

УДК 515.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НИШИ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ХАТЧИНСОНА

В. В. Халиль
Аспирант*

E-mail: Viktoria.Khalil@yandex.ru

Е. С. Сидоренко

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: el-ser-el@yandex.ua

*Кафедра геометрического моделирования и
компьютерной графики

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

У роботі розглянуто теоретичні основи побудови моделі екологічної ніші для складних умов техносфери (робочого середовища) на базі відомої теоретичної моделі Хатчинсона. Базові розміри геометричної моделі задаються нормативними вимогами, що відображається фігурою у формі паралелепіпеда. Запропоновані підходи обґрунтовані екологічними законами мінімуму і законом толерантності стосовно до існуючих параметрів мікроклімату, які визначаються допустимими та оптимальними умовами праці

Ключові слова: екологічна ніша, модель Хатчинсона, геометрична модель, показник мінімізації, оптимізація процесу регулювання

В работе рассмотрены теоретические основы построения модели экологической ниши для сложных условий техносферы (рабочей среды) на базе известной теоретической модели Хатчинсона. Базовые размеры геометрической модели задаются нормативными требованиями, что отображается фигурой в форме параллелепипеда. Предложенные подходы обоснованы экологическими законами минимума и законом толерантности применительно к существующим параметрам микроклимата, определяемыми допустимыми и оптимальными условиями труда

Ключевые слова: экологическая ниша, модель Хатчинсона, геометрическая модель, показатель минимизации, оптимизация процесса регулирования

1. Введение

В настоящее время большое значение приобретают разные формы визуализации сложных ситуаций, которые имеют место в природе и обществе. Для этого используют плоские и объемные графические изображения, позволяющие сразу оценить приоритетность возникающих задач и принять своевременное и адекватное решение. Например: простая предупредительная надпись на пачке сигарет о вреде курения, в настоящее время дополнена изображением разрушенных легких человека, что, по мнению ученых, более эффективно показывает опасность, а, следовательно, способствует отказу от курения; на светофоре не просто зеленый свет, а движущиеся изображение фигурки человека и т.п.

Эффективность современного производства во многом зависит от соблюдения требованиям к обеспечению безопасности работающего на нем персонала. Для удовлетворения этих требований необходимо разрабатывать новые подходы к диагностике состояний и управлению безопасностью рабочей зоны на основе использования современных информационных технологий и интеллектуальных средств поддержки принятия решений. На производстве уже недостаточно иметь предупредительные надписи их необходимо комментировать изображениями последствий не выполнения этих предупреждений. В системах анализа ситуаций и расследования несчастных случаев, надо более ши-

роко применять топографические методы анализа с применением ПЭВМ с визуализацией событий и введением графических символов, отображающих тяжесть последствий. Перед глазами менеджеров осуществляющих управление предприятием, должна быть «картина» событий, отображающая события с разделением их по цвету и форме, и сразу показывающая отличие от нормативных стандартных требований. Многолетняя «борьба» менеджеров предприятий с несчастными случаями и авариями на производстве, показывает, неэффективность существующих методов и подходов к решению этих вопросов. По оценкам МОТ, ежегодно в мире более 2,3 миллиона мужчин и женщин гибнут в результате несчастных случаев на рабочем месте или профессиональных заболеваний, четыре процента мирового валового внутреннего продукта теряются в результате плохих условий труда и несчастных случаев. В странах СНГ ежегодно около 12 миллионов человек становятся жертвами несчастных случаев на производстве.

Методы геометрического моделирования как нельзя лучше позволяют решать такого рода задачи, позволяя визуализировать получаемую информацию и вовремя реагировать на нее, избегая риска здоровьем работающего персонала. Использование визуальных компьютерных моделей позволяет перебрать набор формальных определений в наглядные геометрические формы, за которыми можно наблюдать, динамически меняя параметры, еще на стадии

проектирования рабочего помещения. Последнее дает возможность непосредственно увидеть свойства и взаимосвязи, что приводит к формулировке гипотез, далеко не очевидных без компьютерного эксперимента и геометрической визуализации.

