

Сердюк Н. Н.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА КАК ОСНОВНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Рассмотрены вопросы, связанные с определением состояния сотрудника промышленного предприятия при совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов. Описаны модели, позволяющие определить состояние человека по набору параметров функционирования организма и учитывающие начальное состояние сотрудника, изменение данного состояния под воздействием комплекса вредных производственных факторов, а также возможный эффект от совместного воздействия данного комплекса.

Ключевые слова: *безопасность труда, комплекс вредных производственных факторов, параметры состояния сотрудника, система мониторинга.*

1. Введение

С ростом технологических возможностей производства увеличивается и масштаб последствий от аварий, а также опасность для здоровья и жизни сотрудников. Уровни воздействия на работающих сотрудников вредных производственных факторов (ВПФ) нормированы предельно-допустимыми уровнями, значения которых указаны в соответствующих стандартах системы стандартов безопасности труда и санитарно-гигиенических правилах. Однако на практике нередко встречается воздействие на человека одновременно нескольких производственных факторов среды, в результате чего возможны ухудшения состояния его здоровья, которые проявляются в наличии и развитии профессиональных заболеваний, возникающие как после однократного воздействия ВПФ, так и после многократного их воздействия. Данный вопрос освещался в медицинской и эргономической литературе [1–3].

Управленческое решение по обеспечению безопасности труда для каждого из сотрудников предприятия должно основываться на результатах определения состояния сотрудника и прогноза изменения этого состояния под воздействием комплекса ВПФ процессов и работ предприятия, в которых этот сотрудник участвует. Существующие модели и методы решения задач по обеспечению безопасности труда направлены на формирование и ведение учетной и справочной документации. Они не приспособлены для решения задач количественного контроля, анализа, прогноза и регулирования развития ситуаций, результаты которых могут использоваться при планировании или регулировании безопасности труда на объекте управления или его отдельных процессов. Актуальной проблемой предприятия в этом случае является создание безопасных условий труда в пределах существующих возможностей техники в целях сохранения здоровья и жизни людей.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объект исследования — система мониторинга безопасности труда на предприятии.

Сегодня промышленные компании стремятся, с одной стороны, уменьшить затраты, связанные с охраной здоровья и безопасностью труда, с другой стороны — повысить безопасность производства, эффективно управляя связанными с ним рисками для человека, и одновременно улучшить корпоративный имидж. Преследуя эти цели, предприятия всего мира еще с 1999 года внедряют у себя системы управления профессиональной безопасностью и здоровьем, ориентируясь на требования международного стандарта OHSAS 18001:2007 [4]. Национальная версия стандарта: ДСТУ OHSAS 18001:2010 «Система управління гігієною та безпекою праці» [5]. Этот стандарт направлен на деятельность предприятия в сфере охраны здоровья и безопасности труда. Он не рассматривает другие сферы, такие как программы улучшения здоровья или обеспечение безопасности продукции. OHSAS 18001 прекрасно совмещается со стандартами серии ISO 9000 (международный стандарт, который подтверждает наличие в компании действующей системы менеджмента качества, направленной на улучшение качества продукции либо услуг компании) [6] и ISO 14000 (международный стандарт, направленный на создание системы экологического менеджмента организации) [7]. Это совмещение позволяет создавать интегрированные системы и применим ко всем отраслям деятельности, где задействован труд человека, будь-то производство или услуги. Стандарт ДСТУ OHSAS 18001:2010 является стандартом, на основании которого производится анализ систем управления профессиональной безопасностью и здоровьем. Предпосылкой его разработки стала потребность компаний в эффективной работе по безопасности труда на рабочих местах и сохранению здоровья сотрудников. Одним из

основных показателей безопасности труда на предприятии является состояние здоровья сотрудников, который обеспечивает как работоспособность, так и высокую производительность труда. Учет, контроль, анализ и прогноз этого показателя возможен только при помощи системы мониторинга безопасности труда.

Учетная функция заключается в разработке или использовании уже готовых форм и методов учета состояния сотрудников как показателя безопасности труда предприятия. В общем случае учет можно определить как получение, регистрацию, хранение и предоставление информации о реальном состоянии сотрудников предприятия.

Функция контроля реализуется на основе данных учета, выявления отклонений от установленных показателей и анализа причин отклонений. Выполняется анализ специалистами в зависимости от сложности и уровня анализируемого объекта или процесса. Функцией контроля является предупреждение возникновения кризисных ситуаций и своевременное выявление проблем, которые могут развиваться в инцидент, для принятия неотложных мер по его недопущению.

Функция регулирования непосредственно сочетается с функциями контроля. В результате воздействия производственной среды на сотрудника происходит изменение его состояния, выявленное в ходе контроля и учета, что, в конечном счете, требует регулирования процесса и принятия решений о продолжении трудовой деятельности сотрудника на основе показателей его состояния.

Функции учета и контроля изменений параметров описания объекта служат для вынесения суждения об объекте в целом на основании анализа небольшого количества характеризующих его признаков. Данные функции объединяются в систему мониторинга изменений параметров описания объекта для вынесения суждения о состоянии данного объекта в целом и для улучшения процесса принятия решения.

