

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭКОЛОГО-БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**В.А. Рыбак**, кандидат технических наук, доцент

**А. Д. Гриб**

РУП «Центральный научно-исследовательский институт

комплексного использования водных ресурсов»,

г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Описывается методика оценки экологичности ресурсоемких технологий и ее автоматизация посредством создания веб-ориентированного приложения «Оценка экологичности предприятия».

**Ключевые слова:** «зеленая» экономика, устойчивое развитие, рациональное природопользование, экологическая оценка технологии, параметры перспективных эколого-безопасных технологий, информационный ресурс

### Abstract

**V.A. Rybak, A.D. Grib**

### ALGORITHM TO OPTIMIZE FEATURES OF EFFECTIVE ECOLOGY-SAVE TECHNOLOGIES

A methodology for assessing the sustainability of resource-intensive technologies and its automation by means of web-based application "Enterprise Ecology Assessment" are described.

**Keywords:** 'green' economics, sustainable development, smart environmental management, economic assessing of technology, parameters of effective ecology-save technologies, informational resource

### Введение

Сегодня концепция «зеленой» экономики становится общемировой тенденцией, новой глобальной экономической моделью устойчивого развития, а наличие в Республике Беларусь крупного промышленного комплекса наряду с ограниченным количеством природных сырьевых и энергетических ресурсов диктует необходимость применения современных достижений науки и передового опыта в процессе освоения перспективных эколого-безопасных производственных технологий.

Так, на основе существующих подходов к оценке экологичности ресурсоемких технологий нами разработана определенная методика. Данная методика предполагает использование ряда формул для расчета значений выделенных параметров перспективных эколого-безопасных технологий, а также для расчета единого интегрального показателя каждого предприятия в целом на основе усреднения по логарифмической шкале. Кроме того, методика рекомендует использовать полученные значения по параметрам перспективных эколого-безопасных технологий для сравнения последних между собой с целью выявления наиболее и наименее экологичного проекта или технологии.

### Основная часть

В рамках создания методики оценки экологичности ресурсоемких технологий выделены парамет-

ры, наиболее значимые для оценки экологичности ресурсоемких производств. К данным параметрам относятся безотходность, ресурсоемкость, энергоемкость и землеемкость. Остановимся на рассмотрении каждого из них.

Безотходность как параметр эколого-безопасных технологий предполагает такой способ производства, который обеспечивает максимально полное использование перерабатываемого сырья и образующихся при этом отходов.

Сегодня все более остро встает проблема образования отходов, в том числе, отходов производства. Обществу необходимо создание принципиально новых производственных процессов, позволяющих сократить или вовсе исключить образование отходов. Стоит отметить, что при разработке безотходного производства необходимо учитывать, что производственный процесс должен осуществляться при минимально возможном числе технологических стадий и аппаратов, поскольку на каждой из них образуются отходы и теряется сырье. Очевидно, что при сравнении и выборе из двух технологий предпочтение с точки зрения принципов «зеленой экономики» надо отдавать той, при которой образуется меньше отходов (в идеале – не образуется совсем).

Ресурсоемкость рассматривается как показатель, отражающий степень эффективности использо-

вания ресурсов предприятия (материалов, сырья и т.д.) при производстве единицы продукции.

Сегодня весьма заметна устойчивая тенденция роста доли стоимости ресурсов и общей себестоимости продукции. Поэтому в целях увеличения эколого-экономической эффективности обрабатывающей промышленности необходимо значительное снижение ресурсоемкости технологий за счет создания технологий с замкнутыми циклами производства и комплексным использованием сырья.

Энергоемкость предусматривает рациональное использование энергетических ресурсов, т.е. экономически оправданное расходование электроэнергии, газа и тепла по отношению к объему производимой продукции.

В настоящее время основные успехи ученых по снижению энергоемкости производств базируются на развитии новых способов преобразования энергии и использовании возобновляемых источников энергии, совершенствовании и развитии существующих технологий теплоснабжения. Не смотря на это, обществу необходимы дополнительные научные исследования для создания более энерго- и экологически эффективных проектов и систем управления ими.