Как правило, чрезвычайные ситуации, возникают на рабочих местах, где наблюдаются постоянные нарушения нормативных требований по условиям труда и, прежде всего, метеорологических. Таким образом, дополнив систему анализа текущего состояния экологической ниши на предприятии, которая имеет нормативное название «рабочая зона», методами визуализации, мы сможем не только визуально показать каждое рабочее место и его соответствие нормативным требованиям, но и предупредить несчастные случаи, которые могут иметь место в последствии.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Понятие «экологической ниши» впервые было введено в 1914 году Дж. Гринеллом и в 1927 году Чарльзом Элтоном [1, 2]. Однако, несмотря на довольно активное его использование, пока нет удачного определения самого понятия «экологическая ниша». Ю. Одум дал наиболее емкое определение этого понятия: "...понятие ниши относится не только к физическому пространству, занимаемому организмом, но также к его месту в сообществе, определяемому, в частности, источником энергии и периодом активности... Можно привести такую аналогию: местообитание – это «адрес» организма, а экологическая ниша – это, говоря биологически, его «профессия». Полное описание экологической ниши вида вылилось бы в бесконечный ряд биологических характеристик и физических параметров. Поэтому наиболее полезной и количественно наиболее применимой была бы концепция ниши, основанная на различиях между видами... по одной или нескольким важным (т. е. операционально значимым) характеристикам" [3, 4]. В настоящее время доминирует модель гиперобъёма Дж. Э. Хатчинсона [5, 6].

Его модель довольно проста: достаточно на ортогональных проекциях отложить значения интенсивности различных факторов, а из точек пределов толерантности восстановить перпендикуляры, то ограниченное ими пространство и будет соответствовать экологической нише данного вида (рис. 1). Экологическая ниша – это область комбинаций таких значений факторов среды, в пределах которой данный вид может существовать неограниченно долго.

Как комментировал Дж. Э. Хатчинсон, для существования наземного растения достаточно определенного сочетания температуры и влажности, и в этом случае можно говорить о двумерной нише. Для морского животного уже необходимо кроме температуры еще как минимум два фактора – соленость и концентрация кислорода – тогда уже следует говорить о трехмерной нише (рис. 1, а, б) и т. д. На самом деле этих факторов множество и ниша многомерна [7–9].

Многомерность экологической ниши характеризует сложность взаимосвязей существующих в экосистеме. Учесть все связи практически невозможно, однако, используя определенные ограничения и остановившись на факторах лимитирующих процесс жизнеобеспечения в определенных условиях (место, состояние и т. п.), можно создать математическую модель, которая наиболее полно, с высокой степенью достоверности, будет отражать особенности той или иной экологической ниши. Это позволит с наибольшей вероятностью планировать ее изменение, и, как следствие, улучшить контроль ухудшения состояния здоровья человека.

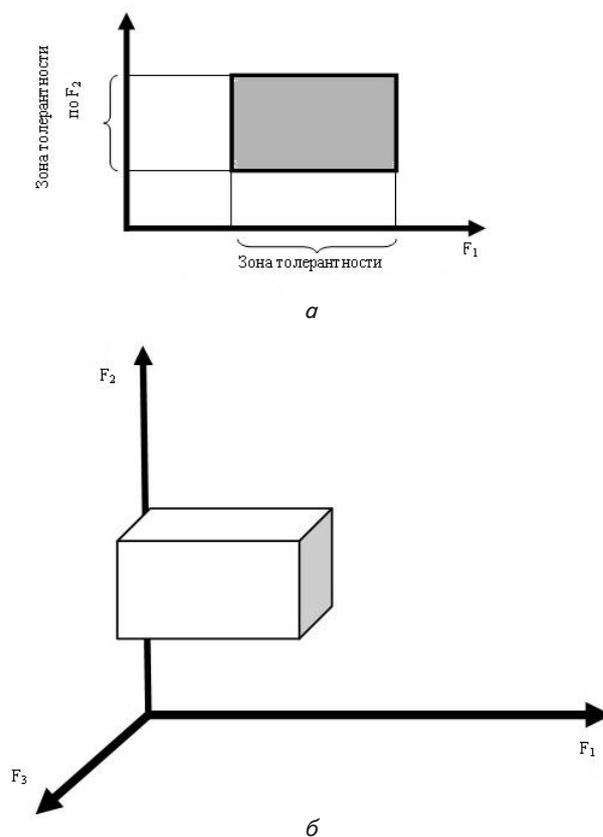


Рис. 1. Модель экологической ниши (по Дж. Э. Хатчинсону). По осям — отдельные факторы F_1, F_2, F_3 : а — двумерная ниша; б — трехмерная ниша

3. Цель и задачи исследования

Любое пространство в окружающей среде может быть представлено как совокупность факторов (абиотических, биотических и антропогенных). Из этого множества факторов всегда можно выбрать такие, которые являются лимитирующими самочувствие человека. Поэтому, определив такую группу факторов, представляется возможным разработка математической модели и ее геометрическое представление.