Следует отметить, что основными исходными данными, характеризующими состояние сотрудников предприятия, являются результаты их медосмотра. Медосмотр сотрудников — обязательное законодательное условие. Оно дает работодателям право допустить вновь принятых лиц к исполнению их функциональных обязанностей, а сотрудникам — возможность выполнять свою работу.

Для повышения безопасности производства и сохранения здоровья сотрудников при создании и совершенствовании систем управления безопасностью труда, предприятия ориентируются на стандарт [4]. Согласно стандарту одним из основных показателей безопасности труда на предприятии является состояние здоровья сотрудников, которое обеспечивает работоспособность и высокую производительность труда. Определение состояния сотрудника как основного показателя в системе мониторинга безопасности труда и его изменения в ходе трудового процесса затруднительно из-за влияния целого комплекса факторов производственной среды, которые действуют на организм не изолированно.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования — исследование существующих и разработка новых моделей системы мониторинга безопасности труда, применение которых позволит определять и прогнозировать состояния человека при

совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить основной показатель безопасности труда в системе мониторинга безопасности труда на предприятии.
2. Разработать модель изменения состояния сотрудника при совместном воздействии на него комплекса вредных производственных факторов, действующих в процессах предприятия.
3. Разработать модель, учитывающую возможный эффект совместного воздействия комплекса вредных производственных факторов, действующих в процессах предприятия.
4. Разработать математическую модель определения состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов при выполнении процессов и работ предприятия.

4. Анализ литературных данных

Результаты гигиенических исследований свидетельствуют о том, что персонал в процессе осуществления своей трудовой деятельности подвергается воздействию целого комплекса факторов производственной среды и трудового процесса [8, 9]. Факторы производственной среды действуют на организм не изолированно. Проблема их комбинированного действия очень сложна и имеет множество вариантов. Для прогноза комбинированного воздействия факторов на организм сотрудника предприятия определенное значение имеет уровень, на котором действуют стрессы. Наиболее опасными будут те факторы, которые затрагивают большее число систем организма. На практике учитывать усреднение воздействия различных ВПФ на человека невозможно. В подавляющем большинстве случаев можно учитывать лишь комплексное воздействие группы ВПФ. При этом наиболее сильно может проявляться воздействие одного или нескольких ВПФ из данной группы, а воздействие остальных ВПФ носит, как правило, нелинейный характер, который в ряде случаев может приводить к серьезному усилению негативного воздействия остальных ВПФ на организм человека [10].

Изучение комбинированного влияния одновременно нескольких факторов на организм человека является одной из основных проблем современной биологии и медицины [11–17]. Если установлено воздействие комплекса факторов на состояние здоровья, работоспособность или отдельные функции организма, то для изучения их комбинированного воздействия необходимо учитывать следующее:

- 1) влияет ли на организм комплекс изучаемых факторов;
- 2) направленность влияния отдельных факторов на интегральные показатели здоровья или отдельные функции, в частности, вызывают ли исследуемые факторы их улучшение или ухудшение. В соответствии с этим решением решается вопрос о синергизме или антагонизме их воздействия;
- 3) взаимодействие влияния отдельных факторов. При этом устанавливают, чему равняется результат совместного действия факторов.

В классических моделях одновременного действия двух токсических (или фармакологических) агентов

были выделены три типа взаимодействия: аддитивизм, антагонизм и синергизм или кумулятивное воздействие. Эти три взаимодействия можно распространить и на другие стрессоры [18].

В результате воздействия ВПФ на организм сотрудника возможны ухудшения состояния его здоровья, проявляющиеся в наличии и развитии профессиональных заболеваний, которые могут возникать как после однократного воздействия ВПФ, так и после многократного их воздействия. На основе результатов аттестаций рабочего места и медицинских осмотров руководство предприятия должно принять управленческое решение по обеспечению безопасности труда для каждого из сотрудников предприятия [9, 19]. Это решение должно основываться на результатах определения состояния и прогноза изменения состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса ВПФ процессов и работ предприятия, в которых этот сотрудник участвует. Однако, как показано выше, существующие проблемы не позволяют формализовать процесс принятия подобных решений.

5. Материалы и методы исследования

Как было выше отмечено, согласно [4, 5] одним из основных показателей безопасности труда на предприятии является состояние здоровья сотрудников, которое обеспечивает как работоспособность, так и высокую производительность труда. Выберем некий показатель, который характеризует состояние организма человека. Существует два подхода к выбору такого показателя [16, 17, 20]. Первый подход основывается на том факте, что при отсутствии явной патологии организма все его системы функционируют взаимосвязано, что ведет к корреляции различных физических параметров. Поэтому достаточно выделить один (ведущий) параметр, по которому можно оценивать состояние организма. Выбор ведущего параметра состояния организма в конкретных условиях следует проводить на основании гигиенического анализа.

Другой подход к проблеме выбора численной величины для характеристики состояния заключается в комплексовании группы параметров с помощью выбранной функции многих переменных. Вид выбираемой функции имеет различную сложность, начиная от простейшей формулы суммирования баллов, до сложных функций, получаемых с помощью применения метода экспертных оценок, статистической обработки гигиенических данных и других методик.