Землеемкость раскрывает отношение используемых земельных ресурсов к объему продукции, произведенной на данной земле.

Ограниченность земельных ресурсов и их ухудшающееся экологическое состояние диктуют необходимость учета использования земли в принципе, и использования под промышленные объекты, в частности.

Землеемкость определяет размеры территории, используемой человеком в том или ином виде деятельности, то есть используется как показатель антропогенного воздействия и превращения естественных территорий в пространственную основу развития производства. Здесь имеет принципиальное значение не только размер территории, занимаемой собственно промышленным объектом, но и зона его влияния на окружающую среду и ландшафт в целом.

Расчеты коэффициентов выделенных эколого-экономических параметров перспективных эколого-безопасных технологий и расчеты на их основе единого интегрального показателя для каждого

предприятия в целом на основе усреднения по логарифмической шкале производятся с помощью следующих формул (1,2,3,4):

### 1. Коэффициент безотходности:

$$K_b = m_{\text{отходов}} / m_{\text{исп. сырья}}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{отходов}}$  – количество отходов, произведенных за год,  $m_{\text{исп. сырья}}$  – количество использованного сырья за год; количество отходов ( $m_{\text{отходов}}$ ), полученное при производстве продукции рассчитывается как процент от общего количества произведенных отходов предприятием за год.

Количество отходов ( $m_{\text{отходов}}$ ) определяется суммой значений следующих видов показателей: выбросы в атмосферный воздух, отходы производства, сточные воды. Единица измерения – тонны.

$K_b < 1$ ;  $K_b$  должен стремиться к 0, т.е. количество отходов ( $m_{\text{отходов}}$ ) должно быть значительно меньше количества использованного сырья ( $m_{\text{исп. сырья}}$ ). Так, технология может считаться безотходной в случае, если  $K_b = 0$ . Наиболее безотходной технологией может считаться технология, которая имеет *min* значение  $K_b$ .

### 2. Коэффициент ресурсоемкости

$$K_p = m_{\text{исп. сырья}} / V, \quad (2)$$

где  $m_{\text{исп. сырья}}$  – количество использованного сырья, а  $V$  – количество продукции, выпущенной за год.

$K_p$  должен стремиться к 0, т.е. количество использованного сырья должно быть значительно меньше количества выпущенной продукции.

Данный коэффициент может считаться приемлемым при значениях около единицы – то есть в случае, когда массовая единица сырья переработана в массовую единицу конечной продукции. В общем случае, применение данного коэффициента наиболее оправдано для сравнения нескольких ресурсоемких производств и технологий, при этом необходимо ориентироваться на наилучшие доступные технические методы (НДТМ).

### 3. Коэффициент энергоемкости

$$K_3 = F / V, \quad (3)$$

где  $F$  – использованные энергоресурсы, а  $V$  – количество продукции, выпущенной за год.

Использованные энергоресурсы ( $F$ ) для производства определяются суммой значений следующих

видов показателей: природный газ, электроэнергия, теплоэнергия.

$K_3$  должен стремиться к 0, т.е. чем меньше  $K_3$ , тем менее энергоемка технология и соответственно более экологична.

#### 4. Коэффициент землеемкости:

$$K_3 = X_{2a} / V, \quad (4)$$

где  $X_{2a}$  – количество гектар, занимаемое предприятием, для производства продукции, а  $V$  – количество продукции, выпущенной за год.

$K_3$  должен стремиться к 0, т.е. на единице площади должно производиться больше продукции.

Усреднение по логарифмической шкале по предприятиям рассчитывается по формуле (5):

$$T_j = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \ln(P_{ij})\right)^2}, \quad (5)$$

где  $T_j$  – предприятие;  $P_{ij}$  – значение  $i$ -го параметра для  $j$ -го предприятия;  $n$  – количество параметров для предприятия.