В природной среде невозможно применить с высокой степенью достоверности формализованные подходы для составления математической модели. Однако в техносфере (искусственно созданной

человеком рабочей среде, чаще всего в закрытых помещениях) параметры рабочих зон нормируются стандартом ГОСТ 12.1.005-89*, ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 р. (Украина) и другими документами, что позволяет создать более достоверную математическую модель. Такая модель, реализованная в программном обеспечении, позволяет совершенствовать систему управления качественными показателями экологической ниши человека на производстве и совершенствовать систему управления важными для работника показателями, которые обеспечивают его высокую работоспособность и сохранение здоровья. Такой методологический подход может быть применен и к другим нормализованным условиям техносферы.

Цель исследования – рассмотреть теоретические основы построения модели экологической ниши для сложных условий техносферы (рабочей среды) на базе известной теоретической модели Хатчинсона, приняв за основу построения модели,

базовые размеры геометрической модели, которые задаются нормативными требованиями, стандартами и ГОСТами для каждого из параметров рабочей зоны.

Задачи исследования:

- сформулировать теоретические подходы выбора лимитирующих факторов рабочей зоны в условиях техносферы;

- усовершенствовать математическую модель Дж. Э. Хатчинсона и на ее основе разработать ее визуальное геометрическое представление в виде пространственных фигур;

- разработать методологическое и методическое наполнение разработки для применения в условиях техносферы.

4. Построение математической модели экологической ниши

4. 1. Теоретическое обоснование построения геометрической модели рабочей зоны человека

Экологическая ниша человека в техносфере, а именно на производстве, представляет собой его рабочее место, включающее как положение его в пространстве (производственную среду), так и отношение к абиотическим условиям существования. В природе экологическая ниша рассматривается более широко, не только как физическое пространство, занимаемое организмом, но и его место в сообществе, определяемое его экологическими функциями. В нашем конкретном случае, вводим ограничение – только для рабочей среды.

Модель экологической ниши позволяет ответить на многие вопросы, в том числе, почему ухудшается здоровье у работающих и служащих, почему создаются предпосылки к травмам и авариям, почему снижается производительность труда и многое другое.

Экологическую нишу по потокам веществ и потенциальным вредным факторам среды (ПВФ) можно представить как модель динамической системы [10] в виде схемы (рис. 2).

ПВФ, поступающие на вход экологической ниши, задаются допустимой областью значений состояния (концентрация) – $C_{0i}-C_{1i}$ за какое-то время T_0-T_1 .

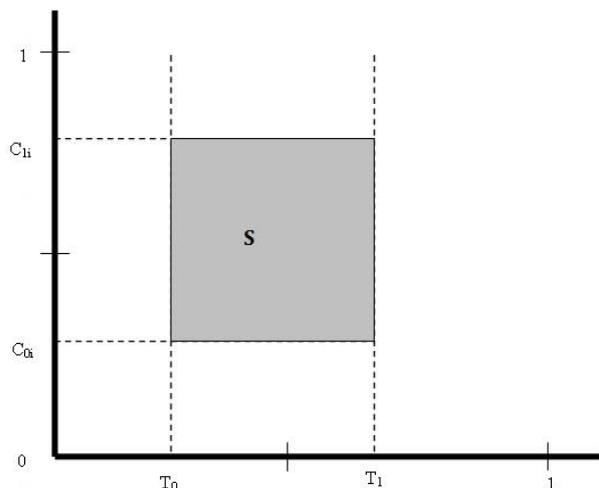


Рис. 2. Принципиальная схема изменений показателя экологической ниши $C_{0i}-C_{1i}$ за время T_0-T_1 в двумерном пространстве рабочей среды по i -му фактору

4. 2. Математическое представление модели

Этот процесс может быть представлен на основе аналитической геометрии в двух координатной системе. Учитывая сложность согласования размерностей, в дальнейшем будут рассматриваться относительные показатели этих величин в долях единицы, а величина их изменений (Δ) будет определяться по абсолютной величине. Процесс, происходящий в экологической нише (ЭН) будет характеризоваться площадью (S), образованной отрезками ΔC и ΔT в рассматриваемой двух координатной системе:

$$S = \Delta C \cdot \Delta T. \tag{1}$$

Исходя из математического анализа площадь прямоугольника образованного ΔC и ΔT можно определить по выражению:

$$S = \int_{C_0}^{C_1} f(c) dC. \tag{2}$$

При этом полагаем, что $f(C_0)=T_0$, а $f(C_1)=T_1$.

