

УДК 658.11.05.06

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.195755

Усовершенствование математической модели изменения состояния организма сотрудника предприятия

М. В. Евланов, Н. Н. Сердюк, А. Б. Фещенко, Т. В. Дуюнова, Н. В. Кириенко, И. А. Черепнев, Л. В. Пивненко, В. И. Дьяконов

Сучасні моделі управління безпекою праці на підприємстві мають ряд недоліків. Головним недоліком подібних моделей є їх спрямованість на аналіз інцидентів чи нещасливих випадків на підприємстві, які вже відбулися. Крім того, існуючі моделі погано враховують вплив кількох виробничих факторів один на інший під час їх сукупного впливу на організм співробітника.

Для усунення цих недоліків поставлено задачу вдосконалення математичної моделі зміни стану організму співробітника підприємства. Як вихідна модель зміни стану організму співробітника підприємства розглянута модель Гаммерштейна. В процесі її вдосконалення для ситуацій неможливості чи сильного обмеження використання технологій відстежування стану співробітника виділено окремий компонент моделі, який описує стан співробітника безпосередньо перед початком робочої зміни. Для оцінювання взаємного впливу різних виробничих факторів замість векторної функції, яка описує загальний вплив факторів на організм співробітника, в модель введено набір рівнянь множинної регресії, які описують сукупний вплив факторів на окремі параметри стану організму співробітника.

Апробація вдосконаленої моделі проводилася на промисловому підприємстві на прикладі бригади зварювальників (5 осіб). Для оцінювання їх стану використовувались систолічний артеріальний тиск, діастолічний артеріальний тиск, частота серцевих скорочень та час реакції на світловий подразник. Наведені в статті результати дозволяють зробити висновок про адекватність запропонованої моделі результатам впливу виробничих факторів на організми робітників, які спостерігалися. Відзначено, що результати моделювання в більшості випадків незначно перевищують результати прямих вимірів

Ключові слова: безпека праці, виробничий фактор, стан організму співробітника, модель Гаммерштейна, функціональний модуль

1. Введение

В настоящее время резко возросла необходимость повышения эффективности использования высококвалифицированных сотрудников в бизнес-деятельности предприятия. Результаты приведенного в [1] анализа позволяют утверждать, что данная проблема возникла в результате действия целого ряда факторов. Среди этих факторов в [1] отдельно выделены существующие нарушения трудовых прав работников, а также недостатки в системе безопасности и охраны труда.

Для решения проблемы нехватки квалифицированных трудовых ресурсов в [1] предлагалось осуществить целый ряд комплексных мероприятий. Среди этих мероприятий были особо выделены работы по внедрению международных стандартов касательно условий и охраны труда на производстве. Примером такого стандарта является международный стандарт OHSAS 18001:2007 Occupational Health and Safety Management Systems [2]. Этот стандарт описывает требования к системе менеджмента гигиены труда и техники безопасности – Occupational Health and Safety (OH&S) для устранения или минимизации рисков персонала предприятия.

Согласно стандарту [2], отправной точкой для создания подобной системы является сам работник – человек, с его конкретными физическими, физиологическими и ментальными особенностями. Такой подход к построению системы менеджмента OH&S подразумевает зависимость функционирования предприятия и особенно его результативности (эффективности) от уровня мотивации работников, степени учета их интересов, обеспечения безопасности труда, реализации личностных устремлений человека и т. п. Поэтому основным назначением подобной системы следует считать превентивную работу по обеспечению профессиональной безопасности и здоровья персонала, а также внедрение системного подхода к управлению такой работой. В частности, построенная по требованиям стандарта [2] система менеджмента OH&S способствует решению следующих основных задач:

- а) идентификация контроля рисков для здоровья и безопасности персонала и других лиц;
- б) снижение вероятности травм, ухудшения здоровья и других инцидентов;
- в) соответствие условий труда персонала и других лиц нормативно-правовым требованиям;
- г) повышение общей эффективности работы персонала.