Применим данный подход для описания множества состояний организма человека $SOST$, которое определяется как набор отдельных состояний, предложенный в [21], $sost_j \in SOST$. Множество $SOST$ конечно:

$$SOST = [sost_1^k, sost_2^k, \dots, sost_j^k, \dots, sost_n^k]. \quad (1)$$

Любое состояние из этого множества определяется набором параметров функционирования организма:

$$sost_j^k = \begin{bmatrix} par_{j1}^k \\ \dots \\ par_{jh}^k \\ \dots \\ par_{jp}^k \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где par_j — пороговое значение j -го измеряемого параметра, $j = 1, \dots, h, \dots, p$, которое позволяет сделать вывод о переходе одного состояния организма в другое. Тогда:

$$SOST = \left[\begin{bmatrix} par_{11} \\ \dots \\ par_{1p} \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} par_{n1} \\ \dots \\ par_{np} \end{bmatrix} \right]. \quad (3)$$

Параметр, характеризующий состояние человека, определяется исходя из вектора параметров человека в некий момент времени t :

$$sost_j^k(t) = \begin{bmatrix} par_{j1}^k(t) \\ \dots \\ par_{jp}^k(t) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $par_j(t)$ — значение j -го параметра, определяющего состояние организма человека под воздействием комплекса ВПФ ϕ^1, \dots, ϕ^m , $j = \overline{1, n}$.

В качестве параметров, характеризующих функционирование организма, можно использовать набор параметров, предложенный в [21], определяющих реакцию нервной и сердечно-сосудистой систем, как систем, наиболее типично реагирующих на совместное воздействие комплекса ВПФ. При определении состояния человека необходимо учитывать его начальное состояние, изменение состояния организма под воздействием комплекса ВПФ, зависящее только от воздействующих факторов в период изменения, а для прогноза состояния организма сотрудника еще необходимо учитывать эффект совместного воздействия комплекса ВПФ на организм:

$$sost_j \in SOST = \bar{w}(t_0) + \Delta \bar{w}(t) + \bar{R}(t, t_0) \cdot \Delta \bar{w}(t), \quad (5)$$

где $\bar{w}(t_0)$ — состояние организма в начальный момент времени t_0 ; $\Delta \bar{w}(t)$ — изменение состояния организма сотрудника за время t , $t \in [0, \dots, t_j, \dots, T]$; $\bar{R}(t, t_0)$ — функция, учитывающая эффект совместного воздействия комплекса ВПФ на организм человека.

Для того, чтобы определить состояние человека в конкретный момент времени по измеряемым параметрам, необходимо решить задачу классификации одного состояния из множества возможных состояний, определяемых на основе множества независимых параметров [22].

Данное представление задачи классификации позволяет использовать для определения внутреннего состояния организма человека в начальный момент времени t_0 метод, предложенный в [21]. Данный метод позволяет по результатам измерений рассчитать вероятность нахождения обследуемого сотрудника предприятия в каждом из состояний и выделить в качестве решения задачи классификации то состояние $sost_j(t)$, $j = 1, \dots, n$, вероятность нахождения в котором наивысшая. В основе этого метода лежит метод Naive Bayes [22], который позволяет рассчитать условную вероятность правильного определения состояния сотрудника по результатам измерений указанных параметров [21].

6. Результаты исследования

6.1. Разработка модели изменения состояния сотрудника при совместном воздействии на него комплекса ВПФ. Для определения изменения состояния организма

сотрудника за время трудового процесса при совместном воздействии на него комплекса ВПФ, которое носит нелинейный характер, применим модель Гаммерштейна [23] для системы (организма) с n внутренними параметрами — вектор состояния системы и m внешними воздействиями, зависящими от времени. Данная модель представляет собой последовательное соединение нелинейной статической и линейной динамической частей. Ядро уравнения является фредгольмовым ядром, оно линейно, симметрично и положительно, т. е. все его собственные значения положительны:

$$\Delta\bar{w}(t) = \Gamma_2(\bar{\Phi}(t), t_1, t_2) = \int_0^{t_2-t_1} \bar{w}(\tau) \cdot \bar{f}(\bar{\Phi}(t_2 - \tau)) d\tau, \quad (6)$$

где \bar{f} — вектор-функция преобразования входного воздействия вектор-функций ВПФ в описание реакции организма человека; $\bar{w}(\tau)$ — векторные функции (ядро модели), определяющие внутреннее состояние организма в момент измерения; τ — момент времени измерения; $\bar{w}(\tau) \cdot \bar{f}$ — скалярное произведение.

Классическая модель Гаммерштейна, представленная выражением (6), основана на предположении о возможности измерения параметров, определяющих состояние наблюдаемой биологической системы в любой момент времени из $[t_1, t_2]$. По отношению к сотруднику предприятия подобное предположение, как правило, не выполняется. Поэтому, выражение (6) предлагается модифицировать, исходя из предположения, что в начальный момент времени трудового процесса внутреннее состояние организма сотрудника остается неизменным и тогда модель (6) примет вид:

$$\Delta\bar{w}(t) = \Gamma_2(\bar{\Phi}(t), 0, T) = \bar{w}(\tau_0) \cdot \int_0^T \bar{f}(\bar{\Phi}(T - \tau)) d\tau, \quad (7)$$

где $\bar{w}(\tau_0)$ — векторная функция, определяющая внутреннее состояние организма человека в начальный момент времени τ_0 , причем любое состояние определяется набором параметров из выражения (2); $\bar{\Phi}(T - \tau)$ — вектор-функция воздействия вредных производственных факторов, определяемых за время $T - \tau$.

