроэнергии на создание высоких давлений, мембраны не нуждаются в периодической очистке и замене, не используют для обслуживания дорогостоящие химические реагенты, концентрация рассола на выходе аппаратов в разы выше, объем обессоленной воды составляет до 90% от исходного объема воды на входе, значительно ниже капитальные затраты.

Наиболее широко электродиализные установки применяются для опреснения морской воды при получении питьевой и/или технической (поливной) воды. Но чаще процесс электродиализа с предварительной фильтрацией через активированный уголь применяют для очистки воды, содержание растворенных солей в которой составляет примерно 10 г/л и менее. В этом случае процесс электродиализа является более экономичным по сравнению с обратным осмосом или выпариванием. При помощи электродиализа можно получать также высококонцентрированные растворы солей, используемые при производстве поваренной соли и других солей из морской воды (бром, йод и, особенно, литий). Электродиализ применяется также для предочистки воды для теплоэнергетических установок. Наиболее продвинутыми считаются системы с комбинированием электродиализа и обратного осмоса.

Очистка морской воды с помощью опреснительных установок в промышленных масштабах к 2007 г. уже достигло 50 млн. м^3 чистой воды. Практическая реализуемость масштабного опреснения морской воды наглядно подтверждается весьма крупным проектом, осуществленным в Израиле, где 17 мая 2010 г. введена в строй одна из крупнейших в мире опреснительных установок с ежегодным производством способом мембранной очистки 127 миллионов кубометров воды, что составляет почти 20% потребностей страны в питьевой воде [3; 4].

Опресненная вода после дополнительной реминерализации попадает непосредственно во Всеизраильский водопровод, а оттуда – в южные регионы страны. Для работы опреснительного комплекса затрачивается 50 мегаватт электроэнергии. Проект стоимостью $250 млн реализован объединенными усилиями французской компании Veolia (часть Vivendi Group) и израильской IDE Technologies. Последняя уже построила 350 опреснительных установок по всему миру, из них 65 – только в Испании. Полученная питьевая вода поступает в государственную компанию «Мекорот» (отвечающей за водоснабжение страны) по цене 52,7 цента за кубометр – самой низкой в мире для опресненной воды. В ближайшие годы в стране, страдающей от дефицита водных ресурсов, планируется таким способом производить уже всю питьевую воду в Израиле (800 млн. м^3 в год).

Учитывая, что Крым также остро нуждается в пресной воде и в то же время практически со всех сторон окружен морем, и существуют давно апробированные промышленные технологии опреснения морской воды, следует признать весьма перспективной концепцию использования ветроэнергии в варианте получения более дешевого непромышленного постоянного тока для опреснения морской и избыточно минерализованной подземной воды для питьевых, технических и технологических нужд. В этом случае нет необходимости в сложных и дорогих выпрямительных системах, что значительно снижает как капитальные, так и эксплуатационные расходы, а следовательно, и себестоимость целевого продукта.

3. Избыточная электроэнергия, вырабатываемая ВЭС в варианте непромышленного качества может быть использована для электролиза имеющейся в неограниченном количестве в Крыму морской воды с целью получения водорода, технического кислорода и солевого концентрата. В этом случае водород может подаваться в существующие газопроводные системы природного газа, повышая его калорийность при сжигании, или использоваться в экологически чистых газотурбинных установках для производства электроэнергии с предварительной аккумулированием в металлогидридной форме и последующим его извлечением в периоды отсутствия ветра.

Как и в случае с электродиализным опреснением, электролиз морской воды может быть достаточно легко адаптирован к постоянному электрическому току непостоянных технологических характеристик.

Наиболее перспективным решением проблемы накопительного хранения водорода может стать использование гидридов металлов, стабильных в пределах температурных условий их возможной эксплуатации (от 0 до +200º С) [5; 6]. Например, из 1 м^3 гидрида алюминия при его реакции с водой можно получить 296 кг (~3300 м^3 при 0,1 МПа) водорода общей энергоемкостью 35520 МДж, что превышает теплотворную способность 1 м^3 бензина или почти 1000 м^3 природного газа. При сжигании же 1 м^3 AlH_3 может быть получено уже около 58600 МДж, энергетически адекватных 16300 кВт, что в 1,7 раза больше теплотворной способности 1 м^3 бензина и равноценно сжиганию почти 1570 м^3 природного газа или около 2,0 т антрацита.

Весьма важным принципиальным отличием металлогидрида от углеводородов или угля является то, что продукты сгорания последних безвозвратно теряются, рассеиваясь в окружающей среде и загрязняя ее, а при сгорании металлогидрида образуется оксид металла, пригодный для многократной повторной регенерации.

Весьма интересен также с энергетической точки зрения комплексный железо-титановый гидрид ($FeTiH_2$), 1 м^3 которого при атмосферном давлении может вмещать в себе около 98,5 кг (почти 1100 м^3) водорода с потенциальным энергосодержанием 11800 МДж (3278 кВт), что в 3,0 раза меньше, чем у гидрида алюминия при его гидролизе, но адекватно энергоемкости 320 м^3 природного газа.

В то же время при сжигании 1 м^3 железо-титанового гидрида теоретически может быть получено уже до 84770 МДж тепловой энергии, эквивалентной 23500 кВт, что значительно превосходит энергопотенцию гидрида алюминия и адекватно сжиганию 2300 м^3 природного газа или почти 3 т антрацита.

Однако более важной особенностью $FeTiH_2$ является его способность равномерно выделять водород при нагревании выше 60°С и вновь аккумулировать его при последующем нагнетании под давлением 5–10 атм без изменения матричного носителя – порошка твердого композита FeTi. То есть, служить своего рода накопительно-расходной емкостью многократного действия, в которой водород может стабильно сохраняться при обычном атмосферном давлении, но по объемной плотности соответствовать газообразному водороду под давлением 1100 атм.

Ниже приводится концептуальная обобщенная схема использования ветроэнергетического потенциала для решения насущных проблем Крыма (рис. 1).

Примерный укрупненный расчет вышеприведенной схемы использования ветроэлектроэнергии непромышленного качества, получаемой с помощью ветроэлектростанций, для условного варианта обособленного поселка на 5000 человек (см. рис. 1) показывает следующие результаты.

Если принять среднегодовую потребность в тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения на одного человека равной 2 кВт/ч в эквиваленте электроэнергии, общая годовая потребность в выработке последней составит 87600 МВт (315360 ГДж). Такое количество электроэнергии может быть сгенерировано ВЭС с установочной мощностью около 35 МВт и коэффициентом использования установочной мощности в пределах 0,3. Энергетически адекватное количество природного газа с учетом коэффициента полезного использования его теплового потенциала 0,4 составит около 17520 т (около 26935000 м^3). При условной стоимости газа 0,6 грн. за 1 м^3 затраты на потребление газа составят около 16,16 млн. грн./год ($2,02 млн.)

или 3232 грн. на человека. Поскольку в ветроэнергоустановке для производства непромышленной электроэнергии не нужен дорогой конвертор, то ее стоимость снизится почти в два раза.

В этом случае на ВЭС серийного отечественного производства установочной мощностью 33,3 МВт потребуется около $18,0 млн., которые могут окупиться за 6–7 лет с учетом почти двукратного прогнозного подорожания природного газа за эти 10 лет при стабильности условной себестоимости ветроэнергии. Кроме этого, использование ветроэнергии позволит только в данном варианте снизить годовые выбросы CO_2 в атмосферу в объеме 26,6 млн. м^3 или 48180 т, что адекватно экономии $3,4 млн. по Киотскому протоколу. При этом также на 89200 ГДж снижается количество неиспользуемой теплоты, сберегается почти 53,5 млн. м^3 кислорода и значительно повышается экологическая безопасность использования энергоресурса. Еще более значимый эффект достигается в сравнении с использованием антрацитового угля, для получения адекватной тепловой энергии которого потребуется 28,160 тыс. т в год при коэффициенте полезного использования его энергетического потенциала 0,4. При его условной усредненной рыночной стоимости в Крыму – 1500 грн./т затраты на его потребление составят 42,24 млн. грн. в год (8450 грн. на человека) или $5,28 млн. В этом случае окупаемость ветроэнергостанции сокращается до 3–4 лет, а с учетом неминуемого подорожания угля – до 2–3 лет. Кроме этого, снижаются годовые выбросы углекислого газа на 57,0 млн. м^3, или 103,25 тыс т. (адекватных экономии $7,3 млн./год по Киотскому протоколу), 189200 ГДж неиспользуемой теплоты и сберегаются 51,4 млн. м^3 кислорода.