Для реализации системы менеджмента OH&S чаще всего предлагается использовать существующие решения в области разработки и эксплуатации систем управления персоналом – Human Resources Management System (HRMS). Такой подход стал одной из причин того, что сегмент HRMS является сейчас одним из наиболее быстро развивающихся на мировом рынке бизнес-приложений. Однако отрицательным следствием данного подхода стали сложности разработки отдельных обеспечивающих систем для HRMS. Существующие HRMS представляют собой сложные системы, включающие в себя взаимосвязанные и взаимозависимые подсистемы создания, использования и развития персонала предприятия [3]. Основной целью применения HRMS для решения проблемы нехватки квалифицированных трудовых ресурсов является привлечение и удержание квалифицированных сотрудников, имеющих наибольшую ценность для бизнес-процессов предприятия. Поэтому решения по созданию и развитию HRMS в сильной степени зависят от конкретной кадровой политики предприятия [3]. Такая политика характеризуется множеством слабо формализуемых или неформализуемых параметров, часть из которых имеет прямое отношение к психологии. Следует также отметить, что на многих предприятиях выработка кадровой политики и ее воплощение в виде системы менеджмента

ОН&S чрезвычайно затруднительно. Основной причиной этого является отсутствие пригодных для таких предприятий подходов, моделей и методов организации управления человеческими ресурсами и, в том числе, управлением безопасностью труда. Поэтому проведение исследований в данной области является одной из наиболее актуальных задач.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Одним из обязательных условий повышения эффективности управления в системах менеджмента ОН&S является автоматизация процессов управления. Однако подобные условия в соответствующем сегменте современного ИТ-рынка очень часто не выполняются. Основой данного сегмента являются информационные системы (ИС) формирования и проводок документов отделов охраны труда, профессиональной безопасности труда и гигиены предприятия. Так, ИС «Труд-Эксперт. Управление» [4] следует считать примером удачной ИС управления ОН&S. Однако и в данной ИС основными функциями являются функции документальной поддержки работ по охране труда на предприятии. Аналогичное положение наблюдается в модуле «Охрана труда» Автоматизированной Системы управления промышленной безопасностью и охраной труда [5].

Примером наиболее распространенных ИС данного сегмента ИТ-рынка является автоматизированная ИС «Охрана труда» [6]. Она включает в себя следующие функции:

- а) планирование мероприятий, направленных на обеспечение здоровых и безопасных условий труда работников;
- б) автоматизированная аттестация рабочих мест и персонала;
- в) учет средств индивидуальной защиты;
- г) учет результатов проведения медосмотров;
- д) подготовка отчетных форм.

Необходимо отметить, что применение типовых ИС управления ОН&S в разных регионах мира ограничено. Так, например, специализированные ИС управления ОН&S на украинском ИТ-рынке практически полностью отсутствуют. Однако предложение в данном сегменте ИС [4–6] или им подобных чрезвычайно затруднительно. При этом важную роль приобретают правовые ограничения применения подобных систем. Эти ограничения могут быть вызваны действием следующих факторов:

- а) несоответствие законодательной базы мероприятий по управлению безопасностью труда региона-разработчика и региона-потребителя ИС управления ОН&S;

- б) правовая политика протекционистской защиты рынка от иностранных ИТ-продуктов;

- в) ограничения на поставку ИС и других ИТ-продуктов в отдельные регионы (например, ограничения на поставку ИТ-продуктов компаний Microsoft и Oracle предприятиям РФ, ограничения на поставку ИТ-продуктов компании «1С» предприятиям Украины и т.п.) и другие факторы.

Подобная ситуация характерна не только для украинского сегмента ИТ-рынка ИС управления ОН&S. Несмотря на стремительный рост количества

предложений подобных ИС в промышленно развитых странах, большинство из них автоматизируют выполнение далеко не всех функций стандарта [2]. Одной из важных причин такого несоответствия следует считать рассмотренное в [7] различие двух основных точек зрения на управление человеческими ресурсами: институциональной теории и взгляд на основе ресурсов. Функции HRM-ИС формируются преимущественно на основе институциональной теории. Однако в [7] показано: достижение высокой производительности предприятия возможно только в случае комбинирования следующих моделей и методов:

а) общие модели и методы управления человеческими ресурсами на основе институциональной теории;

б) модели и методы управления малыми группами и отдельными сотрудниками предприятия, являющиеся следствиями взгляда на основе ресурсов.

Зависимость производительности от эффективного управления персоналом предприятия подтверждена в [8] для предприятий обрабатывающей сферы. В [8] также утверждается, что представление модели производительности предприятия в виде одного или системы структурных уравнений позволит в дальнейшем стать основой для разработки управленческого инструмента повышения производительности.