6.2. Разработка модели, учитывающей эффект совместного воздействия комплекса ВПФ. Как было выше отмечено, при совместном воздействии комплекса ВПФ выделяют три типа взаимодействия: аддитивизм (сумма совместного воздействия равна суммам отдельного воздействия фактора); антагонизм (сумма совместного воздействия меньше сумм отдельного воздействия фактора) и синергизм или кумулятивное воздействие (сумма совместного воздействия больше сумм отдельного воздействия фактора). Введем коэффициент, характеризующий возможное совместное влияние комплекса ВПФ на организм сотрудника:

$$\bar{R}(t, t_0) = R = \begin{cases} 1, & \text{если } sost_j(t) > sost_j(0), \\ 0, & \text{если } sost_j(t) = sost_j(0), \\ -1, & \text{если } sost_j(t) < sost_j(0). \end{cases} \quad (8)$$

Тогда эффект совместного воздействия комплекса ВПФ на организм человека можно записать в следующем виде:

$$\bar{R}(t, t_0) \cdot \Delta\bar{w}(t) = R \cdot \bar{w}(\tau_0) \cdot \int_0^T \bar{f}(\bar{\Phi}(T - \tau)) d\tau, \quad (9)$$

где $R \in [1, 0, -1]$.

6.3. Разработка математической модели определения состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса ВПФ. Таким образом, выражение (5) для определения и прогноза состояния человека в ходе выполнения профессиональной деятельности можно представить как:

$$\begin{aligned} sost_j \in SOST = & \bar{w}(\tau_0) + \bar{w}(\tau_0) \cdot \int_0^T \bar{f}(\bar{\Phi}(T - \tau)) d\tau + \\ & + R \cdot \bar{w}(\tau_0) \cdot \int_0^T \bar{f}(\bar{\Phi}(T - \tau)) d\tau. \end{aligned} \quad (10)$$

Для нахождения функции преобразования f входного воздействия комплекса ВПФ на человека в описание реакции организма сотрудника за время воздействия вредных производственных факторов из выражения (6), применим метод, предлагаемый в [2]. Такой метод широко применяется при исследовании воздействия вредных факторов на биологические системы. Взаимосвязь $\bar{f}(t)$ и $\bar{\Phi}(t)$ выражается как связь их детерминированных компонент через дифференциальное уравнение $\bar{f}'(t) + b f(t) = a \bar{\Phi}(t)$, при условии, что $\bar{f}(t_1) = 0$. При переходе к дискретному времени, получим уравнение множественной регрессии с отстающими по времени переменными:

$$\bar{f}(\bar{\Phi}(T - \tau)) = \sum_{i=1}^m \left[\int_0^{\infty} \omega(\tau) \Phi^{ik}(t - \tau) d\tau \right], \quad (11)$$

где $\omega(\tau)$ — импульсная переходная матрица-функция размером $m \times n$; Φ^{ik} — значение i -го вредного производственного фактора $i = 1, \dots, m$, действующего на одного k -го сотрудника в некий момент времени t .

Основным методом решения задачи нахождения переходной функции является составление уравнения Винера-Хопфа. Существует ряд методов решения уравнения Винера-Хопфа, которые основываются на дальнейшей параметризации задачи путем разложения $\omega(t)$ по заданной системе функций, либо перехода к дискретному времени [2]. И тогда определить изменения состояния организма сотрудника за время трудового процесса при совместном воздействии на него комплекса ВПФ можно при помощи следующего выражения:

$$\Delta\bar{w}(t) = \bar{w}(\tau_0) \cdot \int_0^T \sum_{i=1}^m \left[\int_0^{\infty} \omega(\tau) \Phi^{ik}(t - \tau) d\tau \right]. \quad (12)$$

Для описания эффекта совместного воздействия комплекса ВПФ на организм человека (9) с учетом выражения (12) предлагается использовать следующее выражение:

$$\bar{R}(t, t_0) \cdot \Delta\bar{w}(t) = \bar{R}(t, t_0) \cdot \bar{w}(\tau_0) \cdot \int_0^T \sum_{i=1}^m \left[\int_0^{\infty} \omega(\tau) \Phi^{ik}(t - \tau) d\tau \right]. \quad (13)$$

И тогда, учитывая выражение (2), позволяющее определить состояние человека набором функциональных параметров состояния организма и проведенные

исследования, выражение (10) можно представить следующим образом:

$$sost_j \in SOST = \begin{bmatrix} par_1(0) \\ \dots \\ par_h(0) \\ \dots \\ par_p(0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} par_1(0) \\ \dots \\ par_h(0) \\ \dots \\ par_p(0) \end{bmatrix} \cdot \int_0^T \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m \int_0^\tau \omega_1(\tau) \phi^{ik}(t-\tau) d\tau \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m \int_0^\tau \omega_h(\tau) \phi^{ik}(t-\tau) d\tau \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m \int_0^\tau \omega_p(\tau) \phi^{ik}(t-\tau) d\tau \end{bmatrix} dt +$$

$$+ R \cdot \begin{bmatrix} par_1(0) \\ \dots \\ par_h(0) \\ \dots \\ par_p(0) \end{bmatrix} \cdot \int_0^T \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m \int_0^\tau \omega_1(\tau) \phi^{ik}(t-\tau) d\tau \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m \int_0^\tau \omega_h(\tau) \phi^{ik}(t-\tau) d\tau \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m \int_0^\tau \omega_p(\tau) \phi^{ik}(t-\tau) d\tau \end{bmatrix} dt. \quad (14)$$

где $par_1(0), par_h(0), par_p(0)$ — значение 1-го, h -го и p -го измеряемого параметра, которое позволяет сделать вывод о переходе одного состояния организма в другое; $\omega_1(0), \omega_h(0), \omega_p(0)$ — импульсная переходная функция, определяющая изменение 1-го, h -го и p -го измеряемого параметра состояния организма под воздействием ВПФ.