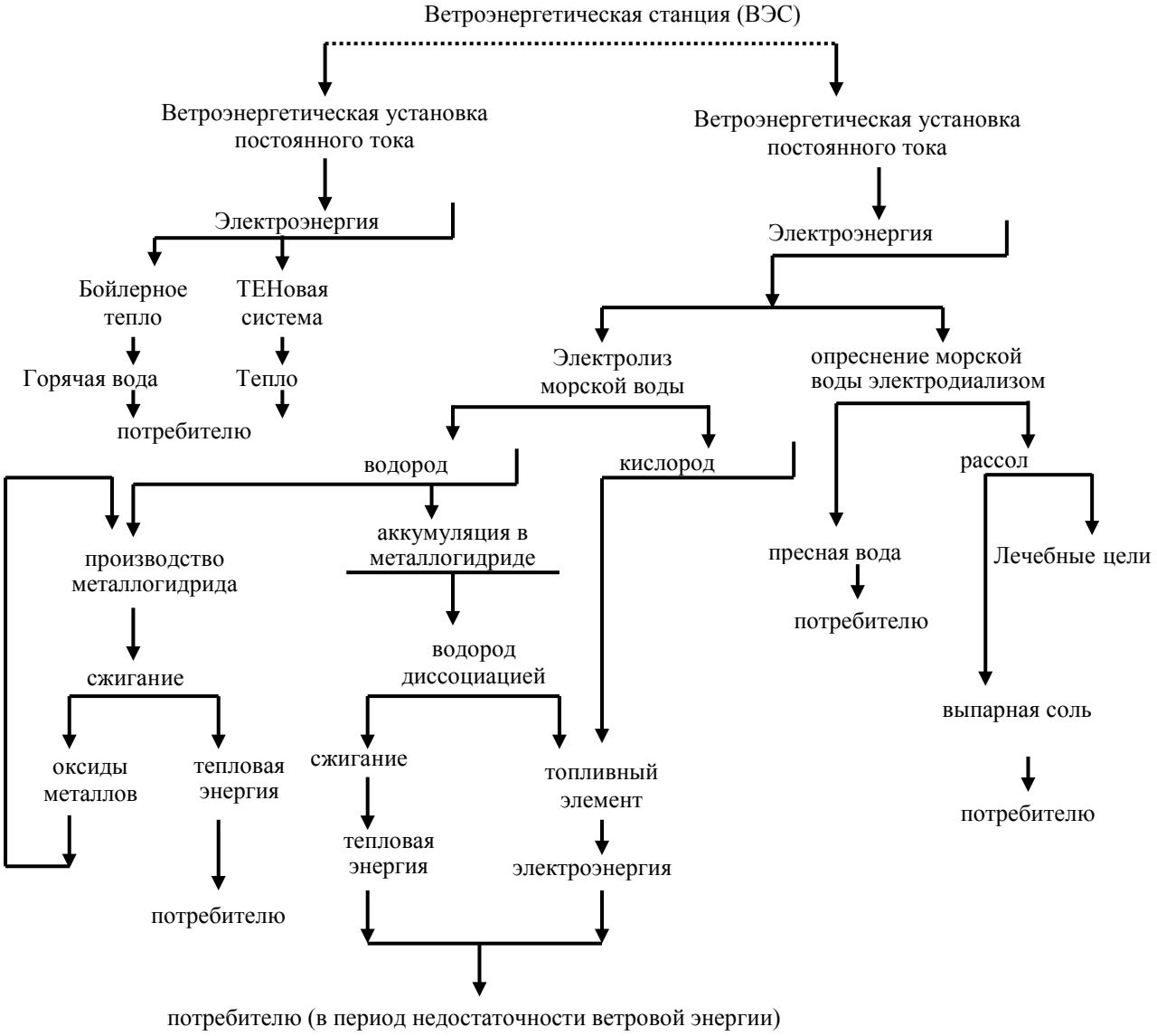

Рис. 1. Концептуальная структурная схема технологической системы энергообеспечения жизнедеятельности человека на основе использования ветроэнергетики непромышленного качества.

Выводы и рекомендации. Как следует из вышеизложенного материала, Крымский полуостров обладает значительным природным энергетическим потенциалом ветровой энергии, одним из перспективных направлений использования которого могут быть локальные и в значительной степени автономизированные технологические системы на основе использования генерируемой ими электроэнергии непромышленного качества.

Наиболее актуальными и перспективными направлениями использования непромышленной ветроэлектроэнергии могут стать:

- решение проблемы теплообеспечения и горячего водоснабжения небольших населенных пунктов в сельской местности, что позволит в значительной степени снять проблему газоснабжения для этих целей;
- решение проблемы качественного питьевого и технического водоснабжения с помощью электродиализных опреснителей, работающих на постоянном токе;
- развитие систем аккумуляции ветровой энергии путем получения экологически чистого энергоносителя – водорода – путем электролиза морской воды и его временного хранения в металлогидридной форме для использования в периоды отсутствия ветровой нагрузки.

Развитие этих направлений даст возможность значительно повысить экологическую устойчивость Крыма и качество жизни, как его населения, так и приезжающих отдыхающих.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Wind Energy Report 2009 // 9th World Wind Energy Conference & Exhibition Large-scale Integration of Wind Power. – Istanbul, Turkey, 15–17 June 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.wwec2010.com.
2. Перспективы ветроэнергетики в Крыму – Новости Крыма, 26 сен. 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : e-crimea.biz/info/news view101.html.
3. Израиль запустил крупную станцию опреснения морской воды. 17 мая 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : eco.rian.ru/nature/20100517/235241979.
4. MIGnews / Экономика / В Израиле открыт самый мощный в мире опреснитель [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.mignews.com/news/economics/world/.
5. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение : справочник / [Д. Ю. Гамбург, В. П. Семенов, Н. Ф. Дубовкин, Л. Н. Смирнова]. – М. : Химия, 1989. – 642 с.
6. Подзноев Г. П. Гидридные аккумуляторы водорода для автотранспортных и тепло-энергетических систем / Г. П. Подзноев, У. А. Абдулгазис // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков : «ХАИ», 2004. – С. 32–36.

УДК 656.13:551.511

Муровский С. П., Муровская А. С.

ВОЗДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ФЕОДОСИИ

В роботі проведена оцінка впливу автотранспорту на забруднення атмосферного повітря м. Феодосії. Проведений аналіз отриманих результатів показує недосконалість застосування існуючих методик розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в умовах розчлененого рельєфу.

Ключові слова: *автотранспорт, атмосферне повітря, Феодосія, розсіювання.*

В работе проведена оценка воздействия автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха г. Феодосии. Проведен анализ полученных результатов, показывающий несовершенство применения существующих методик по расчету рассеивания загрязняющих веществ в условиях расчлененного рельефа.

Ключевые слова: *автотранспорт, атмосферный воздух, Феодосия, рассеивание.*

The estimation of influence of motor transport is in-process conducted on contamination of atmospheric air Feodosiya. The analysis of the got results, showing imperfection of application of existent methods upon settlement of dispersion of contaminents in the conditions of the dismembered relief.

Key words: *motor transport, atmospheric air, Feodosiya, dispersion.*

Постановка проблемы. Воздействие человека на окружающую природную среду (ОПС) увеличивается по мере развития цивилизации, промышленности и транспорта. На сегодняшний день транспорт и сопутствующая его инфраструктура устрашающими темпами загрязняет воздух, почву и подземные воды. Атмосферный воздух – один из основных жизненно важных элементов ОПС. Для обеспечения экологической безопасности жизнедеятельности человека, а также предотвращения вредного влияния на окружающую природнуюсреду необходимо сохра-

нение благоприятного состояния атмосферного воздуха, его обновление и улучшение.

Цель данной **работы** – оценка воздействия автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха г. Феодосии.

Изложение основного материала. Феодосия расположена на границе восточной гряды Крымских гор и Керченской холмистой равнины. Главная гряда отступает вглубь полуострова, сочленения хребтов и гребней принимают хаотичный характер, долины (Арматлукская, Коктебельская и Баракольская) заходят далеко на север. На востоке представлен приморский лиманно-озерный и волнисторавнинный слабоконтрастный ландшафт. На протяжении последних 10 лет в городе отмечалось сокращение выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух от стационарных источников, что связано со сворачиванием многих промышленных производств, однако объем выбросов от передвижных источников за тот же период существенно вырос – 6866 т, или 92,6% от всех выбросов в атмосферу, вклад котельных и промышленности не превышает 7,4% (рис. 1) [1].

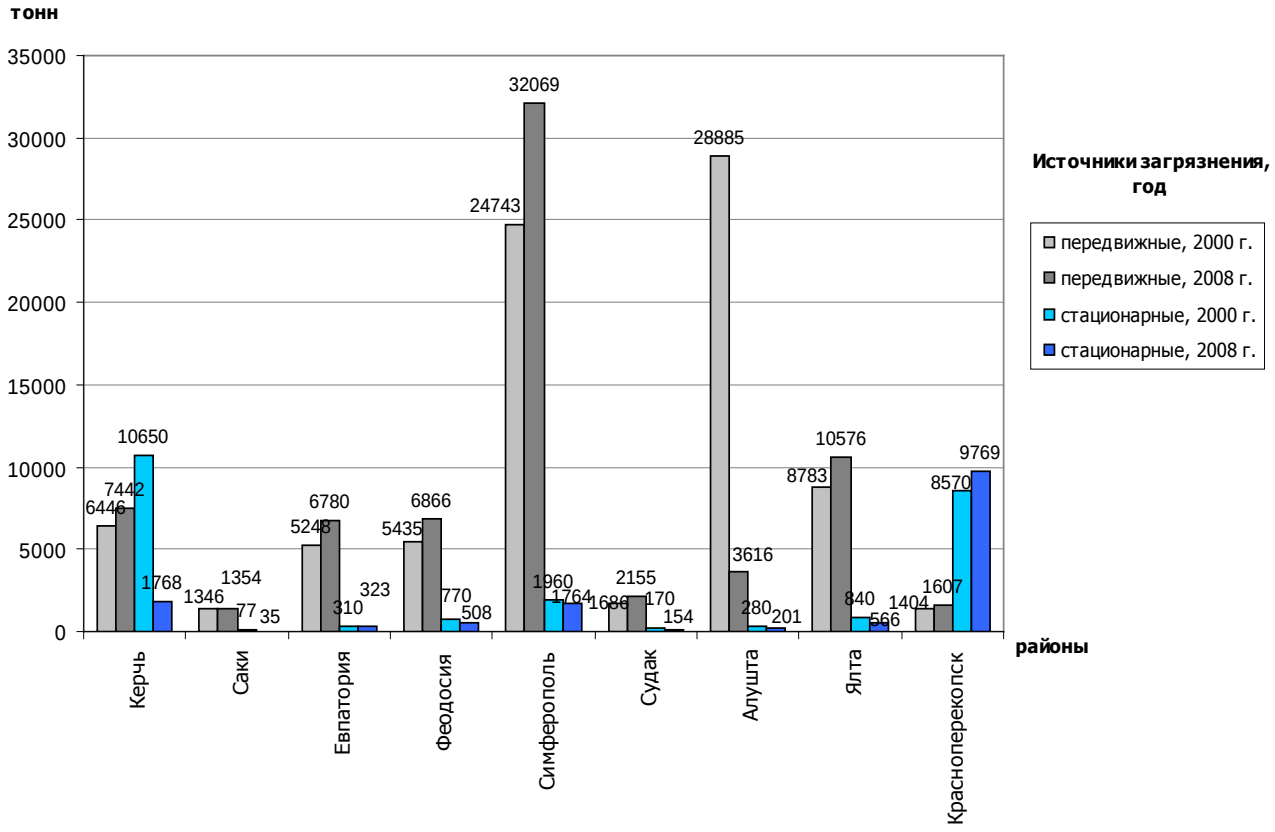

Рис. 1. Динамика выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников загрязнения по городам АР Крым.

По показателю загрязнения Феодосия занимает четвертую позицию в числе самых «загазованных» городов Крыма после Симферополя, Ялты и Керчи. Особо неблагополучная ситуация наблюдается вдоль транспортных магистралей, перегруженных транспортными потоками (Симферопольское и Керченское шоссе, улицы Федько, Свердлова, Куйбышева, Крымская, Чкалова, Челнокова).