Одной из основных задач минимизации экологической опасности ПВФ в условиях рабочей среды является снижение концентрации i -го фактора C_{1i} до $C_{ни}$, т. е. определение $f(C_i) \rightarrow C_{ни}$. В условиях производственной среды, можно принять, что $C_{0i}=C_{ни}$ ($C_{ни}$ – нормативный показатель, установленный стандартом или другими документами для i -го фактора). При этом параметр (T) определяется условиями труда и отдыха работника.

Однако для процессов регулирования характерным параметром является физиологическое состояние человека, F , которое также функционально связано с факторами (C_{0i}, \dots, C_{1in}). Эффективность процесса регулирования (O) будет определяться величиной изменения этих факторов. Изменения факторов рабочей зоны (ΔC) будет определяться показателями затрат (энергии, веществ) на единицу (ΔZ) «обрабатываемого» объема рабочего помещения.

Рабочую зону человека с системой регулирования ее факторов можно представить в трёх координатной

системе (рис. 3). Объём параллелепипеда или массив, образованный соответствующими векторами (C_i , C_d , C_f) будет определять результат – выполнение нормативных требований к качественным показателям (состоянию) (O) экологической ниши человека в техносфере. C_i – температура, °C; C_d – скорость воздуха, м/с; C_f – относительная влажность, %.

Объём параллелепипеда, построенного на векторах, равен [11, 12]:

$$O = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 = \begin{vmatrix} x_1 y_1 z_1 \\ x_2 y_2 z_2 \\ x_3 y_3 z_3 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Можно записать в векторной форме в алгебраической проекции объём параллелепипеда, предварительно переместив его в начало координат и определив координаты векторов:

$$\begin{aligned} a_1 &= \{0, 0, C_{2i}\}, \\ a_2 &= \{0, C_{2d}, 0\}, \\ a_3 &= \{C_{2f}, 0, 0\}. \end{aligned} \quad (4)$$

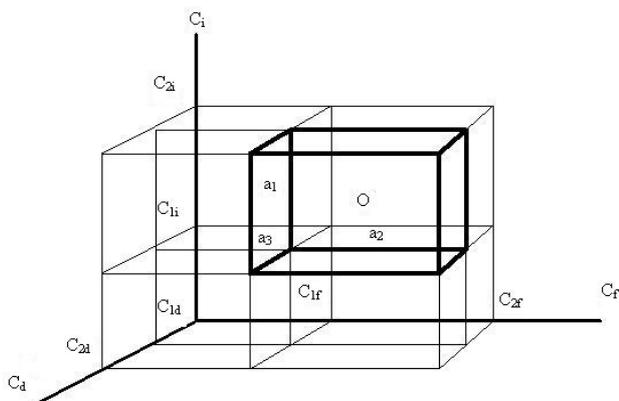


Рис. 3. Геометрическая модель рабочей зоны человека с системой регулирования ее экологических факторов C_d , C_i , C_f в трехмерной системе координат

Определитель (Δ) третьего порядка определяется из выражения:

$$\Delta = x_1 y_2 z_3 - x_1 y_3 z_2 + y_1 z_2 x_3 - y_1 z_3 x_2 + z_1 x_2 y_3 - z_1 x_3 y_2. \quad (5)$$

Подставив соответствующие значения векторов из выражения (4) в выражение (5), получим следующее выражение:

$$\Delta = -C_{2i} \cdot C_{2d} \cdot C_{2f}. \quad (6)$$

Пространственную область параллелепипеда можно определить с помощью тройного интеграла:

$$O = \int_{C_i}^{C_{i2}} dC_i \cdot \int_{C_d}^{C_{d2}} dC_d \cdot \int_{C_f}^{C_{f2}} f(C_i, C_d, C_f) \cdot dT. \quad (7)$$

Минимизация процесса регулирования будет определяться минимизацией затрат на проведение процесса очистки (т. е. минимизации ΔZ) при выполнении требований по минимизации экологической опасности (ΔC) после регулирования факторов рабочей сферы, которое определяется отклонением показателей от нормативного значения (C_n).