Применительно к ИС управления ОН&S данные выводы означают необходимость проведения исследований в области разработки и совершенствования моделей и методов, которые позволяли бы описать отдельного сотрудника предприятия как важный ресурс. Здесь можно выделить несколько направлений исследований. Одно из этих направлений заключается в разработке общих моделей управления безопасностью труда персонала на предприятиях различного типа. Данное направление существует, главным образом, из-за недостаточного количества предложений ИС для различных типов предприятий. Так, в [9] предложена общая модель управления охраной труда малыми и средними предприятиями Италии. Пример построения ИС управления производительностью работника строительной компании на основе модели производительности, позволяющей сократить количество несчастных случаев и заболеваний, рассмотрен в [10].

Другие, базовые направления данных исследований во многом определяются результатами разработки и совершенствования технологий обнаружения и отслеживания, работающих в режиме реального времени. Такие технологии и средства на их основе широко используются для автоматического мониторинга местоположения и состояния рабочих, оборудования и других ресурсов для предотвращения воздействия вредных производственных факторов и потенциальных аварий. Проведенный в [11] обзор позволил выделить следующие основные области применения этих технологий для автоматизации процессов управления безопасностью труда:

- мониторинг безопасности труда;
- предотвращение несчастных случаев;
- выработку сценариев безопасного поведения;
- выделение ситуационных тревог и предупреждений о нарушении безопасности;
- эргономический анализ и мониторинг физиологического состояния;

- управление безопасностью на основе коммуникаций;
- оценка эффективности данных технологий и технологий, созданных на их основе;
- обучение технике безопасности на рабочих местах.

Первое из базовых направлений данных исследований обусловлено невозможностью или слабыми возможностями по применению рассмотренных выше технологий в одной или нескольких рассмотренных областях управления безопасностью труда. Такая ситуация возникает, прежде всего, из-за отсутствия необходимого объема знаний о предметной области. Поэтому данное направление посвящено, главным образом, разработке моделей, мета-моделей и методов управления безопасностью труда на предприятиях различных типов, основанных на знаниях. Так, в [12] рассмотрено применение ментальных моделей для анализа существующих рисков и методов расширения возможностей безопасного поведения рабочих дорожно-строительных компаний. В [13] описаны исследования по применению мета-синтеза и интерпретивного структурного моделирования для выявления индивидуальных когнитивных факторов, влияющих на опасные действия рабочих промышленных предприятий Ирана. В [14] рассмотрены вопросы применения некоторых современных технологий для сбора и обработки знаний о поведении работников в динамически изменяющихся средах на примере строительной компании. В [15] рассмотрены вопросы применения карт систематических данных для восполнения пробелов в объектных данных о состоянии человека и решения других задач управления рисками для здоровья, связанных с воздействием химических веществ.

Второе из базовых направлений данных исследований обусловлено положительным решением о возможности применения специальных технологий обнаружения и отслеживания состояния сотрудников предприятия. В этом направлении основное внимание уделяется разработке и совершенствованию моделей и методов количественного оценивания и анализа состояния и поведения конкретного сотрудника с точки зрения безопасности его труда. Так, в [16] рассматривается решение задачи определения оптимального времени работы оператора агрегата механического сбора оливок как поиска компромисса между эффективностью процесса уборки и безопасностью здоровья оператора. В [17] рассматривается подход к автоматическому сбору данных, их обработке и последующему биомеханическому анализу поведения рабочих для предотвращения эргономических рисков на строительных предприятиях. Следует отметить, что данные задачи решались в [17] с использованием минимального количества технологий обнаружения и отслеживания состояния сотрудников предприятия. В [18] рассматривается решение задачи распознавания и анализа поведения рабочих с применением методов распознавания глубоких действий и байесовской непараметрической скрытой полумарковской модели. Проблемы построения ИС, позволяющей автоматизировать решение задачи назначения производственных задач конкретному работнику с дополнительной минимизацией затрат, обеспечением возможности повышения квалификации работника и безопасности его труда, рассмотрены в [19]. В данной ИС автоматизация постав-

ленных задач осуществляется с применением нейронной сети и генетического алгоритма недоминированной сортировки и методов принятия решений.

Однако в настоящее время практически нерешенными остаются вопросы, связанные с прогнозом и предупреждением возникновения несчастных случаев в ходе выполнения процессов предприятия. Возможно, данная ситуация возникла из-за того, что большинство рассмотренных выше моделей и методов можно считать элементами апостериорного анализа безопасности труда. Апостериорный анализ выполняется уже после того, как произошли события, вызванные воздействием вредных факторов производственной среды и приведшие к травме или ухудшению здоровья. Следствием применения такого анализа является увеличение затрат как сотрудника (для восстановления работоспособности), так и предприятия (в рамках правовых обязательств и собственной политики в сфере охраны здоровья и безопасности труда).