Влияние автотранспорта на ОПС выражается, в основном, в выбросах в атмосферу токсикантов с отработанными газами двигателей внутреннего сгорания. В качестве основных загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух, чаще всего превышающих предельно допустимую концентрацию являются оксид углерода, диоксиды серы и азота, углеводороды, фенол, формальдегид, пары бензина, технических масел, мазута. Кроме газообразных загрязнителей выбрасывается большое количество сажи, тонко-истертой резины (от стирания резины колес об асфальтовое покрытие).

Авторами был проведен анализ транспортных потоков по количественному и качественному составу с целью экологической оценки атмосферного воздуха вдоль основных автомобильных магистралей города.

Интенсивность движения на городских автомагистралях увеличивалась с каждым годом, и на 2008 г. в час «пик» составляла 1000 авт./ч.

Среднестатистические данные о структуре и динамике автотранспортных потоков в 2008 и 2010 годах представлены в табл. 1 и 2, а также на рис. 2 и 3.

Таблица 1.

Интенсивность транспортных потоков по улицам г. Феодосия (по результатам наблюдений в 2008 г).

№ п/п	Точки наблюдения	Интенсивность, авт./час
1	ул. Горького – ул. Желябова	266
2	ул. Федько – ул. Ген. Горбачева	786
3	ул. Куйбышева – ул. Украинская	974
6	ул. Чкалова	520
7	ул. Федько	485
8	Кеченское шоссе	864
9	Симферопольское шоссе – Керченское шоссе	898

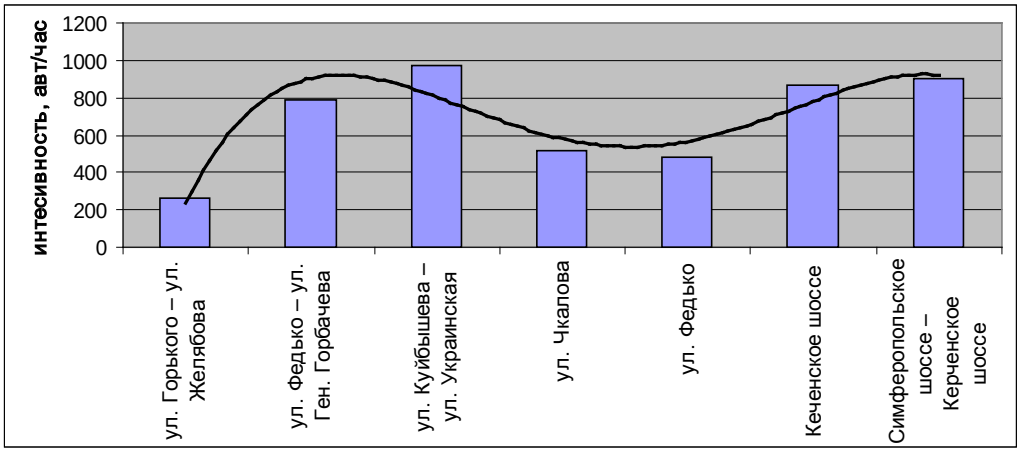

Рис. 2. Распределение транспортных потоков в г. Феодосия в 2008 г.

Таблица 2.

Интенсивность транспортных потоков по улицам г. Феодосия (по результатам наблюдений, сентябрь 2010 г).

№ п/п	Точки наблюдения	Интенсивность, авт./час
1	ул. Горького – ул. Желябова	332
2	ул. Федько – ул. Ген. Горбачева	977
3	ул. Куйбышева – ул. Украинская	1203
6	ул. Чкалова	680
7	ул. Федько	558
8	Кеченское шоссе	1013
9	Симферопольское шоссе – Керченское шоссе	1072

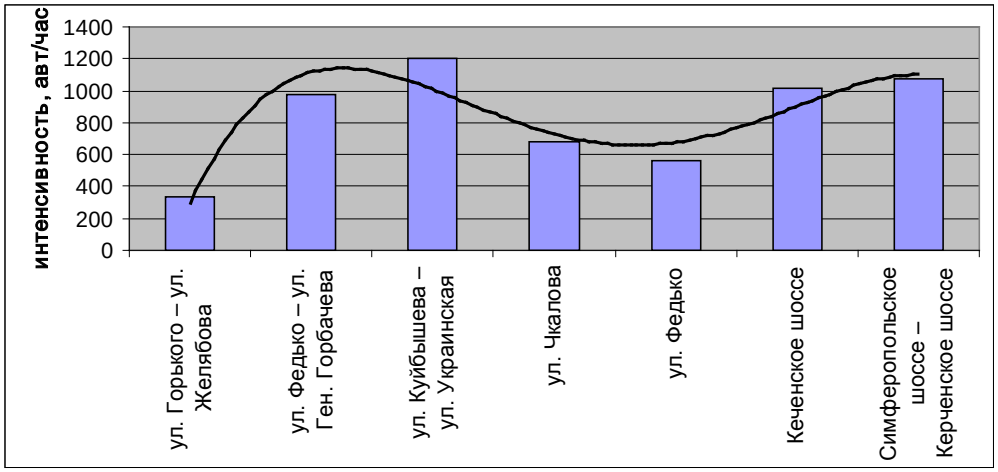

Рис. 3. Распределение транспортных потоков в г. Феодосия в 2010 г.

Интенсивность транспортных потоков измерялась в течение дня согласно методике [2]. Установленное время замера интенсивности движения – это время пиковых нагрузок на автотранспортную сеть. В 2010 г. максимальное количество автомобилей на нагруженных магистралях Феодосии составляло 1200 авт./ч. Следует заметить, что интенсивность транспортных потоков изменяется не только в пространстве, но и во времени. В течение суток наибольшее количество автомобилей приходится на часы «пик». Практически все имеющиеся методики оценки воздействия автотранспорта на состояние окружающей среды ориентированы на измерения именно в часы внутрисуточных пиковых нагрузок.

По наблюдениям наиболее нагруженными магистралями города являются Керченское и Симферопольское шоссе; пересечение ул. Федько – Ген. Горбачева; ул. Куйбышева – ул. Украинская; ул. Федько.

Обработка результатов наблюдений за интенсивностью транспортных потоков позволила выявить закономерность пространственного распределения потоков по дням недели. Наибольшая интенсивность наблюдается к середине недели практически по всем магистралям города, особенно это характерно для автотрасс центра города, Симферопольского и Керченского шоссе.

Результаты исследований представлены на рис. 4 и 5.

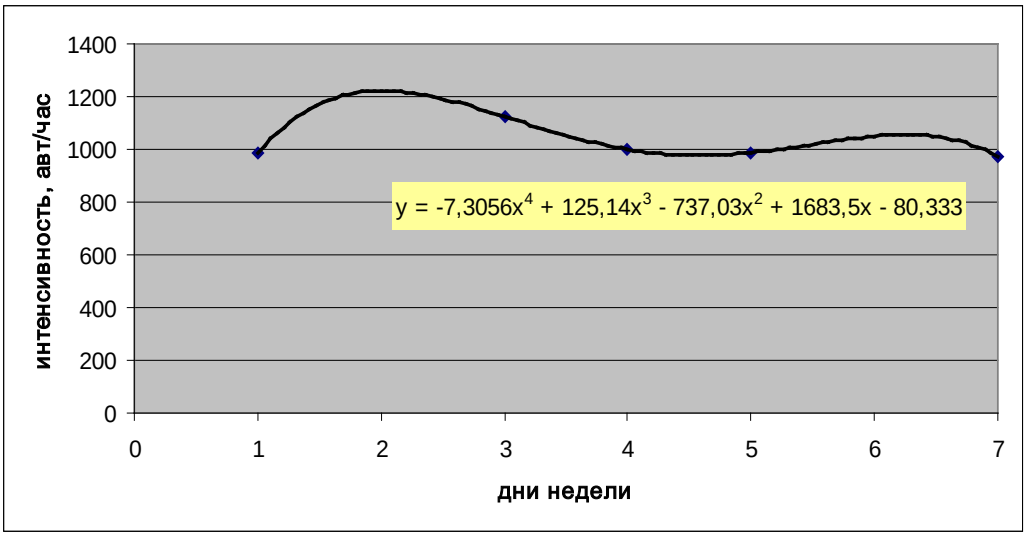

Рис. 4. Анализ интенсивности транспортных потоков по Керченскому шоссе в сентябре–октябре 2010 г.

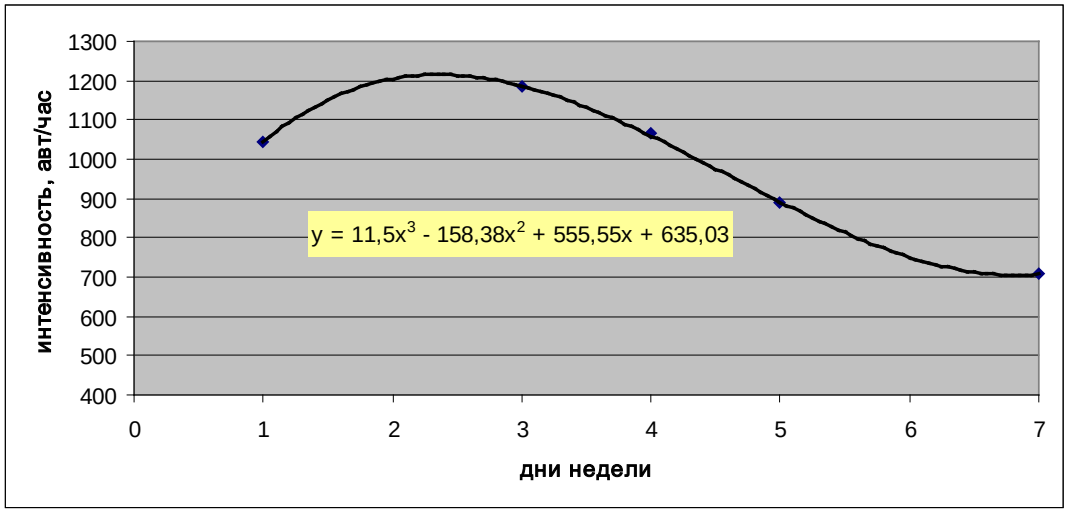

Рис. 5. Анализ интенсивности транспортных потоков по ул. Федько – ул. Ген. Горбачева в сентябре–октябре 2010 г.

Расчет концентрации CO и NO_x на основных автомагистралях города. Оценка количества ЗВ, выбрасываемых автотранспортом, проводится по методике, Министерство охраны природной среды и ядерной безопасности [3]. В расчете учитываются удельные расходы топлива *B* (кг/км) для каждой группы автомобилей.