Для оценки экологичности предприятий по параметрам перспективных эколого-безопасных технологий полученные данные выстраиваются в порядке возрастания единого интегрального показателя и производится последовательное сравнение результирующего значения среди группы предприятий. Так, выявляются наиболее экологичные предприятия (с максимальным значением единого интегрального показателя) и наименее экологичные предприятия (с минимальным значением единого интегрального показателя соответственно).

Далее, согласно методике (в случае необходимости выявить уровень экологичности большого числа предприятий), производится группировка значений единого интегрального показателя по предприятиям на три группы: с оптимальными значениями, с допустимыми значениями, с критическими значениями.

В результате ранжирования становится ясно, на каких предприятиях значения единого интегрального показателя наиболее далеки от оптимальных и требуют более детального изучения.

Однако, несмотря на то, что в процессе апробирования методики оценки экологичности проектов и технологий выявляются наиболее и наименее экологичные предприятия, вероятно, что в рамках каж-

дого предприятия показатели экологичности по параметрам различны.

Поэтому для оценки экологичности каждого предприятия по параметрам перспективных эколого-безопасных технологий полученные данные по параметрам необходимо выстроить в порядке возрастания значений, где выстроенные предприятия в порядке возрастания параметров, позволяют видеть, какое предприятие имеет наилучшее и наихудшее значение по заданному параметру.

Здесь можно видеть, что по каждому из параметров наилучшие значения имеют различные предприятия.

Так, расчеты коэффициентов выделенных эколого-экономических параметров перспективных эколого-безопасных технологий позволяют оценить применяемую технологию на предмет экологичности и сравнить технологии между собой.

Результаты апробации методики оценки экологичности проектов и технологий на реальных данных показывают необходимость разработки системы мероприятий по оптимизации применяемых технологий.

Данная система должна основываться на принципах оптимизации современных технологий, включать необходимые средства и условия, направленные на оптимизацию перспективных эколого-безопасных технологий, а также методы оптимизации выделенных параметров безотходности, ресурсоемкости, энергоемкости и землеемкости как в общем для наименее экологичных предприятий отрасли, так и отдельно для предприятий, нуждающихся в оптимизации какого-либо из выделенных параметров экологичности.

Так, при разработке системы мероприятий по оптимизации экологичности современных производственных технологий необходимо следовать следующим принципам [1, 2]:

- Принцип соблюдения и обеспечения прав граждан на благоприятную окружающую среду.
- Принцип единства экологических, экономических и социальных интересов граждан, общества и государства.
- Принцип неотвратимости правовой и экономической ответственности за экологически опасное, нерациональное и неэффективное использование природных ресурсов.

- Принцип платности природопользования и возмещение вреда, причиненного в результате вредного воздействия на окружающую среду («загрязнитель платит»).

- Принцип открытости экологической информации и участие общественности в принятии решений в области природопользования и охраны окружающей среды.

- Принцип ответственности за нарушение законодательства Республики Беларусь об охране окружающей среды, в том числе принцип соблюдения требований законодательства об охране окружающей среды, санитарно-гигиенических правил и норм, экологических стандартов при осуществлении экономической деятельности.

- Принцип приоритетности развития и использования возобновляемых источников энергии и новых экологических материалов.

- Принцип создания эффективной системы обращения с отходами производства и потребления.

- Принцип соблюдения условий по охране окружающей среды при проведении реформирования экономики.

- Принцип ориентации на разумные компромиссы при разрешении конфликтов по поводу необходимости соблюдения экологических ограничений и требований, с одной стороны, и экономической мотивации с – другой.

- Принцип экономического стимулирования средствами государственной кредитной и ценовой политики ресурсо- и энергосбережения, инноваций в науку, инженерию и технику, экономику, образование и информационные технологии.

- Принцип широкого использования экономических инструментов для покрытия издержек, связанных с минимизацией вреда, наносимого окружающей среде в результате хозяйственной деятельности.