В связи с этим возникает необходимость разработки новых и усовершенствования уже существующих моделей и методов, позволяющих решать задачи предупреждения несчастных случаев или снижения производительности вследствие ухудшения состояния сотрудников предприятия. При решении данной проблемы предлагается также учесть стремление владельцев и руководства предприятия сократить непроизводительные затраты на приобретение и эксплуатацию специальных технологий обнаружения и отслеживания, работающих в режиме реального времени. Поэтому наиболее перспективными в данной области следует признать исследования в области разработки новых и усовершенствования существующих математических моделей анализа изменения состояния сотрудника. Такие модели должны количественно оценивать состояние и затем прогнозировать динамику его изменения для каждого конкретного сотрудника предприятия до начала выполнения им ежедневной профессиональной деятельности.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является усовершенствование моделей количественного контроля и анализа состояния сотрудника как показателя профессиональной безопасности труда и профессионального здоровья на объекте управления (предприятии). Применение усовершенствованных моделей должно позволить определить состояние сотрудника и изменение этого состояния под воздействием производственных факторов в ходе выполнения работ промышленного предприятия.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изменить параметры существующей математической модели, описывающие реакцию организма сотрудника предприятия на действие производственных факторов;
- провести апробацию полученных решений в ходе разработки и валидации функционального модуля информационной системы управления ОН&S предприятия.

4. Результаты изменения параметров существующей математической модели, описывающих реакцию организма сотрудника предприятия на действие производственных факторов

Для решения задач количественного контроля и анализа состояния сотрудника как показателя профессиональной безопасности труда и профессионального здоровья на объекте управления необходимо ввести следующие определения.

Множество состояний организма человека предлагается обозначить как $SOST$. Состояние k -го сотрудника определяется как $sost_j^k \in SOST$, $j = \overline{1, n}$ [20]. Любое состояние из множества $SOST$ определяется набором параметров функционирования организма k -го сотрудника

$$sost_j^k = \begin{bmatrix} par_{j1}^k \\ \dots \\ par_{jh}^k \\ \dots \\ par_{jp}^k \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где par_{jh}^k – значение h -го измеряемого параметра организма k -го сотрудника, $h=1, \dots, p$.

Тогда

$$SOST = \left[\begin{bmatrix} par_{11} \\ \dots \\ par_{1p} \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} par_{n1} \\ \dots \\ par_{np} \end{bmatrix} \right]. \quad (2)$$

Опишем изменение состояния организма человека под воздействием комплекса факторов производственной среды, зависящее только от воздействия этих факторов. Для этого необходимо учитывать начальное состояние человека и комплекс действующих на организм этого человека факторов производственной среды $\phi^1, \dots, \phi^m, \phi^i, i = \overline{1, m}$ – действующий на организм i -й фактор.

$$sost_j^k \in SOST = \vec{w}(t_0) + \Delta \vec{w}(t), \quad (3)$$

где $\vec{w}(t_0)$ – состояние организма сотрудника в начальный момент времени; $\Delta \vec{w}(t)$ – изменение состояния организма сотрудника под воздействием комплекса производственных факторов за время $t, t \in [0, \dots, t_j, \dots, T]$.

Для определения изменения состояния организма сотрудника за время трудового процесса при совместном нелинейном воздействии на организм комплекса факторов производственной среды применим модель Гаммерштейн-

на [21]. Данная модель разработана для системы (организма) с n внутренними параметрами – вектор состояния системы – и $\vec{\Phi}(t)$ – m внешними воздействиями, зависящими от времени:

$$\Delta \vec{w}(t) = \Gamma(\vec{\Phi}(t), t_1, t_2) = \int_0^{t_2-t_1} \vec{w}(t) \cdot \vec{f}(\vec{\Phi}(t_2 - \tau)) d\tau, \quad (4)$$

где $\vec{f}(\vec{\Phi}(t_2 - \tau)) d\tau$ – векторная функция преобразования входного воздействия факторов на организм человека в описании реакции данного организма.

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. Без ограничения общности будем считать систему однородной, т. е. выдерживающей сдвиг по времени, и положим $t_1=0; t_2=T$ – время наблюдения.