Расчет массы выбрасываемого ЗВ (*M*) за одну секунду на автомагистрали длиной 1 км проводится по формуле (1) [3]:

$$M = \frac{1}{3600}\sum^{n} B \times m \times N \times П, \qquad (1)$$

где M – масса выброшенного за расчетный период (1 час) вещества (г);
B – расход топлива (кг/км);
m – удельный выброс вредного вещества автомобилем данной группы (г/кг) для городских условий;
N – количество автомобилей;
$П$ – коэффициент технического состояния автомобиля.

Автомобили, оснащенные карбюраторными двигателями внутреннего сгорания, являются основными вкладчиками в выбросы оксидов углерода, а автомобили с дизельными двигателями – оксидов азота. С учетом качественного состава транспортных потоков были рассчитаны зоны влияния выбросов CO и NO_x вдоль выделенных автомобильных трасс города.

Результаты расчета с применением программного комплекса «ЭОЛ+» [4] представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Параметры зоны влияния выбросов NO_x и CO по типу автодорог.

Типы автодорог	Наименование улиц	Интенсивность потоков, вт/час		Значения удельных выбросов, г/км·с		NO_x		CO	
		2008 г.	2010 г.	NO_x	CO	*n* ПДК	СЗЗ*, м	*n* ПДК	СЗЗ*, м
Транзитные	Симферопольское шоссе	898	–	0,77	6,51	2,26	69	0,91	25
	Симферопольское шоссе	–	1072	0,86	7,68	2,80	79	1,72	31
	Керченское шоссе	864	–	0,67	6,06	2,17	66	1,33	24
	Керченское шоссе		1013	0,87	7,28	2,55	77	1,58	28
	ул. Федько	485	–	0,31	3,51	1,22	37	0,75	13
	ул. Федько	–	558	0,37	3,76	1,37	42	0,86	15
Межквартальные	ул. Федько – ул. Ген. Горбачева	786	–	0,68	5,78	1,98	59	1,25	23
	ул. Федько – ул. Ген. Горбачева	–	977	0,89	7,69	2,70	81	1,08	29
	ул. Куйбышева – ул. Украинская	974	–	0,78	6,55	2,44	73	1,48	27
	ул. Куйбышева – ул. Украинская	–	1203	0,93	8,27	3,03	88	1,85	33
Внутриквартальные	ул. Горького – ул. Желябова	266	–	0,21	1,57	0,60	18	0,37	7
	ул. Горького – ул. Желябова	–	332	0,29	2,39	0,82	25	0,52	10
	ул. Чкалова	520	–	0,39	3,24	1,22	37	0,68	15
	ул. Чкалова	–	680	0,49	4,53	1,72	51	0,96	21

С целью прогноза загрязнения атмосферного воздуха от линейного источника (автотранспорта) была использована формула Джонсона [5] для расчета концентрации ЗВ в приземном слое атмосферы, где впервые были учтены скорость ветра и конфигурация улиц, рассматриваемых как некий каньон.

С учетом расположения магистралей в городской черте были рассчитаны *n*·ПДК по CO с учетом количественного и качественного состава транспортного потока на выделенных направлениях по методикам [3; 6]. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Расчет *n*·ПДК по CO в зависимости от интенсивности транспортного потока.

Год исследования	Типы автодорог	Магистраль	Интенсивность, авт./час	*n*·ПДК CO, расчетное по [3]	*n*·ПДК CO, расчетное по [6]
2008 г.	Транзитные	Симферопольское шоссе	898	1,50	2,87
		Керченское шоссе	864	1,33	2,76
		ул. Федько	485	0,75	1,55
	Межквартальные	ул. Федько – ул. Ген. Горбачева	786	1,23	2,43
		ул. Куйбышева – ул. Украинская	974	1,44	3,12
	Внутриквартальные	ул. Горького – ул. Желябова	266	0,63	0,81
		ул. Чкалова	520	0,83	1,68

2010 г.	**Транзитные**	Симферопольское шоссе	1072	1,62	3,47
		Керченское шоссе	1013	1,58	3,25
		ул. Федько	558	0,87	1,82
	Межквартальные	ул. Федько – ул. Ген. Горбачева	977	1,88	3,22
		ул. Куйбышева – ул. Украинская	1203	1,85	3,84
	Внутриквартальные	ул. Горького – ул. Желябова	332	0,50	1,00
		ул. Чкалова	680	1,04	2,21

По данным табл. 4 построена графическая зависимость *n*·ПДК по *CO* на обочине от интенсивности осредненного по качественному составу автотранспортного потока на выделенных автомагистралях города (рис. 6). Полученная графическая зависимость распределения концентраций по *CO* от интенсивности транспортных потоков показывает расхождение рассчитанных данных по методикам [3] и [6]. Полученные вариации значений *n*·ПДК значительны, следовательно, для нормирования выбросов от линейных источников необходимо учитывать дополнительные показатели, кроме скорости ветра и количества выброса в источнике.

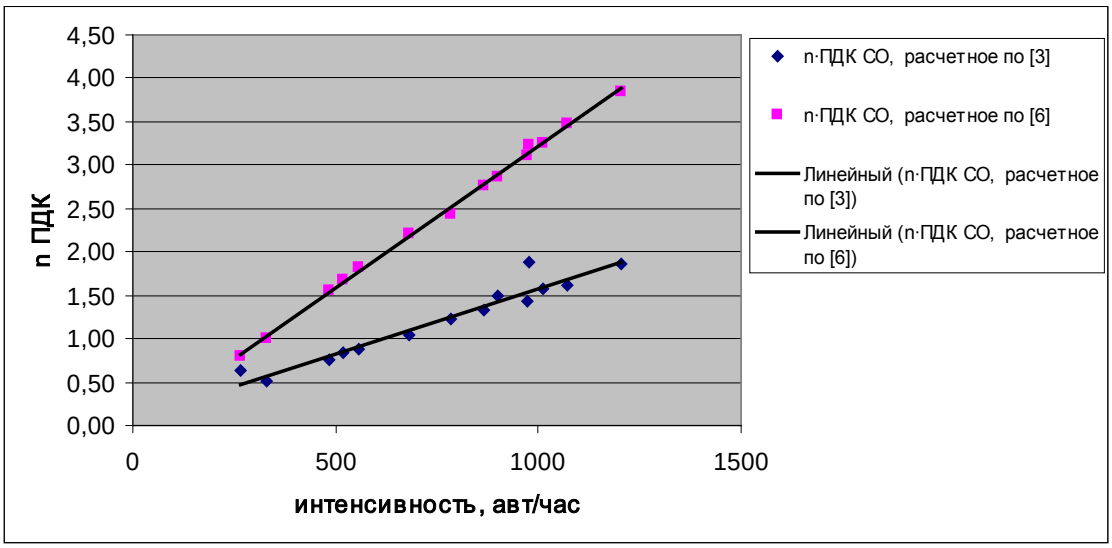

Рис. 6. Графическая зависимость расчетных значений *n*·ПДК по *CO* от интенсивности транспортного потока.

Авторами был проведен расчет по определению зоны влияния *CO* и NO_x вдоль автомагистралей с учетом количественного и качественного состава транспортных потоков в г. Феодосия. Результаты расчета в виде графической зависимости представлены на рис. 7.

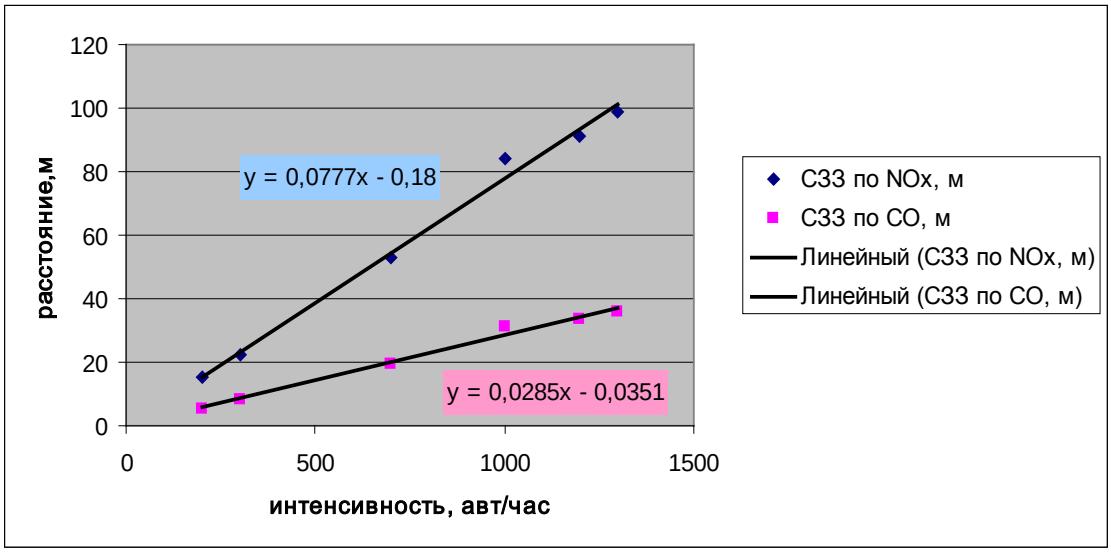

Рис. 7. Графическая зависимость зоны рассеивания *CO* и NO_x от интенсивности транспортного потока.

Результаты расчета свидетельствуют о том, что СЗЗ вдоль магистралей зависит от их функционального назначения и интенсивности потока. Для магистралей с интенсивностью 500–800 авт./ч – не менее 40–60 м, при интенсивности 1000–1200 авт./ч – 80–100 м.

Применение существующих математических моделей без учета конкретных метеорологических условий, рельефа местности и параметров примеси приводит к значительному искажению результатов расчета и не отвечает предъявляемым требованиям к качеству прогнозной информации. Кроме того, современный автомобильный транспорт является более экологически чистым и характеризуется меньшим расходом топлива. Следовательно, увеличение количества автотранспорта на дорогах города не прямо пропорционально выбросу загрязняющих веществ, что также требует обновления существующих методик по расчету выбросов от передвижных источников.

Выводы.

1. Для улучшения экологического состояния в г. Феодосия с целью снижения антропогенного воздействия автотранспорта необходимо провести совершенствование сети движения маршрутного транспорта, схем движения, в том числе по критической пропускной способности дорог.