- Принцип развития международного сотрудничества в целях сохранения, защиты и восстановления целостности экосистем Земли.

Средствами оптимизации параметров перспективных эколого-безопасных технологий являются: ценообразование, базирующееся на гибком сочетании свободных и регулируемых цен, отказ от «вредных» субсидий; стоимостная оценка природных ресурсов; направление государственных средств в соответствующую принципам устойчивого развития

инфраструктуру; целевая государственная поддержка исследований и разработок, связанных с созданием экологически чистых технологий [1].

К средствам оптимизации параметров перспективных эколого-безопасных технологий также относят политику государственных закупок, которая поощряет производство экологичной продукции и использование соответствующих принципам устойчивого развития методов производства; реформирование систем «экологического» налогообложения, предполагающего смещение акцента с налога на рабочую силу на налоги на загрязнение; социальные стратегии, призванные обеспечить согласование между целями в социальной области и экономическими стратегиями [3].

Кроме того, следует отметить, что исследователи находятся в постоянном научном поиске условий, способствующих оптимизации перспективных эколого-безопасных технологий.

В соответствии с рекомендациями Еврокомиссии по окружающей среде [4, 5], а также по мнению ученых В. И. Ключенович, И. А. Залыгиной, К. Ю. Подворской [6], к числу важных условий движения страны к «зеленой» экономике в целом, а также развитию экологически безопасных технологий в частности, можно отнести: внедрение концепции экологически ориентированного роста в государственные стратегии, политику и планирование; создание надежных нормативно-правовых основ перехода; приоритетность государственных инвестиций и расходов в областях, стимулирующих превращение секторов экономики в «зеленые»; ограничение расходов в областях, истощающих природный капитал; применение налогов и рыночных инструментов для изменения предпочтений потребителей и стимулирования «зеленых» инвестиций и инноваций; инвестирование в повышение компетентности, обучение и образование; укрепление международного сотрудничества.

В наиболее общем виде к методам оптимизации перспективных эколого-безопасных технологий можно отнести: создание инфраструктуры (например, строительство энергетических мощностей по производству возобновляемой энергии); оказание соответствующих услуг (охрана водных ресурсов и управление ими, практика управления отходами и др.); программы по устойчивому управлению природными ресурсами; распространение экологически чис-

тых технологий; меры по уменьшению или устранению загрязнения земель, воздуха и почв; повышение энергоэффективности производства; устойчивое использование «экологически чувствительных» территорий и др. [7].

Для обеспечения экономического роста и предотвращения чрезмерного истощения природно-ресурсного потенциала следует также использовать административные правовые методы, к которым в сфере природопользования относятся: технические регламенты и нормативы, санитарно-гигиенические правила и нормы, лимиты, экологические ограничения и требования, а также комплексные природоохранные разрешения [1].

Для автоматизации предложенной методики оценки и сравнения экологичности ресурсоемких проектов и технологий разработан алгоритм создания информационного ресурса. Данный информационный ресурс представлен веб-ориентированным приложением «Оценка экологичности предприятия».

Программа позволяет сохранять в базу данных рассчитанные значения по каждому предприятию и на основе совокупности данных по предприятиям сравнивать полученные значения как по предприятиям, так и отдельно по параметрам, выстраивая значения в порядке возрастания единого интегрального показателя по предприятиям и значений коэффициентов по параметрам.

Таким образом, на базе веб-ориентированного приложения «Оценка экологичности предприятия» автоматизированы:

1. Расчеты значений по каждому из параметров перспективных эколого-безопасных технологий;
2. Расчеты единого интегрального показателя для каждого предприятия в целом на основе усреднения по логарифмической шкале;
3. Сравнения полученных значений отдельно по предприятиям и параметрам между собой;
4. Объединение значений единого интегрального показателя по предприятиям и значения коэффициентов по параметрам на группы: с оптимальными значениями, с допустимыми значениями, с критическими значениями;
5. Выбор наиболее значимых природоохранных мероприятий для повышения степени экологичности анализируемых производств и технологий.