Данное выражение можно рассматривать как модель изменения состояния сотрудника при совместном воздействии комплекса факторов за время наблюдения. Классическая модель Гаммерштейна, представленная выражением (4), основана на предположении о возможности измерения параметров, определяющих состояние наблюдаемой биологической системы в любой момент времени из $[t_1, t_2]$. Подобное предположение в условиях невозможности или сильной ограниченности применения специальных технологий обнаружения и отслеживания состояния сотрудника в режиме реального времени, как правило, не выполняется. Поэтому, выражение (4) предлагается модифицировать, исходя из предположения, что в начальный момент времени трудового процесса внутреннее состояние организма сотрудника остается неизменным. Тогда модель (4) примет вид:

$$\Delta \vec{w}(t) = \Gamma(\vec{\Phi}(t), 0, T) = \vec{w}(\tau_0) \cdot \int_0^T \sum_{i=1}^m \left[\int_0^\infty \omega(\tau) (\phi^{ik}(t - \tau)) d\tau \right], \quad (5)$$

где $\vec{w}(\tau_0)$ – векторная функция, определяющая внутреннее состояние организма человека в начальный момент времени τ_0 , причем любое состояние определяется набором параметров из выражения (1); $\omega(\tau)$ – импульсная переходная матрица-функция размером $m \times n$, которая отражает конкретную не изменяющуюся взаимосвязь между изменяющимися во времени производственными факторами и набором параметров, характеризующих физиологическое и психофизиологическое состояние человека в момент времени τ [20]; ϕ^{ik} – i -ый производственный фактор, который действует на k -го сотрудника предприятия.

Математическая модель зависимости между результатами измерения воздействия факторов и реакцией организма наблюдаемого сотрудника на это воздействие можно представить следующим образом

$$f\left(\mu_{\phi^{ik}(t)}\right) = \int_0^{\infty} \omega(\tau) \mu_{\phi^{ik}(t)}(t - \tau) d\tau, \quad (6)$$

где $\mu_{\phi^{ik}(t)}$ – показатель вредности процесса на сотрудника для m значений величины i -го фактора, действующего на k -го сотрудника в момент времени [20].

Взаимосвязь $f(t)$ и $\mu_{\phi^{ik}(t)}$ выражается как связь их детерминированных компонент через дифференциальное уравнение $f(t) + bf(t) = a\mu_{\phi^{ik}(t)}$, при условии, что $f(t_1)=0$. Такая модель применяется при исследовании воздействия вредных факторов на биологические системы [21, 22]. При переходе к дискретному времени измерения, получим уравнение множественной регрессии с отступающими по времени переменными:

$$\vec{f}(\vec{\phi}(T - \tau)) = \sum_{i=1}^m \left[\int_0^{\infty} \omega(\tau) (\phi^{ik}(t - \tau)) d\tau \right], \quad (7)$$

Основным методом решения задачи нахождения переходной функции $\omega(\tau)$, устанавливающей конкретный вид зависимости между результатами измерения воздействия производственных факторов и реакцией организма наблюдаемого сотрудника на это воздействие, является составление уравнения Винера-Хопфа. Существует ряд методов решения уравнения Винера-Хопфа, которые основываются на дальнейшей параметризации задачи путем разложения $\omega(\tau)$ по заданной системе функций, либо перехода к дискретному времени. Данная функция позволяет установить зависимость реакции любого организма на совместное воздействие производственных факторов.

Определяя состояние сотрудника по набору из параметров в соответствии с выражением (1) и учитывая все предложенные выше усовершенствования, модель (5) можно представить следующим образом:

$$\Delta \vec{w}(t) = \Gamma_2(\mu_{\phi^k(t)}, t_1, t_2) = \int_0^{t_2-t_1} \begin{bmatrix} par_1(0) \\ \dots \\ par_h(0) \\ \dots \\ par_n(0) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m \int_0^\infty \omega_1(\tau) \mu_{\phi^{ik}(t)}(t-\tau) d\tau \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m \int_0^\infty \omega_h(\tau) \mu_{\phi^{ik}(t)}(t-\tau) d\tau \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m \int_0^\infty \omega_n(\tau) \mu_{\phi^{ik}(t)}(t-\tau) d\tau \end{bmatrix} dt, \quad (8)$$

где $par_1(0), \dots, par_h(0), \dots, par_n(0)$ – параметры организма сотрудника для определения состояния в начальный момент времени; $\omega_1(\tau), \dots, \omega_h(\tau), \dots, \omega_n(\tau)$ – импульсная переходная матрица-функция описания реакции организма на воздействие действующих производственных факторов; $\mu_{\phi^{ik}(t)}$ – показатель вредности процесса на сотрудника для m значений величины i -го фактора, действующего на k -го сотрудника в момент времени.