2. Общепринятые расчеты границ санитарно-защитных зон, максимальной концентрации ЗВ, рассеивание примесей от автотранспорта искажают результаты распространения выбросов в условиях расчлененного рельефа.

3. Рассеивание выбросов газообразных веществ от автотранспорта в условиях расчлененного рельефа должны учитывать микроклиматические условия: особенности рельефа, антропогенный ландшафт, градиент температуры атмосферного воздуха и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние автотранспорта на экологическую ситуацию АРК : стат. сборник. – Симферополь : Госкомстат Украины, 2009. – 14 с.
2. Теоретические основы и практические рекомендации по определению интенсивности и состава движения на сети дорог общего пользования Первого УПРДОРА / УПРДОР. – Симферополь : Минтранс, 1983. – 18 с.
3. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта / Министерство охраны природной среды и ядерной безопасности. – К., 1995. – 23 с.
4. Автоматизированная система расчета загрязнения атмосферы «ЭОЛ+». Версия 5.0 : руководство пользователя. – К. : АО УКРНТЭК, 2000. – 25 с.
5. Муровский С. П. Особенности загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта в условиях горного рельефа / С. П. Муровский // Строительство и техногенная безопасность. – 2005. – № 11. – С. 149–156.
6. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы : учебник для студ. высш. учеб. завед. / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 273 с.

УДК 621.311.243

Бекиров Э. А.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ – СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ – НА НАГРУЗКУ ПРИ НАЛИЧИИ ВОЗМУЩЕНИЙ И НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ

Розглядаються з'єднання фотоперетворювачів – сонячних батарей – у складанні для отримання необхідних енергетичних параметрів. За наявності обурень проведений теоретичний аналіз стійкості системи «фотобатарея з послідовно-паралельним з'єднання фотоперетворювачів – навантаження». Аналіз стійкості зводиться до аналізу властивостей коріння поліномів високого порядку, позитивні дійсні частини яких відповідають нестійким режимам. Для пониження порядку поліномів доцільно використовувати асимптотичні методи з сумісним аналізом характеру зміни структур систем рівнянь при їх розкладанні по малих параметрах.

Ключові слова: *фотоелектричний перетворювач, сонячна батарея, постійний струм, обурювання, нестійкість, характеристичне рівняння.*

Рассматриваются соединения фотопреобразователей – солнечных батарей – в сборки для получения требуемых энергетических параметров. При наличии возмущений проведен теоретический анализ устойчивости системы «фотобатарея с последовательно-параллельным соединением фотопреобразователей – нагрузка». Анализ устойчивости сводится к анализу свойств корней полиномов высокого порядка, положительные действительные части которых соответствуют неустойчивым режимам. Для понижения порядка полиномов целесообразно использовать асимптотические методы с совместным анализом характера изменения структур систем уравнений при их разложении по малым параметрам.

Ключевые слова: *фотоэлектрический преобразователь, солнечная батарея, постоянный ток, возмещения, неустойчивость, характеристическое уравнение.*

Considered compound solar cells-solar cells to build to obtain the required energy parameters. In the presence of perturbation theoretical analysis of system stability «fotobattery with a series-parallel connection of solar cells – the load». Analysis of stability reduces to analyzing the properties of the roots of polynomials of high order, positive real parts which correspond to unstable regimes. To lower the order of polynomials is advisable to use asymptotic methods to the joint analysis of the change in the structures of systems of equations with their expansion in small parameters.

Key words: *photoelectric converter, solar battery, DC, recovery, instability, the characteristic equation.*

Постановка проблемы. При работе фотоэлектрических преобразователей – солнечных батарей (СБ), являющихся составной частью солнечных электростанций (СЭС) – в режиме генерации электрической энергии в промышленную сеть составляющие СЭС солнечные батареи включают параллельно или последовательно в зависимости от того, какое значение тока или напряжения необходимо получить. СБ представляют собой генераторы постоянного тока. Вырабатываемая ими энергия постоянного тока подается на преобразователи постоянного тока в переменный (инверторы), которые на данном этапе можно характеризовать нагрузками солнечных батарей.

Анализ литературы. Исследования по вопросам электроэнергетических систем [1–3] проводятся до настоящего времени. Наиболее перспективным направлением решения данных вопросов является исследование работы фотопреобразователей – солнечных батарей.

Цель нашей **статьи** – проанализировать работу фотопреобразователей – солнечных батарей – при наличии возмущений и неустойчивостей.

Изложение основного материала. Солнечные батареи, имеющие по техническим данным одинаковые параметры, соединяются параллельно и последовательно.

При параллельной работе генераторов необходимо соблюдение следующих условий:

а) при включении СБ на параллельную работу с другими не должно возникать значительных толчков тока, способных вызвать нарушения в работе потребителей;

б) СБ должны нагружаться, по возможности, равномерно, пропорционально их номинальной мощности.

При нарушении постоянного условия полное использование мощности всех СБ невозможно: когда одна СБ нагружается полностью, другие недогружены, а дальнейшее увеличение общей нагрузки невозможно, так как отдельные СБ будут перегружаться. Кроме того, при равномерной нагрузке СБ суммарные потери всех СБ могут быть больше, а общий к.п.д. – меньше, чем при равномерной нагрузке.

На рис. 1 представлена эквивалентная схема замещения фотоэлемента, на рис. 2 – вольтамперная характеристика солнечного фотоэлемента (СЭ).

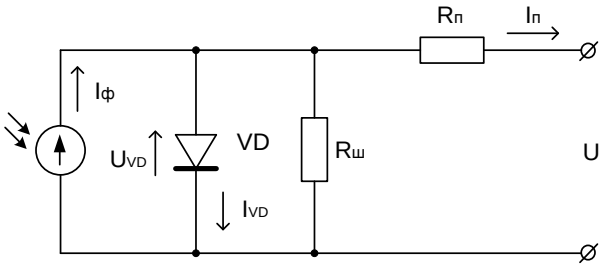

Рис. 1. Эквивалентная схема СЭ.

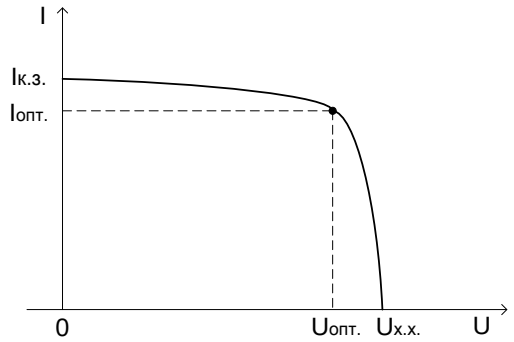

Рис. 2. Вольтамперная характеристика солнечного фотоэлемента.

Запишем значения напряжений и токов СБ, состоящего из СЭ:

$$U_{СБ} = E - I_ф \times R_э, \qquad (1)$$

где $E = U_{xx}$.

$$I_н = I_ф - I_{о.н.}\left[e^{\frac{e(U+I_н R_п)}{AкT}} - 1\right] - \frac{U}{R_ш}, \qquad (2)$$

где $A = 1 \div 5$;

$I_{о.н.}$ – обратный ток насыщения;

$I_ф$ – фототок;

$R_п$ – последовательное сопротивление СЭ;

$R_ш$ – шунтовое сопротивление СЭ;

$U + I_н R_п$ – диодное напряжение, падающее на самом СЭ.

При работе СЭ на внешнюю нагрузку:

$$U + I_н R_п > U_{вых.} \text{ и } U_н = I_н R_{внешн.\ нагр.}.$$

Для обеспечения требуемого напряжения на нагрузки СБ, которые образуют сборку, включаются последовательно (рис. 3).

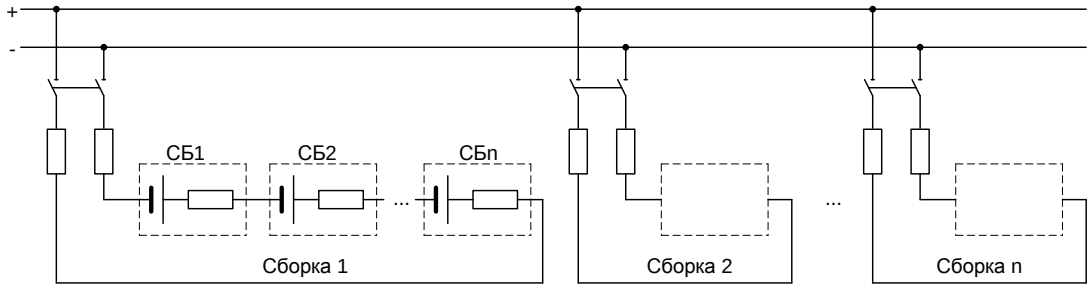

Рис. 3. Схема параллельного включения сборок солнечных батарей на нагрузку в СЭС.

При построении солнечной электростанции (СЭС) включено *n* сборок. Для получения необходимой мощности эти сборки соединяются последовательно, чтобы получить мощность сборки $P_{\text{сборки}}$:

$$P_{\text{сборки}} = U_{\text{СБ сборки}} \times I_{\text{СБ сборки}}.$$

Напряжение на выходе сборки:

$$U_{\text{СБ}} = U_{\text{СБ1}} + U_{\text{СБ2}} + \ldots + U_{\text{СБ}n} = (E_1 + E_2 + \ldots + E_n) - (I_{\text{н1}} \cdot R_{\text{э1}} + I_{\text{н2}} \cdot R_{\text{э2}} + \ldots + I_{\text{нп}} \cdot R_{\text{эп}}). \quad (3)$$

Таким образом, для всей системы, являющейся нагрузкой сборки СБ, питающей инвертор, напряжение постоянного тока определяется выражением:

$$U_{\text{СБ}} = \sum_{i=1}^{\kappa} U_{\text{СБ}i} - \sum_{i=1}^{\kappa} I_i \cdot R_{\text{э}i}. \quad (4)$$

В данном выражении величина $U_{\text{СБ}}$, даже при небольшом отличии величин $U_{\text{СБ1}}$, $U_{\text{СБ2}}$,…, $U_{\text{СБ}n}$ суммарное значение для однотипных СБ не изменяется в широких пределах. Вторая составляющая $\sum_{i=1}^{\kappa} I_{\text{н}i} R_{\text{э}i}$ может иметь некоторые отличия технических параметров: сопротивлений, емкостей, индуктивностей и вентиля, входящих в СЭ. Эта величина может иметь составляющую, изменяющуюся с некоторой частотой, причем частота для каждого СЭ может быть также переменной:

$$U_{\text{вых.СЭ}} = U + j\omega U. \quad (5)$$

Наличие переменных составляющих может приводить к возникновению модулированных колебаний в шинах, поступающих на вход инвертора:

$$R_{\text{э}} = \frac{R_{VD} \cdot R_{\text{ш}}}{R_{VD} + R_{\text{ш}}} + R_{\text{п}} = \frac{R_{VD} \cdot R_{\text{ш}} + R_{VD} \cdot R_{\text{п}} + R_{\text{ш}} \cdot R_{\text{п}}}{R_{VD} + R_{\text{ш}}}. \quad (6)$$

При работе СБ всегда возникают определенные возмущения режима работы (кратковременные колебания напряжения сети, кратковременные изменения выходных параметров СБ из-за изменения потока солнечной энергии и т. д.). Такие возмущения чаще всего бывают небольшими и кратковременными, однако при этом происходят небольшие и кратковременные нарушения установившегося режима.