Программа позволяет обработать полученные данные по предприятиям и определить уровень их экологичности.

В соответствии с определенным уровнем экологичности предприятия программой подбираются наиболее подходящие рекомендации, которые совместно с численными показателями отображаются пользователю.

Создание веб-ориентированного приложения «Оценка экологичности предприятия» основано на описании программы и ее назначения, описании возможностей ее использования для оценки экологичности проектов и технологий, описании структуры программы и веб-интерфейса (веб-страниц и связей между ними), а также описании таблиц базы данных и алгоритма расчетов. Таблицы базы данных имеют реляционные связи, структура которых представлена на рисунке 1.

Структура веб-ориентированного приложения «Оценка экологичности предприятия» представляет собой совокупность веб-страниц, связанных между собой. На рисунке 2 представлена взаимосвязь веб-страниц веб-ориентированного приложения «Оценка экологичности предприятия».

Конечным результатом работы веб-ориентированного приложения «Оценка экологичности предприятия» является автоматизированная обработка данных предприятий, выделение уровня экологичности применяемой на предприятии технологии, предоставление рекомендаций по оптимизации технологии производства, а также накопление и ведение статистической информации по предприятиям молочной промышленности Республики Беларусь.

Применительно к мелиоративным мероприятиям из предложенных оценок в наибольшей степени подходят коэффициенты безотходности и землеёмкости. Первый – связан с направлением на улучшение гидрологических, второй – почвенных условий с целью повышения эффективности использования земельных и водных ресурсов для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. При этом с учётом того, что мелиорация отличается от обычных агротехнических приёмов длительным и более интенсивным воздействием на объекты мелиорации, описанные коэффициенты следует применять для годовых и более продолжительных промежутков исследований.