Таким образом, становится возможным определить с помощью выражений (1)–(3) состояние сотрудника по измеряемым параметрам организма сотрудника непосредственно перед началом его трудовой деятельности. Усовершенствованная модель (8) позволяет определить изменение состояния организма сотрудника под воздействием производственных факторов за время выполнения этим сотрудником производственных заданий.

5. Апробация полученных решений в процессе валидации функционального модуля информационной системы управления ОН&S предприятия

Экспериментальная проверка усовершенствованной модели (8) проводилась в процессе валидации функционального модуля безопасности труда. Перечень функциональных требований к данному модулю рассмотрен в [23]. Результаты анализа этих требований приведены в [24]. Результаты синтеза описания архитектуры данного функционального модуля изложены в [25].

Валидация функционального модуля безопасности труда проводилась на промышленном предприятии в бригаде сварщиков (5 человек) в ходе разработки функционального модуля информационной системы управления ОН&S предприятия. Данная бригада выполняла электрогазовую сварку особенно сложных и ответственных конструкций и трубопроводов из высокоуглеродной стали, предназначенных для работы под динамическими и вибрационными нагрузками и высоким давлением. Любой сварочный процесс всегда сопровождается рядом факторов, представляющих опасность для здоровья как сварщика, так и людей, находящихся вблизи во время сварки. Наиболее опасным по воздействию на человека элементом данного процесса следует считать электрическую дугу, так как интенсивность её излучения очень высока. Кроме того, при любом виде сварки в той или иной мере присутствуют следующие вредные факторы:

- ультрафиолетовое излучение;
- слепящая яркость видимого света;
- инфракрасное излучение;
- искры и брызги расплавленного металла;
- вредные вещества, выделяющиеся в процессе сварки в виде аэрозолей и газов (зависят от вида сварки, вида электрода, вида выполняемых работ и свариваемых материалов).

Влияние комплекса указанных вредных факторов на человека может оказаться критической для сердечно-сосудистой и нервной систем его организма. Наглядными показателями состояния этих систем являются уровни систолического $par_1(t)$ и диастолического $par_2(t)$ артериального давления, частота сердечных сокращений (ЧСС) $par_3(t)$ и время реакции на световой раздражитель $par_4(t)$. Выбор этих параметров был обусловлен следующими соображениями:

а) сдвиги в парасимпатической нервной системе относятся к числу наиболее характерных реакций организма на воздействие электромагнитных полей и выражаются в артериальной гипотензии и тенденции к брадикардии, частота и степень выраженности которых зависят от интенсивности облучения;

б) при действии радиоволн на сердечно-сосудистую систему в организме человека отмечаются функциональные нарушения: пульс и артериальное давление отличаются неустойчивостью, нередко обнаруживается асимметрия показателей артериального давления, может наблюдаться тенденция и к артериальной гипертензии;

в) у лиц, подвергающихся воздействию оптического излучения, нарушения сердечно-сосудистой системы развиваются на фоне функциональных расстройств центральной нервной системы.

При апробации усовершенствованной модели (8) проводились замеры параметров состояния организма исполнителей данных работ, а именно:

- $par_1(t)$ – уровень систолического артериального давления;
- $par_2(t)$ – уровень диастолического артериального давления;
- $par_3(t)$ – частота сердечных сокращений (ЧСС);
- $par_4(t)$ – время реакции на световой раздражитель.

Для выполнения замеров применялось следующее оборудование:

а) электронный автоматический тонометр Beurer BC16, предназначенный для измерения ЧСС и уровня артериального давления;

б) секундомер, предназначенный для измерения времени сенсомоторной реакции.

При необходимости в качестве средств индивидуального измерения времени сенсомоторной реакции можно использовать мобильные приложения в смартфонах или ноутбуках.