6.4. Практическая реализация результатов исследования. Предложенные в работе математические модели являются основой для описания функциональных тре-

бований к первой очереди разработки информационной системы мониторинга безопасности труда. Исходной информацией для формирования представлений функциональных требований к системе мониторинга безопасности труда на предприятии являются публикации этих требований. В данном случае особенностью публикаций требований является их представление в виде математических формул (1)–(14). Подробно пример формирования представлений функциональных требований к системе мониторинга безопасности труда на предприятии представлен в [24]. Основываясь на данных требованиях, была разработана диаграмма классов данных функциональной структуры системы мониторинга безопасности труда. Для выделенных комплексов функциональных задач была разработана схема баз данных, приведенная на рис. 1.

В ходе программной реализации комплекса функциональных задач на основе разработанной схемы данных был спроектирован программный продукт, позволяющий автоматизировать решения задач определения и прогнозирования состояние сотрудника при совместном воздействии комплекса ВПФ. Пример интерфейса данного продукта приведен на рис. 2.

Результаты апробации разработанного программного продукта показывают, что применение результатов, изложенных в данной работе, позволяют выделить варианты управленческих решений руководством предприятия, которые определяют особенности дальнейшей трудовой деятельности сотрудника по результатам решения задачи прогноза его состояния. Варианты управленческих решений, которые могут быть приняты руководством предприятия по результатам определения состояния наблюдаемого сотрудника, приведены в табл. 1.