Но в модель включены только три фактора C_i , C_d , C_f , а в реальных условиях их гораздо больше и поэтому надо бы ввести C_j – излучения, C_s – шум и другие. Введение этих факторов требует перехода к четырёхмерному и пятимерному измерениям. Переход в четырёхмерное измерение выдвигает необходимость построения четырёхмерного объекта (пентатопа). Решение задачи минимизации в четырёхмерном пространстве может быть выполнено с применением задачи линейного программирования [13]. Однако, используя понятие лимитирующих факторов среды обитания, с помощью экспертной оценки, можно в дальнейшем ограничить число факторов тремя, лимитирующими, т.е. определяющими самочувствие и изменения в состоянии здоровья работника.

Минимизация экологической опасности ПВФ при применении систем регулирования факторов рабочей среды будет определяться следующей зависимостью:

$$f(O) \rightarrow -O_0 \text{ при } O \rightarrow -O_{\min}. \quad (8)$$

То есть появляется задача по определению функции $y=f(O)$, которая имеет пределом число O_0 при O стремящемся к O_{\min} при малом $\epsilon > 0$ при котором можно найти такое число $\delta > 0$, что соответствует определению I предела функции. Тогда

$$|f(O) - O_0| < \epsilon, \quad (9)$$

как только

$$|O - O_{\min}| < \delta.$$

Записывается это так:

$$\lim f(O) = O_0. \quad (10)$$

$$O \rightarrow -O_{\min}.$$

При анализе конкретных производственных моделей процессов регулирования факторов экологической ниши, для трех координатной системы необходимо определять значения ϵ , δ и χ . Экспертная оценка этих показателей и будет являться критерием минимизации математической модели экологической опасности ПВФ.

При исследовании в качестве основных точек, определяющих отклонения ϵ , δ и χ могут быть выбраны усреднённые показатели, определяемые по следующим выражениям:

$$\text{для } C_i, C_{0i} = \frac{C_{2i} - C_{1i}}{2}, \quad (11)$$

$$\text{для } C_d, C_{0d} = \frac{C_{2d} - C_{1d}}{2}, \quad (12)$$

$$\text{для } C_f \quad C_{of} = \frac{C_{2f} - C_{1f}}{2} . \tag{13}$$

Тогда можно записать:

$$C_{1i} + \epsilon < C_{0i} < C_{2i} - \epsilon , \tag{14}$$

$$C_{1d} + \delta < C_{0d} < C_{2d} - \delta , \tag{15}$$

$$C_{1f} + \chi < C_{0f} < C_{2f} - \chi , \tag{16}$$

при ϵ, δ и $\chi \rightarrow 0$.

4. 3. Построение вектора минимизации и вектора оптимизации параметров рабочей зоны человека

Рассмотрим две задачи, которые стоят перед исследователями биотехносферы. Первая задача, в соответствие с экологическим законом «минимума» Ю. Ф. Либиха [14], при организации рабочего места человека в производственной среде, как временного места обитания, необходимо обеспечить минимальные условия существования. А именно, параметры среды обитания, которые в инженерных расчетах называют допустимыми параметрами рабочей среды и определяют согласно ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 р. «Гігієнічна класифікація праці. Гігієнічні нормативи». Ниже этих параметров опускать показатель нельзя, т.к. за ними начинается зона угнетения состояния здоровья работника, снижения его производительности, результатом чего может быть заболевание или смерть. Вторая задача, в соответствие с законом толерантности Шелфорда [14], определяется оптимальными условиями процесса деятельности человека, условия которой соответствуют оптимальным параметрам рабочей зоны согласно ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 р. «Гігієнічна класифікація праці. Гігієнічні нормативи». Условия соответствуют комфортным.