Рассмотрим процессы развития неустойчивостей, возникающих в преобразователях, для анализа пробойных ситуаций и надежности системы электропитания в целом.

Малые возмущения и характеристическое уравнение для частоты возмущений в группе последовательно соединенных фотопреобразователей (рис. 4) получим при рассмотрении системы уравнений, составленных на основе законов Кирхгофа:

$$\begin{aligned}
&U_{C1} = U_{\text{ф}1};\ U_{C2} = U_{\text{ф}2};\ \ldots U_{Cn} = U_{\text{ф}n};\\
&U_{\text{ф}1} + U_{L1} = U_{H1};\ U_{\text{ф}2} + U_{L2} = U_{H2};\\
&\ldots U_{\text{ф}n} + U_{Ln} = U_{Hn};\\
&U_{H1} + U_{H2} + \ldots + U_{Hn} = U_H\\
&i_{C1} + i_{\text{ф}1} = i_{L1} = i_H;\ i_{C2} + i_{\text{ф}2} = i_{L2} = i_H;\\
&\ldots i_{Cn} + i_{\text{ф}n} = i_{Ln} = i_H \qquad (7)\\
&U_{L1} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = L_1 \frac{di_H}{dt};\ U_{L2} = L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = L_2 \frac{di_H}{dt};\\
&\ldots;\ U_{Ln} = L_n \frac{di_{Ln}}{dt};\\
&i_{C1} = C_1 \frac{dU_{C1}}{dt} = C_1 \frac{dU_{H1}}{dt};\ i_{C2} = C_2 \frac{dU_{C2}}{dt} = C_2 \frac{dU_{H2}}{dt};\ \ldots\\
&i_{Cn} = C_n \frac{dU_{Cn}}{dt} = C_n \frac{dU_{Hn}}{dt}
\end{aligned}$$

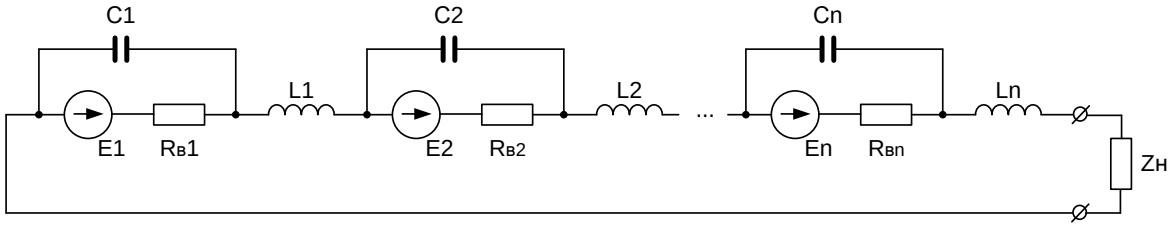

Рис. 4. Эквивалентная схема замещения группы последовательно соединенных фотопреобразователей.

В соответствии с системой уравнений (7) возмущения δU_{H1}; δU_{H2} … δU_{Hn}; δU_H; δi_H связаны соотношениями:

$$\delta U_{H1} = \frac{M_{12}}{M_{11}}\delta i_H; \delta U_{H2} = \frac{M_{22}}{M_{21}}\delta i_H; \delta U_{Hn} = \frac{M_{n2}}{M_{n1}}\delta i_H;$$

$$\delta U_{H1} + \delta U_{H2} + \ldots + \delta U_{Hn} = \delta i_H, \qquad (8)$$

где номиналы $M_{11}(\omega)$, $M_{12}(\omega)$,…,$M_{1n}(\omega)$, $M_{21}(\omega)$, $M_{22}(\omega)$,…,$M_{2n}(\omega)$ могут быть определены с помощью следующих выражений, которые позволяют произвести анализ связи малых возмущений переменных δ, пропорциональных exp(ωt), где t – время, а ω – частота возмущений.

С учетом вышеизложенного приходим к следующей системе уравнений:

$$\delta U_H = \frac{M_{12}(\omega)}{M_{11}(\omega)}\delta i_{L1}; \delta U_H = \frac{M_{22}(\omega)}{M_{21}(\omega)}\delta i_{L2}; \ldots; \delta U_H = \frac{M_{2n}(\omega)}{M_{1n}(\omega)}\delta i_{Ln}$$

$$M_{11}(\omega) = 1 + q_1 c_1 \omega; M_{12}(\omega) = q_1(1 + L_1 c_1 \omega^2);$$

$$M_{21}(\omega) = 1 + q_2 c_2 \omega; M_{22}(\omega) = q_2(1 + L_2 c_2 \omega^2);$$

$$M_{1n}(\omega) = 1 + q_n c_n \omega; M_{2n}(\omega) = q_n(1 + L_n c_n \omega^2); \qquad (9)$$

$$q_1 = \frac{\text{в}_1}{(1 - C_1 U_{\text{ф}10})^2}; q_2 = \frac{\text{в}_2}{(1 - C_2 U_{\text{ф}20})^2};$$

$$\ldots; q_n = \frac{\text{в}_n}{(1 - C_n U_{\text{ф}n0})^2};$$

$q_1 < 0$; $q_2 < 0$;…; $q_n < 0$,

где индексом «0» в $U_{\Phi 10}$, $U_{\Phi 20}$,…,$U_{\Phi n0}$ обозначены параметры некоторого начального или промежуточного состояния; в M_{11}, M_{121},…,M_{1n}, M_{21}, M_{22},…M_{2n} первый индекс указывает на номер фотопреобразователя, а второй – на порядок полинома по ω.

После исключения из (9) промежуточных переменных δ_{L1}, δ_{L2}, … δ_{Ln} приходим к следующей связи между возмущениями напряжения на нагрузке δU_H и тока нагрузки δi_H со стороны источника:

$$\delta U_H = \frac{P_4(\omega)}{S_3(\omega)}\delta i_H; P_4(\omega) = M_{12}(\omega)\cdot M_{22}(\omega)\cdot \ldots \cdot M_{2n}(\omega),$$

$$S_3(\omega) = M_{11}(\omega)\cdot M_{21}(\omega)\cdot \ldots \cdot M_{1n}(\omega) + M_{12}(\omega)\cdot M_{22}(\omega)\cdot \ldots \cdot M_{2n}(\omega), \qquad (10)$$

где $P_4(\omega)$ – полином четвертого порядка по ω, равный произведению полиномов второго порядка по ω;

$S_3(\omega)$ – полином третьего порядка по ω.

В случае одинаковых характеристик фотопреобразователей $M_{11} = M_{12} = \ldots = M_{1n}$; $M_{21} = M_{22} = \ldots = M_{2n}$ выражения формулы (10) упрощаются с понижением порядка полиномов $P_4(\omega)$, $S_3(\omega)$ и принимают вид:

$$\delta U_H = \frac{P_2(\omega)}{2S_1(\omega)}\delta i_H; P_2(\omega) = M_{12}(\omega), S_1(\omega) = M_{11}(\omega), \qquad (11)$$

где $P_2(\omega)$ – полином второго порядка по ω;

$S_1(\omega)$ – полином первого порядка по ω.

Приведенные выражения (11) могут быть использованы непосредственно для анализа в двух предельных случаях, соответствующих тем ситуациям, когда процессы в источнике питания не взаимосвязаны с процессами в нагрузке: а – режим короткого замыкания, б – режим холостого хода.

Когда выполняется условие $\delta U_H = 0$ (режим короткого замыкания), должны выполняться условия:

$$P_4(\omega) = 0 \Rightarrow M_{12}(\omega)\cdot M_{22}(\omega)\cdot \ldots \cdot M_{2n}(\omega) = 0 \qquad (12)$$

для фотопреобразователей с различными характеристиками и

$$P_2(\omega) = 0 \Rightarrow M_{12}(\omega) = 0 \qquad (13)$$

для фотопреобразователей с одинаковыми характеристиками.

В случае холостого хода, когда выполняется условие $\delta i_H = 0$, характеристические уравнения для частоты возмущений ω принимают вид:

$$S_3(\omega) = 0 \Rightarrow M_{11}(\omega)\cdot M_{22}(\omega)\cdot \ldots \cdot M_{nn}(\omega) + M_{12}(\omega)\cdot M_{21}(\omega)\cdot \ldots \cdot M_{n1}(\omega) = 0 \qquad (14)$$

для случая фотопреобразователей с различными характеристиками и

$$S_2(\omega) = 0 \Rightarrow M_{11}(\omega) = 0 \qquad (15)$$

для случая фотопреобразователей с одинаковыми характеристиками.

В общем случае для получения характеристического уравнения для ω, необходимого для анализа устойчивости системы, необходимо уравнение (10) замкнуть связью между возмущениями напряжения на нагрузке δU_H и током нагрузки δi_H, которую для большого диапазона нагрузок можно представить в виде отношения двух полиномов T_m, Q_n соответственно порядка m, n

$$\delta U_H = \frac{T_m}{Q_n}\delta i_H, \qquad (16)$$

исключая из (10), (16) δU_H или δi_H, приходим к характеристическому уравнению вида:

$$P_4(\omega)\cdot Q_n(\omega) - S_3(\omega)\cdot T_m(\omega) = 0, \qquad (17)$$

порядок которого, а следовательно, и число независимых корней определяются максимальными значениями $m + 3$, $n + 4$.