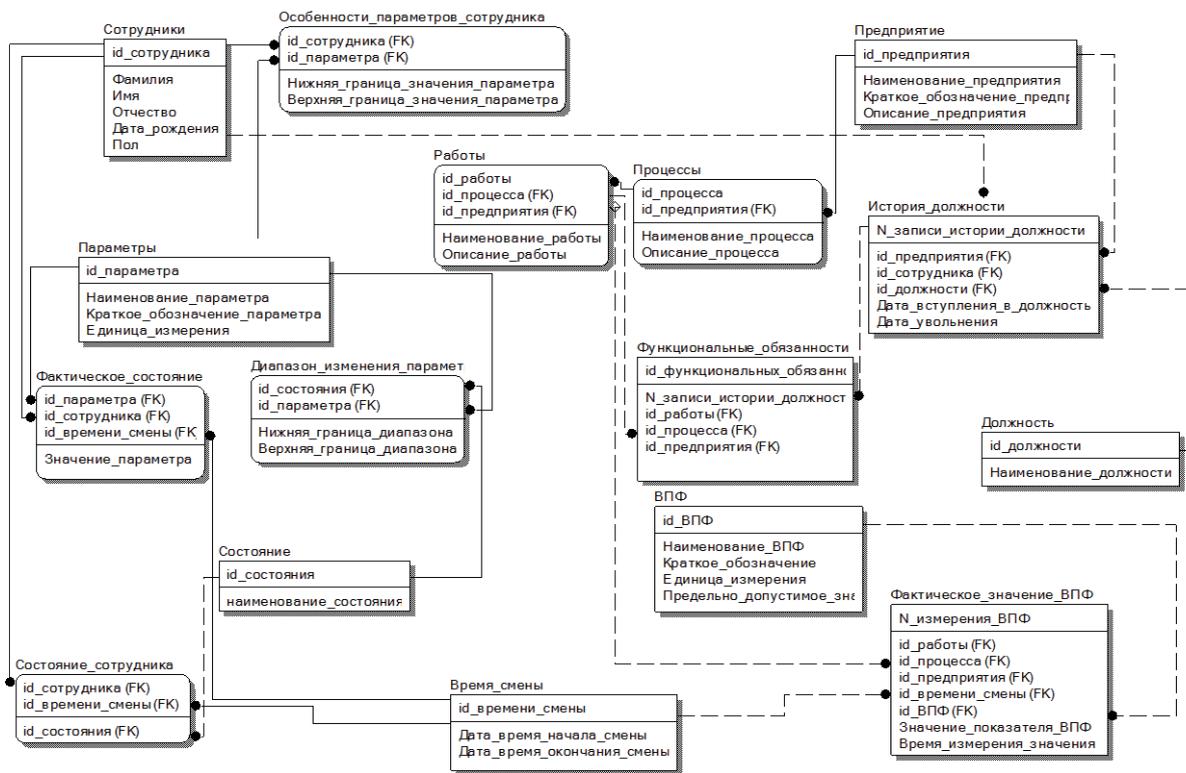


Рис. 1. Схема базы данных системы мониторинга безопасности труда на предприятии

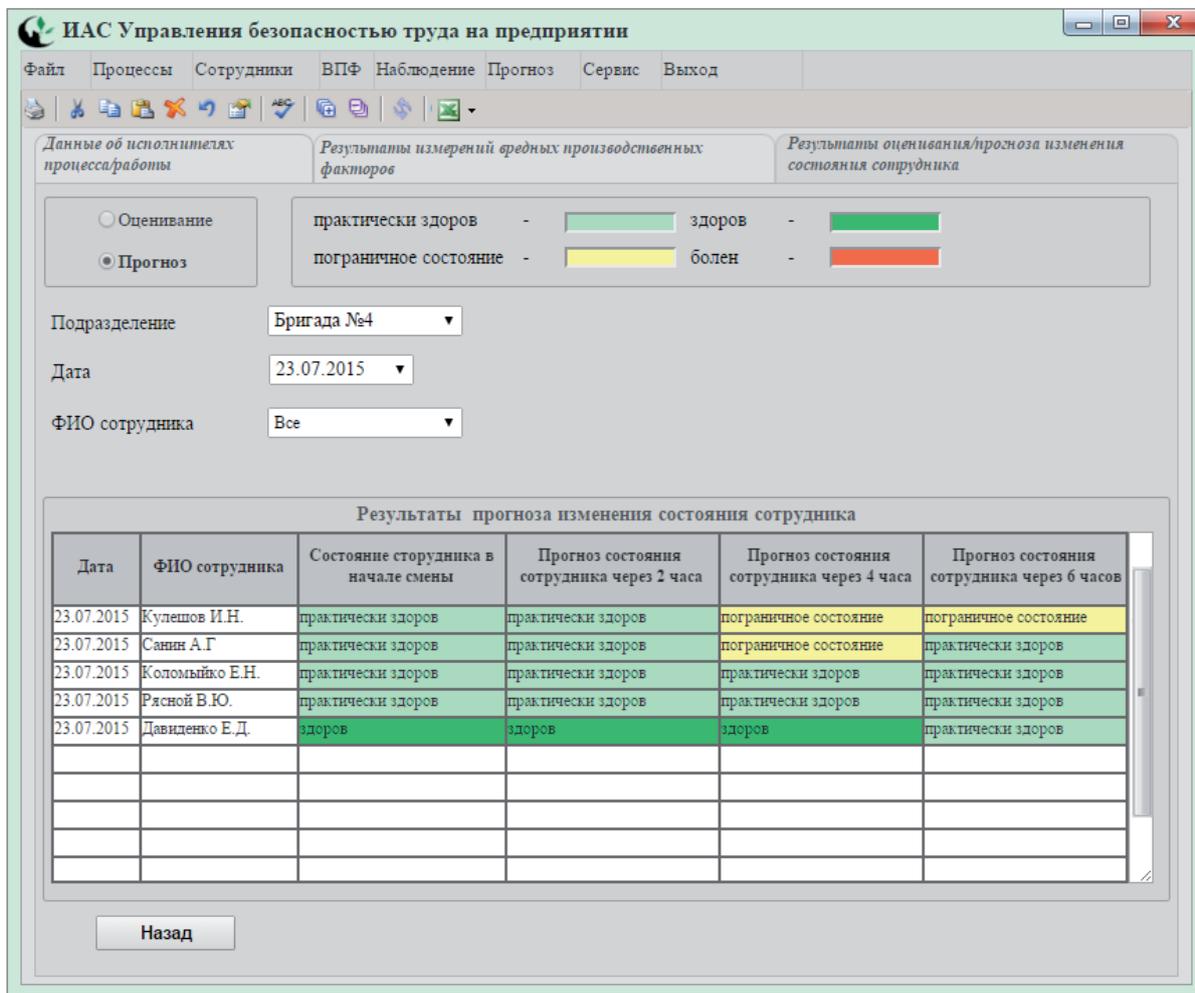


Рис. 2. Пример интерфейса программного продукта

Таблица 1

Варианты управленческих решений

Номер	Начальное состояние	Определяемое состояние	Описание варианта решения
1	«годен»	«годен»	Продолжение трудовой деятельности сотрудника
2	«годен»	«практически годен»	Продолжение трудовой деятельности сотрудника
3	«годен»	«пограничное состояние»	Продолжение трудовой деятельности сотрудника
4	«годен»	«не годен»	Выведение сотрудника из трудового процесса
5	«практически годен»	«годен»	Продолжение трудовой деятельности сотрудника
6	«практически годен»	«практически годен»	Продолжение трудовой деятельности сотрудника
7	«практически годен»	«пограничное состояние»	Продолжение трудовой деятельности сотрудника
8	«практически годен»	«не годен»	Выведение сотрудника из трудового процесса
9	«пограничное состояние»	«практически годен»	Продолжение трудовой деятельности сотрудника
10	«пограничное состояние»	«пограничное состояние»	Предупреждение о возможном выведении сотрудника из трудового процесса
11	«пограничное состояние»	«не годен»	Выведение сотрудника из трудового процесса
12	«не годен»	«пограничное состояние»	Предупреждение о возможном выведении сотрудника из трудового процесса
13	«не годен»	«не годен»	Выведение сотрудника из трудового процесса

Результаты апробации показывают, что принятие этих решений позволит сократить затраты, вызванные нетрудоспособностью сотрудника, подвергающегося воздействию вредных производственных факторов в ходе выполнения работ промышленного предприятия, что, в конечном итоге, сохраняет здоровье сотрудников и повышает безопасности производства.