Показателем минимизации процесса регулирования будет являться величина вектора O_1 , который будет определяться векторами $\bar{C}_{1i}, \bar{C}_{1d}, \bar{C}_{1f}$ рис. 4. Минимизация параметров будет определяться исходя из следующих требований:

$$\lim f(C_i) = \bar{C}_{1i} , \tag{17}$$

$$C_i \rightarrow -C_{imin} ,$$

$$\lim f(C_d) = \bar{C}_{1d} , \tag{18}$$

$$C_d \rightarrow -C_{dmin} ,$$

$$\lim f(C_f) = \bar{C}_{1f} , \tag{19}$$

$$C_f \rightarrow -C_{fmin} .$$

Следовательно, можно записать, исходя из выражения (10):

$$\lim f(O) = \min \bar{O}_1 = \min \bar{O}_{1min} . \tag{20}$$

$$O \rightarrow -O_{min} .$$

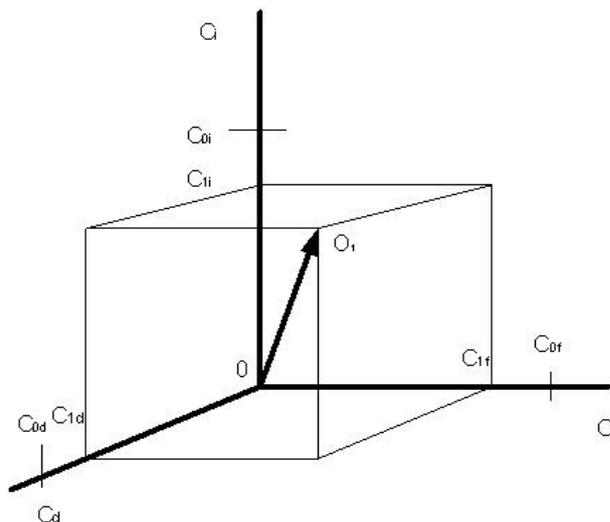


Рис. 4. Схема построения вектора O_1 по параметрам C_d, C_i, C_f в задаче минимизации

Показателем оптимизации процесса регулирования будет являться величина вектора O_0 , который будет определяться векторами $\bar{C}_{0i}, \bar{C}_{0d}, \bar{C}_{0f}$ (рис. 5). Минимизация параметров будет определяться исходя из следующих требований:

$$\lim f(C_i) = \bar{C}_{ni} , \tag{21}$$

$$C_i \rightarrow -C_{imin} ,$$

$$\lim f(C_d) = \bar{C}_{nd} , \tag{22}$$

$$C_d \rightarrow -C_{dmin} ,$$

$$\lim f(C_f) = \bar{C}_{nf} . \tag{23}$$

$$C_f \rightarrow -C_{fmin} .$$

Следовательно, можно записать, исходя из выражения (10):

$$\lim f(O) = \min \bar{O}_0 = \min \bar{O}_n . \tag{24}$$

$$O \rightarrow -O_{min}$$

В реальных условиях, рабочая зона и ее параметры отличаются от базовой модели. На рис. 6 представлена схема сравнения реальной геометрической модели с базовой моделью, построенной по вектору O_0 .

Параметры C_{dn}, C_{in}, C_{fn} характеризуют параметры приближенных к реальным моделям по вектору O_{01} (увеличение всех трех параметров равномерно), одного параметра C_{fn} (вектор O_{02}) или двух параметров C_{dn}, C_{in} (вектор O_{03}). Рассмотрение методики сравнения векторов и визуализации геометрического представления моделей в разных цветовых оформлениях, является темой отдельных исследований и отдельной статьи. Далее появляется задача определения уровня не оптимальности и определения динамичности экологической ниши, в условиях существующей техносферы. Указанные параметры могут уменьшаться по

одному параметру и увеличиваться по другим, а также наоборот. Изображения результатов анализа условий труда в графическом виде или в виде таблиц, не дают такого полного представления сложившейся ситуации, как геометрическая визуализация. Если вектора O_o и O_{o1} накладываются один на другой, то это означает, что условия оптимизированы и человек работает в оптимальных условиях, все остальные – характеризуют работу в не оптимальных условиях. Следовательно, можно записать условия оптимальности моделей по векторам в следующем виде:

$$O_o = O_{on}. \tag{25}$$

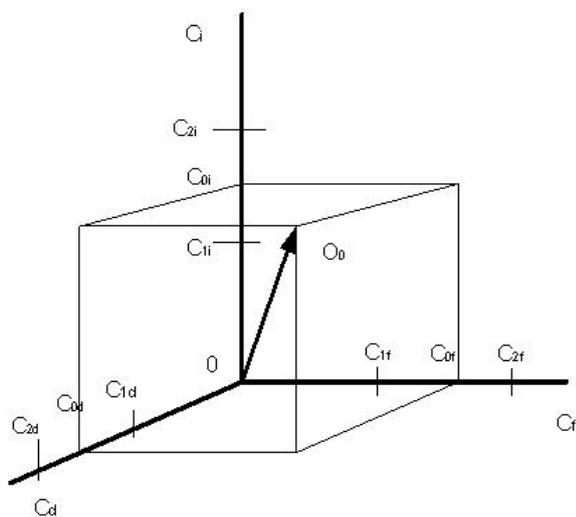


Рис. 5. Схема построения вектора O_o по параметрам C_d, C_i, C_f в задаче оптимизации

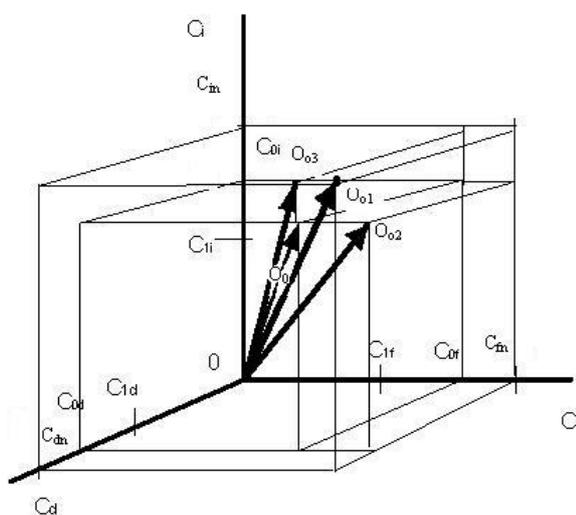


Рис. 6. Схема построения геометрических моделей с векторами O_{o2} и O_{o3} по параметрам C_{dn}, C_{in}, C_{fn} в задаче оптимизации

Таким образом, получив информацию в виде банка данных, который собирается при проведении аттестации рабочих мест по условиям труда, создается

компьютерная программа, которая анализирует расхождение векторов геометрических моделей экологической ниши (рабочей зоны), с учетом времени года, времени с начала работы и другим дополнительных условий, вносящих поправки в результаты анализа. На основании этих результатов выполняется анализ на оптимальность условиям труда, и разрабатываются мероприятия по их улучшению. Менеджер производства видит визуально на экране своего монитора состояние условий труда в виде геометрических моделей, а далее адекватно и своевременно реагирует. Такую же «картинку» наблюдает и инженер отдела охраны труда, что позволяет ему контролировать выполнение запланированных мероприятий по улучшению условий труда работников предприятия.

5. Выводы

1. Рассмотрены теоретические основы построения модели экологической ниши для сложных условий техносферы (рабочей среды) на базе теоретической модели Хатчинсона и показана возможность применения ее для визуализации системного анализа условий труда на предприятиях.

2. Базовые размеры геометрической модели определяются нормативными требованиями, которые отображаются в форме параллелепипеда. Используя базовую модель, как идеальную, для конкретных условий труда, визуально все остальные изображения, построенные на реальных параметрах, будут иметь расхождение с величиной вектора базовой модели. Величина отклонения векторов реальной от базовой модели, определяет нарушение нормативных показателей, что будет визуальной характеристикой соответствия нормативным требованиям условий труда на конкретном рабочем месте, как в статическом, так и динамическом положении.

3. Получено векторное выражение модели искусственной экологической ниши, формализованной по трем факторам окружающей среды по двум уровням – минимальный (допустимый) и оптимальный (комфортный). Данный подход обоснован экологическими законами минимума и законом толерантности применительно к существующим параметрам микроклимата.