Из выражения (10) окончательно приходим к следующей связи между возмущениями напряжения нагрузки δU_H и тока нагрузки δi_H со стороны источника питания:

$$\delta U_H = \frac{S_3(\omega)}{P_2(\omega)}\delta i_H; P_2(\omega) = M_{11}(\omega)\cdot M_{21}(\omega)\cdot \ldots \cdot M_{n1}(\omega), \qquad (18)$$

Для идентичных фотопреобразователей (18) преобразуется к виду:

$$\delta U_H = \frac{2M_{12}(\omega)}{M_{11}(\omega)}\delta i_H, \qquad (19)$$

что коррелирует с выражением (11) с точностью до коэффициента.

В общем случае при соединении последовательной группы фотопреобразователей с нагрузкой, для которой выполняется соотношение (18), характеристическое уравнение для частоты возмущений ω имеет структуру:

$$S_1(\omega)\times Q_n(\omega) - P_2(\omega)\times T_m(\omega) = 0, \qquad (20)$$

порядок которой по ω, по крайне мере, на единицу меньше порядка уравнения (17).

Для частных предельных случаев (режимов короткого замыкания – (а) и холостого хода – (б)) выражение (18) трансформируется к виду:

$$S_3(\omega) = 0 \Rightarrow M_{11}(\omega)\cdot M_{22}(\omega)\cdot ...\cdot M_{nn}(\omega) + M_{12}(\omega)\cdot M_{21}(\omega) = 0$$

$$P_2(\omega) = 0 \Rightarrow M_{12}(\omega) = 0, \qquad (21)$$

причем характеристическое уравнение для режима холостого хода имеет одинаковую структуру как при параллельном, так и при последовательном (21) соединении фотопреобразователей.

Выводы.

Анализ устойчивости сводится к анализу свойств корней полиномов высокого порядка вида (17), (18), положительные действительные части которых соответствуют неустойчивым режимам, и может быть выполнен известными методами.

Для понижения порядка полиномов (17), (18) целесообразно использовать асимптотические методы с совместным анализом характера изменения структур исходных систем уравнений (7) при их разложении по малым параметрам, обусловленным малостью емкостных и индуктивных сопротивлений фотопреобразователей по сравнению с их внутренними сопротивлениями.

Аналогичная рассмотренной выше схема анализа возмущений и их устойчивости может быть использована для комбинированных источников электропитания типа «фотопреобразователь – электрический аккумулятор», «фотопреобразователь – топливный элемент».

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы теории цепей / [Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов]. – М. : Энергия, 1975. – 752 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1973. – 752 с.
3. Электроэнергетические системы / [под ред. В. А. Веникова]. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.

УДК614.89:613.647

Серверієва В. І., Одінцов О. М.

НЕОБХІДНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЛЮДИНИ ВІД ПОРАЗКИ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

У даній статті розглянуто і проаналізовано стан виробничого електротравматизму в сучасних умовах, внаслідок поразки електричним струмом. Проведена оцінка ефективності існуючих, в основному, вітчизняних методів і засобів індивідуального захисту персоналу.

Ключові слова: *електробезпека, струм, захист людини, засоби індивідуального захисту.*

В данной статье рассмотрено и проанализировано состояние производственного электротравматизма в современных условиях, вследствие поражения электрическим током. Оценена эффективность существующих, в основном, отечественных методов и средств индивидуальной защиты персонала.

Ключевые слова: *электробезопасность, ток, защита человека, методы индивидуальной защиты.*

In this article considered and analysed consisting of production elektrotravmatizma of modern terms, because of defeat an electric current. Efficiency of existing is appraised, mainly, domestic methods and facilities of individual defence of personnel.

Key words: *electric and energy, current, human safety, personal protective equipment.*

Постановка проблеми. Електрична енергія широко використовується в усіх галузях господарювання, на транспорті, в побуті. Людина повсюдно застосовує силу електрики, але крім благ, вона як і раніше залишається джерелом надзвичайно високої небезпеки. Щоб зрозуміти її причини, треба глибше пізнати природу електрики та її вплів на організм людини [1], а також продовжити пошуки способів зниження її негативної дії.

У промисловості електротравматизм у працівників у півтора разив вище, ніж у інших фа-

хівців. Проте частота електротравматизму у працівників, не пов'язаних з обслуговуванням електроустаткування, як і раніше залишається дуже висока [2].

Більшість випадків електротравматизму відбуваються при напрузі 220 і 380 В як найбільш поширених в промисловості і в побуті.

Великий внесок у встановлення первинних критеріїв електробезпеки, і зокрема, у встановлення гранично допустимих значень струму через тіло людини, внесли електрофізіологічні дослідження, виконані професорами Г. Фрайбергером, Л. Феррісом, Г. Вільямсом, Гурвічем, А. П. Кисельовим, В. Е. Манойловим, П. Осипкой.

Статистика виробничих показників стверджує, що травми викликані дією електрики на людину порівняно невисокі (0,5–1%) від загального числа нещасних випадків. Проте, доля летальних результатів від поразки електрострумом на виробництві досягає 25–40%, причому майже 80% смертельних поразок електричним струмом відбувається при експлуатації електричних машин і механізмів з робочою напругою до 1000 В [3].

Однією з особливостей поразки електричним струмом є відсутність зовнішніх ознак загрожуючої небезпеки, які людина могла б завчасно виявити (побачити, почути, нюхати і тому подібне).

Велика частина електротравм доводиться на випадки, коли людина включається в електричну мережу руками (шлях струму «рука – рука»), або рукою і ногами (шлях струму «рука – ноги»). У цих випадках струм, що протікає, призводить до серйозних пошкоджень перш за все центральної нервової системи і таких життєво важливих органів, як серце і легені [4].

Більшість людей в процесі праці постійно або періодично знаходяться в умовах, коли вони можуть випадково опинитися під дією небезпечних значень струму.

В теперішній час основним засобом захисту персоналу, обслуговуючого електротехнічні установки змінного струму промислової частоти, є захисний комплект одягу: костюм, головний убір і взуття [2].

Ефективність дії цих засобів в основному визначається значенням їх електричного опіру. Однак у низці випадків, наприклад, в умовах підвищеної вологості, наявність струмопровідного пилу та низки інших факторів, а також при пошкодженні рогового шару шкіри (садно, подряпина і ін.) загальна кількість електричного опору може різко знизитись, через що збільшується струм, що проходить через тіло.

Крім того, при підвищенні напрузі більш 800 В (рис. 1) можливий пробій рогового шару, чому опір тіла різко знижується, а значення приголомшуючого струму відповідно різко зростає [5].

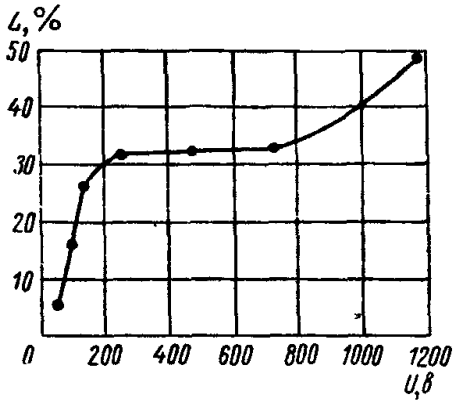

Рис. 1. Небезпека пораження електричним струмом залежно від прикладеної до тіла напруги.

Створення системи безпечного виробництва, яка відповідає світовим стандартам, – справа не одного дня. Працівник, який відчуває, що він захищений, працює в хороших умовах, одягнений у зручний, якісний і гарний спецодяг, який ще й адекватно захищає від поразки електричним струмом, відповідно здійснює роботу з високою якістю. Людина розуміє, що у разі виникнення непередбаченої ситуації засоби індивідуального захисту, так звана остання лінія оборони, дадуть йому набагато більше шансів вижити і зберегти своє здоров'я.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемами безпеки і захисту від поразки електричним струмом займалися багато провідних фахівців, серед яких слід визначити роботи В. Е. Манойлова, Р. В. Сабарно, П. А. Доліна [2; 3; 6].

У середині минулого століття С. Кеппен запропонував наступну класифікацію значення струму за ступенем небезпеки пораження людини електричним струмом: безпечний – до 25 мА, утримуючий від 25 до 80 мА, смертельный (фибріляційний) – від 80 мА до 3 А, смертельний з залишанням «міток» на тілі – від 3 до 8 А. Якщо проаналізувати цю градацію, то можна побачити, що значення у 100 мА як безумовне смертельне значення дослідник С. Кеппен під сумнів не ставить[7; 8].

Крім того, А. Н. Орлов [9] у своїх роботах помічає, що при кожній побутовій (як і при промисловій) електротравмі в тій або іншій мірі поражається центральна нервова система.

Мета статті – проаналізувати загальний стан виробничого електротравматизму в Україні в сучасних умовах, оцінити ефективність існуючих методів і засобів індивідуального захисту персоналу й визначити перспективні напрямки подальших досліджень.

Викладення основного матеріалу. При проведенні розслідувань нещасних випадків або професійних захворювань серед причин, внаслідок яких вони відбулися, визначається відсутність у працівників засобів індивідуального захисту або їхнього невикористання. Через це кожен рік кількість травмованих продовжує залишатися на достатньо високому рівні.

Людина може виявитися у сфері дії електричного поля або при безпосередньому зіткненні з проводниками електричного струму, або в ситуації, коли на струмопровідному корпусі устаткування, наприклад, в результаті короткого замикання, може раптово з'явитися небезпечна для життя напруга.

Небезпека поразки електричним струмом посилюється тим, що, по-перше, струм не має зовнішніх ознак і, як правило, людина без спеціальних приладів не може завчасно виявити небезпеку, що загрожує йому; по-друге, дії струму на людину в більшості випадків призводить до серйозних порушень найбільш важливих життєдіяльних систем, таких як центральна нервова, серцево-судинна і дихальна, що збільшує тягар поразки; по-третє, змінний струм здатний викликати інтенсивні судоми м'язів, що приводять до не відпускаючого ефекту, при якому людина самостійно не може звільнитися від дії струму; по-четверте, дія струму викликає у людини різку реакцію відсмикування, а у ряді випадків і втрату свідомості, наприклад, при роботі на висоті може привести до травмування в результаті падіння [10].

За характером призначення всі засоби захисту від поразки електричним струмом можна поділити на два види: засоби колективного і засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Безумовно, вживання і використання засобів колективного захисту (прихованої проводки, забезпечення недоступності струмопровідних частин і тому подібне) в нормальному режимі роботи електроустаткування дозволяє повністю запобігти або значно понизити долю і можливих негативних наслідків дії електричного струму. Проте, у ряді випадків, наприклад, робота в специфічних умовах, можливість виникнення аварії та інших подібних ситуаціях потрібне використовувати ЗІЗ. Їх використовують також у тих випадках, коли засоби колективного захисту дороги недоцільні і неефективні, а також коли безпечність робіт не можна забезпечити конструкцією обладнання, організацією виробничих процесів і санітарно-технічними засобами захисту [11].