7. SWOT-анализ результатов исследования

Strengths. Исходя из результатов моделирования, разработанная математическая модель определения состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов позволяет учитывать:

- начальное состояние сотрудника;
- изменение состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов;
- возможный эффект совместного воздействия комплекса ВПФ на организм человека.

Применение предложенной модели позволяет количественно определить состояние сотрудника предприятия и спрогнозировать изменение этого состояния.

Weaknesses. Слабые стороны данного исследования связаны с тем, что описание математических моделей изменения состояния сотрудника при совместном воздействии вредных производственных факторов даны в обобщенном виде, а реакция организма на это воздействие предполагается описать в виде реакции сердечно-сосудистой и нервной систем организма. В результате этого погрешности определения реакции организма на влияние ВПФ могут привести к погрешностям определения состояния сотрудника, что в итоге приведет к неверному управленческому решению. Для преодоления этого недостатка следует уделить внимание выбору доминирующих вредных производственных факторов, воздействие которых определяют основную реакцию организма сотрудников.

Opportunities. Однако, преодоление сложностей, рассмотренных выше, является и основой для перспектив дальнейших исследований с точки зрения конкретного предприятия. Зная весь комплекс вредных производственных факторов, действующих на предприятии, а также функции преобразования входного воздействия комплекса ВПФ в описание реакции организма сотрудника повышается точность определения состояния сотрудника и точность прогнозирования с учетом изменения состояния при воздействии ВПФ.

Threats. При внедрении в эксплуатацию системы мониторинга безопасности труда на основании разработанной модели определения и прогнозирования состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса ВПФ, основная сложность может возникнуть при:

- 1) определении комплекса ВПФ, действующих на конкретном предприятии;
- 2) определении весовой функции $\omega(t)$, определяющей изменение измеряемого параметра состояния организма под воздействием ВПФ;
- 3) определении параметров, характеризующих деятельность организма.

Данные проблемы могут быть решены за счет дополнительных гигиенических и медицинских исследований, что подразумевает использование дополнительных денежных и трудовых ресурсов. Однако принятие управленческих решений о работоспособности сотрудника на основе разработанной модели, реализуемой в системе мониторинга безопасности труда предприятия, позволяет избежать прямых экономических потерь, имиджевых потерь и дополнительной социальной ответственности в виде выплат.

8. Выводы

1. Предложено в качестве основного показателя безопасности труда на предприятии рассматривать состояние сотрудника, определяемое набором параметров, характеризующих деятельность организма, что позволит количественно определить состояние сотрудника

предприятия. Применение данного показателя позволит реализовать функциональные задачи учета, контроля, анализа состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса ВПФ и прогноза изменения этого состояния в системе мониторинга безопасности труда.

2. Для определения изменения состояния организма сотрудника за время трудового процесса при совместном воздействии на него комплекса ВПФ разработана математическая модель изменения состояния сотрудника, основанная на модели Гаммерштейна. Разработанная модель учитывает нелинейный характер биовоздействия отдельных ВПФ на организм человека, а также неизменное внутреннее состояние организма в начальный момент времени, что позволяет количественно оценить результаты воздействия на сотрудников в ходе выполнения профессиональной деятельности.

3. Для описания возможного эффекта совместного воздействия комплекса вредных производственных факторов предложена модель, которая учитывает совместное воздействие разнородных факторов на организм, что позволяет количественно спрогнозировать изменение состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов, действующих в процессах предприятия.

4. Для принятия управленческого решения о продолжении трудовой деятельности сотрудника предприятия, предложено использовать разработанную математическую модель определения состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов, которая учитывает:

- начальное состояние сотрудника;
- изменение состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса вредных производственных факторов;
- возможный эффект совместного воздействия комплекса ВПФ на организм человека.

Применение данной модели позволяет формализовать процесс принятия подобных управленческих решений за счет качественного определения состояния сотрудника по количественным показателям, характеризующих деятельность организма.

Литература

1. Боброва-Голоикова, Л. П. Эргономика и безопасность труда [Текст] / Л. П. Боброва-Голоикова, О. М. Мальцева, Н. А. Коханова, А. Н. Строкина. — М.: Машиностроение, 1985. — 112 с.
2. Дзюндзюк, Б. В. Основы безопасности эргатических систем [Текст] / Б. В. Дзюндзюк. — К.: УМК ВО, 1990. — 56 с.
3. Попович, П. Р. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов [Текст] / П. Р. Попович, А. И. Губинский, Г. М. Колесников. — М.: Машиностроение, 1985. — 272 с.
4. OHSAS 18001:2007. Система управления гигиеной и безопасностью труда [Электронный ресурс] // Консультационно-методический центр по сертификации в системах ISO. — 2014. — Режим доступа: \www/URL: <http://iso.kiev.ua/drugoe/sert-iso-18001.html>
5. ДСТУ OHSAS 18001:2010. Система управління гігієною та безпекою праці [Электронный ресурс] // ДНАОП — Законодавча база. — 2014. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.dnaop.com/html/34112/doc>
6. Серия стандартов ISO 9000: стандарты ISO 9001, ISO 9000, ISO 9004 и другие [Электронный ресурс] // ИНТЕРСЕРТ-УКРАИНА. — 08.10.2011. — Режим доступа: \www/URL: <http://intercert.com.ua/articles/regulatory-documents/66-iso-9001>
7. Серия стандартов ISO 14000 [Электронный ресурс] // ИНТЕРСЕРТ-УКРАИНА. — 08.10.2011. — Режим доступа: \www/URL: <http://intercert.com.ua/articles/regulatory-documents/67-iso-14000>