Литература

1. Джиллер, П. Структура сообществ и экологическая ниша [Текст] / П. Джиллер. – М.: Мир, 1988. – 184 с.
2. J. Polechová, D. Storch. Ecological Niche. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopedia of Ecology, 2008, Pages 1088-1097, Current as of 31 October 2013.
3. Одум, Ю. Экология [Текст] : В 2-х т.; Т.1.; Пер. с англ. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
4. Antoine Guisan, Blaise Petitpierre, Olivier Broennimann, Curtis Daehler, Christoph Kueffer Unifying niche shift studies: insights from biological invasions Review Article Trends in Ecology & Evolution, Volume 29, Issue 5, May 2014, Pages 260-269.
5. Hutchinson, G. E. Concluding remarks [Text] / G. E. Hutchinson // Classics in Theoretical Biology. Bull. of Math. Biol. – 1991. – Т. 53. – С. 193–213.

6. Гиляров, А. М. Популяционная экология: Учебное пособие [Текст] / А. М. Гиляров. – М.: Изд-во МГУ, 1990 – 191 с.
7. Экологическая ниша [Электронный ресурс] // Экологический портал. – 2009. – Режим доступа: <http://ecology-portal.ru/publ/4-1-0-210>.
8. Modelling suitable estuarine habitats for *Zostera noltii*, using Ecological Niche Factor Analysis and Bathymetric LiDAR Original Research Article Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 94, Issue 2, 20 August 2011, Pages 144-154.
9. M. Valle, A. Borja, G. Chust, I. Galparsoro, J. M. Garmendia, N. Barve, V. Barve, A. Jim nez-Valverde, A. Lira-Noriega, S P. Maher, A. Townsend Peterson, J. Sober n, F. Villalobos. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling Original Research Article Ecological Modelling, Volume 222, Issue 11, 10 June 2011, Pages 1810-1819.
10. Геометричне моделювання екологічних систем з невизначеними параметрами [Текст] / О. С. Сидоренко, В. В. Халіль // Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності : матеріали 2 міжнародної наук. – практ. конф., м. Київ. – К. : Дія, 2013. – Вип. 2 - С. 173 - 175.
11. Maths. Multidimensional Algebra and Symmetry [Электронный ресурс] // Экологический портал. – 2014. – Режим доступа: <http://www.euclideanspace.com/maths/algebra/multidimensional/symmetry/index.htm>.
12. Филиппов, П. В. Начертательная геометрия многомерного пространства в линейном программировании [Текст] / П. В. Филиппов, Н. Т. Королев, И. В. Чистая. – Л. : Ленингр. ун-т, 1986. – 136 с.
13. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике [Текст] / М. Я. Выгодский. – М.: Наука, 1976. – 870 с.
14. Сапунов, В.Б. Экология и рациональное природопользование. Словарь-справочник. [Электронный ресурс] // Экологический портал. – 2011. – Режим доступа: http://sir35.ru/ekologiya_slovar_v

Авторами статті пропонується узагальнена змістовна процедура екологічного аудиту промислового підприємства, спрямована на пошук оптимальних шляхів зниження шкідливого впливу господарської діяльності підприємств на навколишнє середовище. Вказано на можливість застосування методик підтримки експертних рішень, що використовуються під час ОВНС, при виконанні екологічного аудиту промислових підприємств

Ключові слова: екологічний аудит, експертна система, нафтогазовий комплекс, навколишнє середовище, екологічний менеджмент

Авторами статті пропонується обобщенная содержательная процедура экологического аудита промышленного предприятия, направленная на поиск оптимальных путей снижения вредного воздействия хозяйственной деятельности предприятий на окружающую среду. Указано на возможность применения методик поддержки экспертных решений, разработанных для процедуры ОВОС, для экологического аудита промышленных предприятий

Ключевые слова: экологический аудит, экспертная система, нефтегазовый комплекс, окружающая среда, экологический менеджмент

УДК 004.89

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ЕКОЛОГІЧНОГО АУДИТА ОБ'ЄКТІВ НАФТО- ГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ ТА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

О. В. Мойсеєнко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: ksm@nung.edu.ua

Я. І. Заячук

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: ksm@nung.edu.ua

М. І. Мойсеєнко

Доктор біологічних наук, професор

Кафедра медичної інформатики,

медичної і біологічної фізики

Івано-Франківський національний медичний університет

вул. Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018

E-mail: farmmmi05@mail.ru

*Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Івано-Франківський національний

технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018

1. Вступ

Підприємства нафтогазової галузі є одним з чинників, що впливають на стан навколишнього середо-

вища (НС). Тому важливого значення набуває організація ефективного екологічного контролю за роботою таких підприємств. З урахуванням сучасних тенденцій розвитку промислових виробництв, пов'язаних,