Пример результатов измерения параметров состояния организма одного из сотрудников бригады сварщиков приведен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты замеров параметров состояния организма сотрудника бригады сварщиков

№ п/п	Время замера	День недели	Систолическое артериальное давление, мм рт. ст	Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст	ЧСС, уд/мин	Время реакции, с
1	8.00	понедельник	130	85	76	0,4
2	10.00	понедельник	132	85	77	0,4
3	12.00	понедельник	134	87	78	0,5
4	14.00	понедельник	137	89	80	0,6
5	16.00	понедельник	137	90	81	0,6
6	8.00	вторник	135	90	80	0,5
7	10.00	вторник	137	92	82	0,5
8	12.00	вторник	139	94	85	0,6
9	14.00	вторник	141	95	87	0,7
10	16.00	вторник	142	96	88	0,7
11	8.00	среда	135	90	82	0,5
12	10.00	среда	138	91	84	0,5
13	12.00	среда	140	94	87	0,6
14	14.00	среда	143	94	87	0,7
15	16.00	среда	145	95	89	0,7
16	8.00	четверг	125	84	78	0,4
17	10.00	четверг	127	85	78	0,4
18	12.00	четверг	129	87	82	0,5
19	14.00	четверг	130	87	84	0,7
20	16.00	четверг	132	88	86	0,7
21	8.00	пятница	140	90	82	0,6
22	10.00	пятница	143	92	85	0,6
23	12.00	пятница	145	95	90	0,7
24	14.00	пятница	147	96	90	0,8
25	16.00	пятница	148	97	92	0,8

Графики, иллюстрирующие изменение значений набора параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника в течение рабочей смены в разные дни недели, представлены на рис. 1–4.

Приведенные в табл. 1 результаты позволяют определить значения элементов $par_n(0)$ модели (8), а также действительные значения параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника в ходе и по окончании рабочей смены в течение недели.

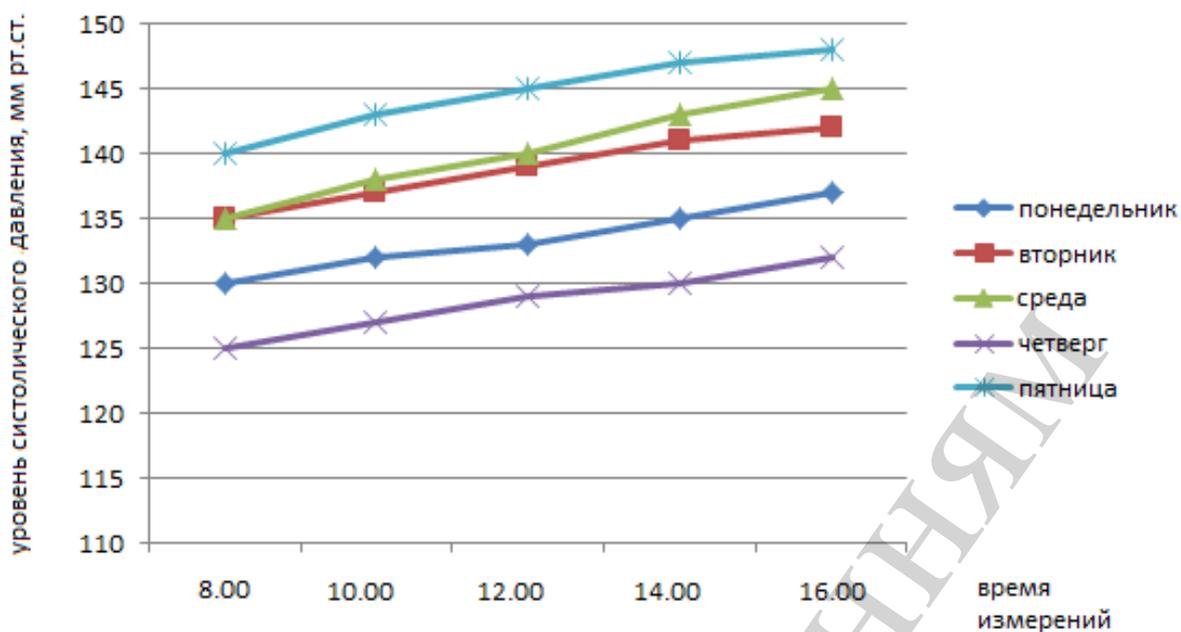


Рис. 1. График, иллюстрирующий изменение систолического артериального давления за неделю и по времени замеров