8. Сердюк, Н. Н. Функциональная задача оценки влияния вредных производственных факторов на человека [Текст] / Н. Н. Сердюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 4/4 (64). — С. 22–25. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/16334>
9. Ефремов, А. А. Комплексная оценка условий труда производственного персонала [Электронный ресурс] / А. А. Ефремов. — Режим доступа: \www/URL: http://www.rusnauka.com/20_DNII_2012/Tecnic/13_114146.doc.htm
10. Сердюк, Н. Н. Оценка здоровья человека при совместном действии вредных производственных факторов [Текст] / Н. Н. Сердюк // Вестник НТУ «ХПИ». — 2010. — № 17. — С. 46–50.
11. Григорьев, Ю. Г. Биоэффекты хронического воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона малых интенсивностей (стратегия нормирования) [Текст] / Ю. Г. Григорьев, А. В. Шафиркин, А. Л. Васин // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2003. — Т. 43, № 5. — С. 501–511.
12. Cleary, S. F. Microwave Radiation Effects on Humans [Text] / S. F. Cleary // BioScience. — 1983. — Vol. 33, № 4. — P. 269–273. doi:10.2307/1309041
13. Pakhomov, A. G. Frequency and intensity dependence of the Millimeter-wave radiation effect on isolated nerve function [Text]: Abstract Book / A. G. Pakhomov, H. K. Prol, S. P. Mathur et al. // Eighteenth Annual Meeting, Conference Centre, Victoria, B. C., Canada, June 9–14, 1996. — Bioelectromagnetics Society, 1996. — 289 p.
14. Velizarov, S. The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal [Text] / S. Velizarov, P. Raskmark, S. Kwee // Bioelectrochemistry and Bioenergetics. — 1999. — Vol. 48, № 1. — P. 177–180. doi:10.1016/S0302-4598(98)00238-4
15. Guy, A. W. Bioeffects of Long-Term Exposures of Animals [Text] / A. W. Guy // Radiofrequency Radiation Standards. — Springer Science + Business Media, 1995. — P. 311–326. doi:10.1007/978-1-4899-0945-9_31
16. Баевский, Р. М. Прогнозирование состояния на грани нормы и патологии [Текст] / Р. М. Баевский. — М.: Медицина, 1979. — 286 с.
17. Тихонова, Г. И. Эпидемиологическая оценка риска развития патологии при производственном воздействии электромагнитных полей радиочастотного диапазона [Текст] / Г. И. Тихонова // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2003. — Т. 43, № 5. — С. 559–564.
18. Маршалл, В. Основные опасности химических производств [Текст] / В. Маршалл. — М.: Мир, 1989. — 672 с.
19. Лысюк, Н. Условия труда на рабочих местах и их аттестация [Электронный ресурс] / Н. Лысюк // Всеукраїнська асоціація кадровиків (ВАК). — Режим доступа: \www/URL: <http://www.kadrovik.ua/content/usloviya-truda-na-rabochikh-mestakh-i-ikh-attestatsiya>
20. Погожев, И. Б. Применение математических моделей заболеваний в клинической практике [Текст] / И. Б. Погожев; под ред. Г. И. Марчука. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 192 с.
21. Евланов, М. В. Модели и метод определения состояния организма сотрудника предприятия [Текст] / М. В. Евланов, Н. Н. Сердюк // Вестник НТУ «ХПИ». — 2015. — № 21 (1130). — С. 163–169.
22. Барсегян, А. А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP [Текст] / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. — СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2008. — 384 с.
23. Сердюк, Н. Н. Модели типа Гаммерштейна для описания нелинейного воздействия группы факторов на организм человека [Текст] / Н. Н. Сердюк // Радиоэлектроника и информатика. — 2006. — № 1. — С. 111–113.
24. Евланов, М. В. Формирование и анализ требований к информационно-аналитической системе управления безопасностью труда на предприятии [Текст] / М. В. Евланов, Н. Н. Сердюк // Технологический аудит и резервы производства. — 2015. — № 4/3 (24). — С. 41–45. doi:10.15587/2312-8372.2015.47972

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЛЮДИНИ ЯК ОСНОВНОГО ПОКАЗНИКА В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Розглянуті питання, пов'язані з визначенням стану працівника промислового підприємства при спільному впливі комплексу шкідливих виробничих факторів. Описано моделі, які дозволяють визначити стан людини через набір параметрів функціонування організму і враховують початковий стан співробітника, зміни цього стану під впливом комплексу шкідливих виробничих факторів, а також можливі наслідки від дії цього комплексу.

Ключові слова: безпека праці, комплекс шкідливих виробничих факторів, параметри стану співробітника, система моніторингу.

Сердюк Наталія Николаевна, ассистент, кафедра охраны труда, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: nataliya.serdyuk@nure.ua.

Сердюк Наталія Миколаївна, асистент, кафедра охорони праці, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Serdyuk Nataliya, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: nataliya.serdyuk@nure.ua