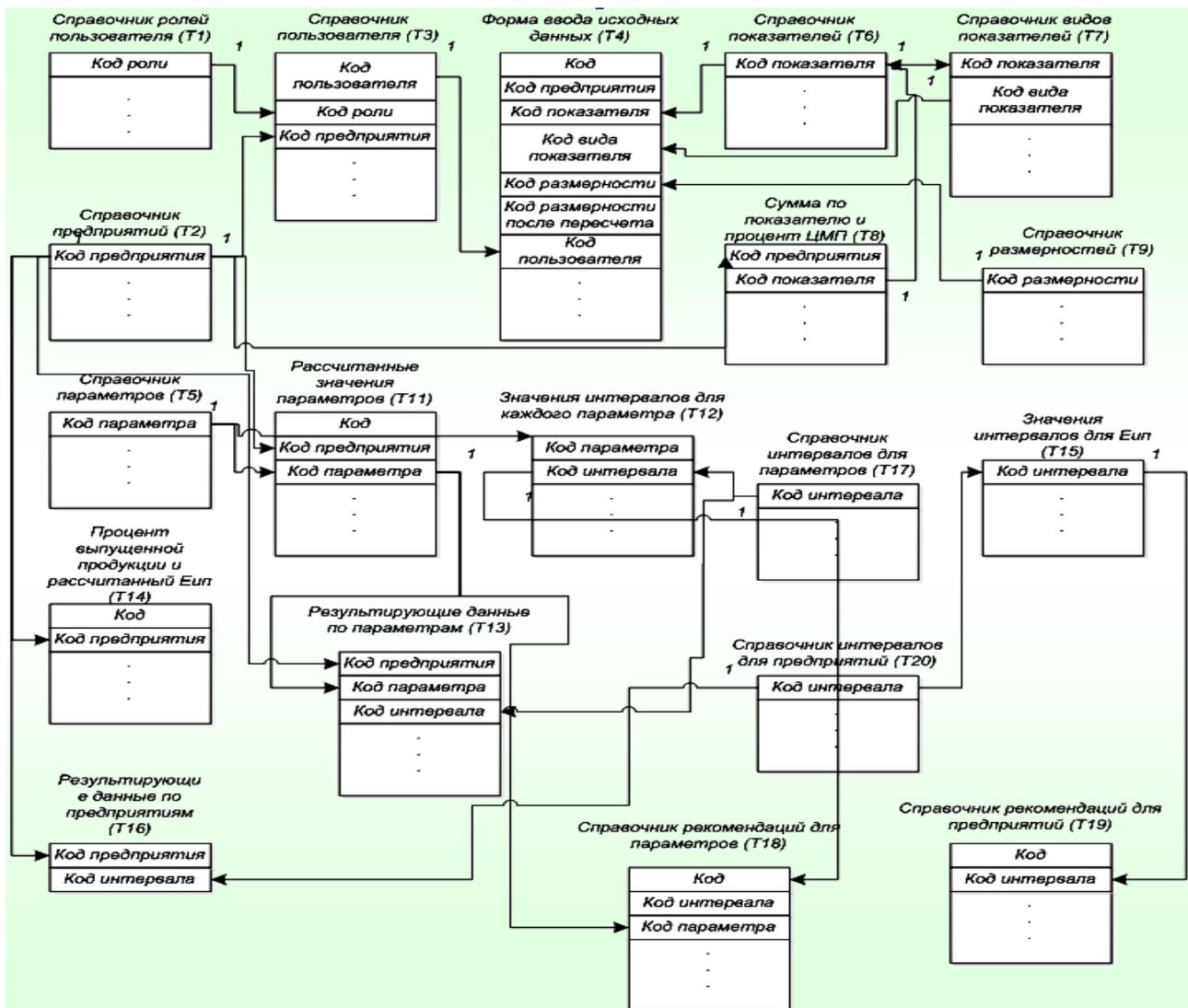


Рисунок 1. – Связи таблиц данных

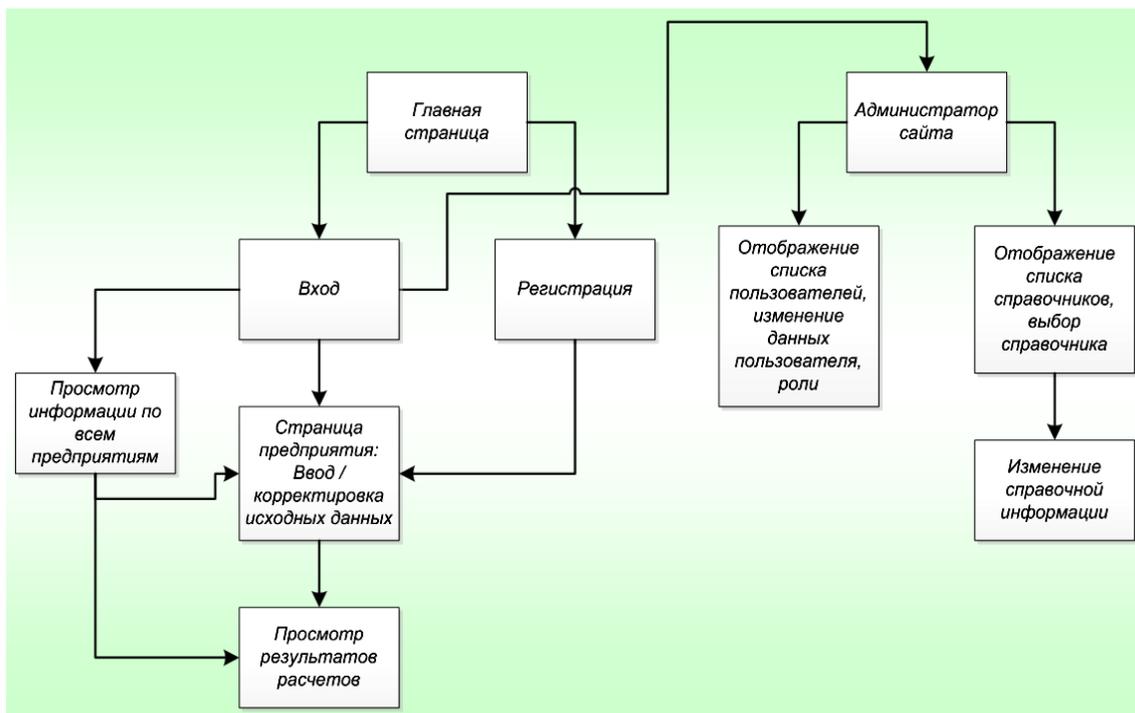


Рисунок 2. – Веб-страницы и связи между ними

### Заключение

В процессе апробации методики оценки экологичности проектов и технологий на реальных данных, выполнены расчеты коэффициентов выделенных эколого-экономических параметров перспективных эколого-безопасных технологий, а также расчеты единого интегрального показателя для каждого предприятия в целом на основе усреднения по логарифмической шкале. Произведена группировка значений единого интегрального показателя по предприятиям и значений коэффициентов по параметрам на три группы: с оптимальными значениями, с допустимыми значениями, с критическими значениями. В результате чего, выявлены наименее экологичные предприятия и параметры, нуждающиеся в оптимизации.

Использование веб-ориентированного приложения позволяет проводить автоматизированную

обработку данных предприятий на основе разработанной методики.

При определении экологичности применяемых на предприятии технологий программа осуществляет расчет численных значений параметров перспективных эколого-безопасных технологий и на их основе качественных показателей экологичности с последующим представлением рекомендаций, направленных на повышение экологичности применяемой технологии.

Таким образом, веб-ориентированное приложение «Оценка экологичности предприятия» разработано в целях анализа экологичности предприятий промышленности Республики Беларусь и предназначено для автоматизированной обработки данных предприятий на основе методики оценки и сравнения экологичности проектов и технологий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устойчивое развитие Республики Беларусь на принципах «зеленой» экономики : нац. сообщ. / науч. ред. В. В. Пинигин. – Минск : Науч.-исслед. экон. ин-т М-ва экономики Респ. Беларусь, 2012. – 52 с.
2. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь ; редкол.: Л. М. Александрович [и др.]. – Минск : Юнипак, 2004. – 202 с.
3. Грибоедова, И. А. Аграрный сектор национальной экономики Беларуси: эффективность, структура, приоритеты развития / И. А. Грибоедова. – Минск : Юнипак, 2013. – 240 с.
4. Навстречу «зеленой» экономике: пути к устойчивому развитию и искоренению бедности [Электронный ресурс] : обобщающий докл. для представителей власт. структур / Программа ООН по окружающей среде. – Найроби : ЮНЕП, 2011. – Режим доступа: [http://www.un.org/ru/development/sustainable/ger\\_synthesis.pdf](http://www.un.org/ru/development/sustainable/ger_synthesis.pdf). – Дата доступа: 10.02.2015.
5. Report on the Green Economy in the EaP: Final rev EN clean [Электронный ресурс]. – 2013. – 19с. – Режим доступа: [http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/WG2.3\\_Nov13\\_EaP\\_2013\\_11\\_EaR\\_GREEN\\_Progress\\_report\\_ENG\\_clean.pdf](http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/WG2.3_Nov13_EaP_2013_11_EaR_GREEN_Progress_report_ENG_clean.pdf). – Время доступа: 2.04.2015.
6. Ключенович, В. И. «Зеленая» экономика: о перспективах и векторах движения для Республики Беларусь / В. И. Ключенович, И. А. Залыгина, К. Ю. Подворская // Экол. вестн. – 2012. – № 3. – С. 10–17.
7. Пискулова, Н. А. Помощь развивающимся странам в области охраны окружающей среды [Электронный ресурс] / Н. А. Пискулова // Вестн. междунар. орг.: образование, наука, новая экономика. – 2011. – № 2. – Режим доступа: <http://ecsocman.hse.ru/data/2011/05/06/1268031370/3.pdf>. – Дата доступа: 27.02.2013.

Поступила 8.09.2017