Засоби індивідуального захисту застосовують для запобігання або зменшення впливу на працівників небезпечних виробничих і кліматичних факторів, тобто для створення безпечних умов праці і підвищення її продуктивності. ЗІЗ повинні забезпечувати найсприятливіші для організму людини співвідношення з навколишнім середовищем, оптимальні умови для трудової діяльності, ефективний захист працівника, зручність при експлуатації і відповідати вимогам технічної естетики і ергономіки.

Виробництво засобів захисту людини в розвинених країнах – самостійна галузь, яка постійно розвивається і удосконалюється. Нажаль в Україні ситуація з використанням ЗІЗ залишає бажати кращого – працедавці заощаджують на даній статті витрат. При цьому у відповідності рядів статей Закону України «Про охорону праці» [12] роботодавець зобов'язаний забезпечити за власний рахунок придбання, комплектування, видачу та утримання ЗІЗ відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці та колективного договору [12; 13], при цьому якість ЗІЗ повинна бути на рівні світових стандартів.

Україна повинна прагнути до досягнення рівня, який у загальних положеннях, наведених у додатку II Директиви Ради Європейського Співтовариства 89/686/ЄЕС [14], де визначено, що ЗІЗ повинні забезпечувати належний захист від будь-яких небезпек, що можуть мати місце, тобто, від усіх передбачуваних ризиків. Окрім того, визначено поняття «найвищого можливого рівня захисту», який передбачає не просте застосування ЗІЗ за нормами, а забезпечення працівників ЗІЗ за рахунок захисту, який є адекватним до визначених небезпек.

За даними статистики в України і в країнах Заходу, причина переважної більшості випадків – це людський чинник. Вплив на поведінку співробітників у тій чи іншій ситуації, намагання сформувати таку культуру виробництва, коли людина працює безпечно без жодного нагляду.

Для оцінювання загального стану проблеми поразки електричним струмом в Україні досить проаналізувати статистику з декількох найбільших галузей народного господарства, наприклад, у паливно-енергетичному комплексі за період 2005 по 2009 рр. [15]. Так, протягом 2006 р. на підприємствах паливно-енергетичного комплексу сталося 346 випадків виробничого травматизму (у 2005 р. – 369 випадків), у яких постраждало 382 особи (у 2005 р. – 398 осіб). Кількість смертельно травмованих становить 39 осіб (у 2005 р. – 26 осіб). Кількість групових нещасних випадків за 2006 р. склала 17 (у 2005 р. – 18 групових нещасних випадків), у яких постраждало 53 особи (проти 48 – у 2005 р.).

Серед основних травмуючих факторів на підприємствах енергетичної галузі (електроенергетики, ядерної енергетики та атомно-

промислового комплексу) протягом 2006 р. було ураження електрострумом 32 особи, з яких смертельно – 14 осіб (у 2005 р. – 27 осіб та 6 осіб відповідно).

За 2007 рік на підприємствах ПЕК сталося 314 випадків виробничого травматизму, у яких постраждало 336 осіб, з них зі смертельними наслідками – 28 осіб. За 2007 р. сталося 14 групових нещасних випадків, у яких постраждало 36 осіб.

На підприємствах електроенергетичної галузі внаслідок ураження електричним струмом загинуло 12 осіб. У атомно-промисловому комплексі внаслідок поразки електричним струмом загинула 1 особа, в нафтогазової галузі внаслідок ураження електричним струмом загинула 1 особа.

Протягом 2008 р. на підприємствах ПЕК сталося 275 випадків виробничого травматизму, у яких постраждало 323 особи, з них із смертельними наслідками – 67 осіб. Протягом 2008 р. сталося 15 групових нещасних випадків, у яких постраждало 63 особи, з них зі смертельними наслідками – 38 осіб. Серед травмуючих факторів слід виділити ураження електрострумом – 28 осіб, з них 12 осіб смертельно.

Протягом 2009 р. на підприємствах ПЕК, підпорядкованих Мінпаливенерго сталося 203 випадки виробничого травматизму у яких постраждала 221 особа, з них зі смертельними наслідками – 30 осіб. За звітний період сталося 12 групових нещасних випадків, у яких постраждало 30 осіб, з них із смертельними наслідками – 4 особи.

На підприємствах електроенергетичної галузі внаслідок поразки електрострумом травмовано 23 особи, з них 11 осіб – смертельно.

У нафтогазовому комплексі за фактором травмування внаслідок ураження електрострумом травмовано 3 особи, з них 2 особи – смертельно.

Узагальнені результати аналізу електротравматизму в ПЕК за період з 2005 по 2009 рр. представлені в табл. 1 і на рис. 2.

Таблиця 1.

Дані електротравматизму за період з 2005 по 2009 рр.

Галузь нагляду	2005	2006	2007	2008	2009
ПЕК	27	32	33	28	26
ПЕК (зі смертельними наслідками)	6	14	14	12	13

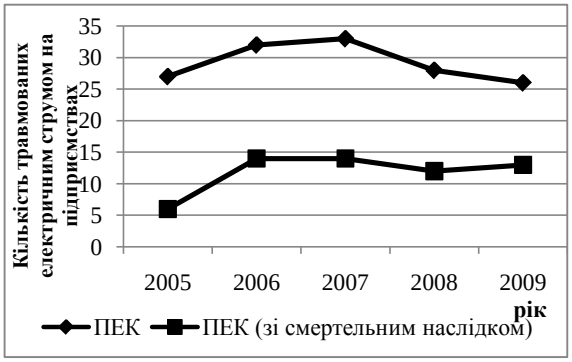

Рис. 2. Динаміка поразки людини від електричного струму.

Як видно з рис. 2, загальна кількість поразок електричнім струмом із смертельнім результатом за останні роки залишається на досить високому рівні. У окремі періоди спостерігається зниження кількості смертельних результатів на 50%, наприклад, в 2005 р. (див. рис. 2), яке можна віднести до ефективних організаційно-технічних заходів і пояснити посилюванням нагляду контролюючих органів. Проте повністю виключити випадки поразки електричнім струмом із смертельнім результатом застосовуючи традиційні засоби захисту доки навряд чи вдасться, оскільки вони, як правило, можуть забезпечити захист лише від проходження струму по дорозі «рука – ноги» або «нога – нога».

При випадковому одночасному дотику до токоведущим частин незахищеними руками, дорога струму «рука – рука», існуючі засоби захисту взагалі не можуть забезпечити безпеку робітника. В цьому випадку для захисту людини не обхідно використовувати незручні ізолюючі рукавички, або, наприклад, костюм «Фарадея» [16]. Але всі ці засобі не досить зручні і ергономічні, до того ж частіше їх вартість надзвичайно висока.

Висновки.

1. За останні роки кількість потерпілих на виробництві в результаті дії електричного струму не знижується і залишається на високому рівні.

2. Існуючі і вживані нині засоби індивідуального захисту від поразки електричним струмом, як правило, можуть забезпечити безпеку людини лише при проходженні струму по шляху «руки-ноги» або захистить від виникнення напруги кроку.

3. Найбільш небезпечним випадком включення людини у ланцюг електричного струму залишається шлях «рука – рука», оскільки традиційні засоби захисту не забезпечують того рівня безпеки, який вимагається.

Перспективи подальших досліджень. Проблема електробезпеки до цього часу залишається актуальною, у зв'язку з цим потрібне подальше проведення наукових досліджень і розробка більш простих, ергономічних та ефективних засобів індивідуального захисту людини від поразки електричним струмом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гогіташвілі Г. Г. Основи охорони праці: навч. посібник / Г. Г. Гогіташвілі, В. М. Лапін. – [4-те вид., випр. і доп]. – К. : Знання, 2008. – 302 с.
2. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. – [изд. 4-е, перераб. и доп.]. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. – 384 с.
3. Электробезопасность на промышленных предприятиях : справочник / [Р. В. Сабарно, А. Г. Степанов, А. В. Слонченко, Г. Д. Харламов]. – К. : Техніка, 1985. – 288с.
4. Менумеров Р. М. Электробезопасность / Р. М. Менумеров. – Симферополь : Тезис, 2008 – 160 с.
5. Сервериева В. И. Пристрій індивідуального захисту людини від поразки електричним струмом / В. И. Сервериева, Р. С. Байрамов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – К. : НТУУ «КПІ». – 2010. – № 59. – С. 23–26.
6. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. – [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 442 с.
7. Köppen S. Der elektrische Unfall-Anatomische, physiologische, klinische neurologische, psychologische Untersuchungen und technische Analysen nach Wechsel- und Gleichspannungsunfälle / S. Köppen, R. Eichler, P. Osypka // Elektromedizin, 1961. – S. 215–25l; 1962, S. 35–59, 90–106.
8. Köppen S. Die Beurteilung von Herz- und Nervenerkrankungen und Schädigungen der inneren Organe nach elektrischen Unfällen / S. Köppen, P. Osypka // Berufsgenossenschaft. – Berlin, 1962. – № 3 – S. 106–109; № 4. – S. 141–145.
9. Орлов А. Н. Электротравма / А. Н. Орлов, М. А. Саркисов, М. В. Бубенко. – М. : Медицина, 1977. – 154 с.
10. Гажаман В. И. Електробезпека на виробництві / В. И. Гажаман. – К., 1998. – 272 с.
11. Безпека життєдіяльності : підручник / В. Г. Цапко, Д. І. Мазоренко, Ю. С. Скобло, Л. М. Тіщенко ; [за ред. В. Г. Цапка]. – К. : Знання, 2008. – 397 с.
12. Закон України «Про охорону праці» від 2004 р.
13. Кодекс законов о труде от 06.02.2003.
14. Бородін В. Ф. Щодо забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту / В. Ф. Бородін, В. Б. Каньшин, Ю. В. Дучкіна // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – № 1 (47). – К., 2008.
15. Міністерство палива та енергетики. Статистика. Травматизм на підприємствах ПЕК МІНПАЛИВЕНЕРГО [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/category?cat_id=35081.
16. ЭНЕРГОФОРМ. Индивидуальные экранирующие комплекты: защита от электрических полей и электромагнитных излучений. 15.06.2009 Клетка Фарадея из электропроводящей ткани, исключающая проникновение ЭМП внутрь экранированного пространства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.energoform.ru/.