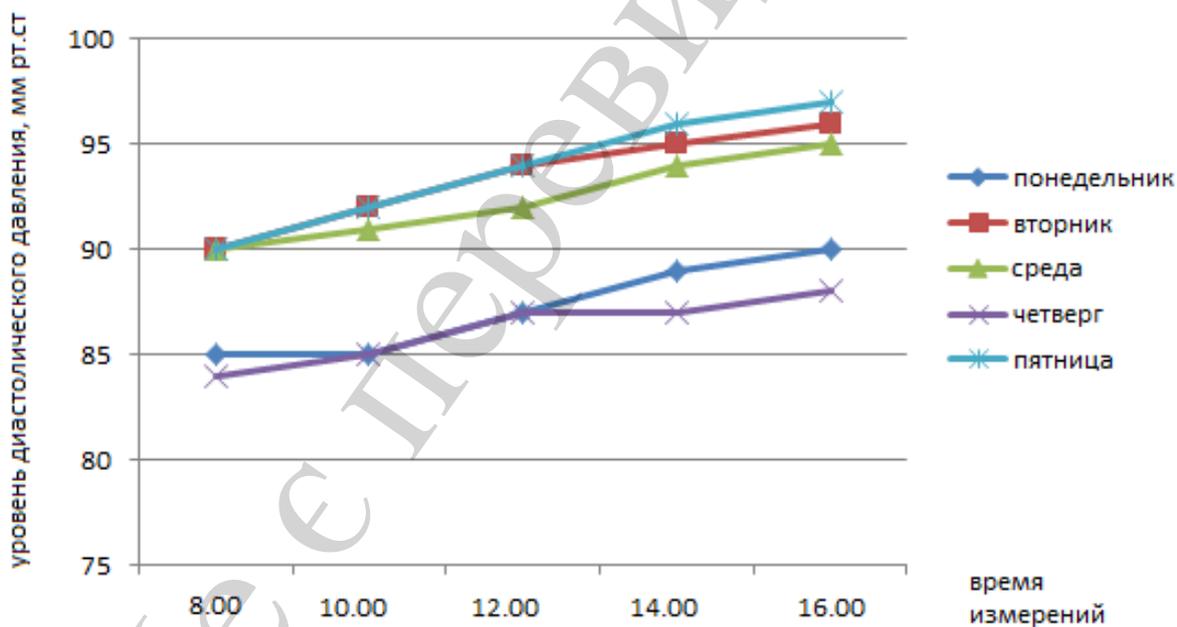


Рис. 2. График, иллюстрирующий изменение диастолического артериального давления за неделю и по времени замеров

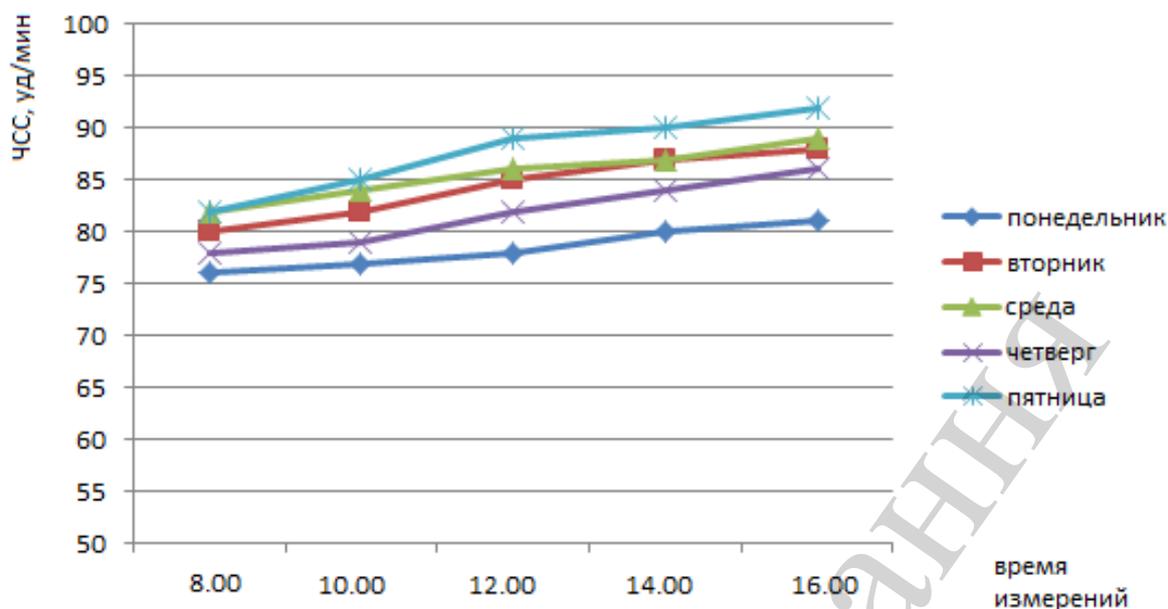


Рис. 3. График, иллюстрирующий изменение частоты сердечных сокращений за неделю и по времени замеров

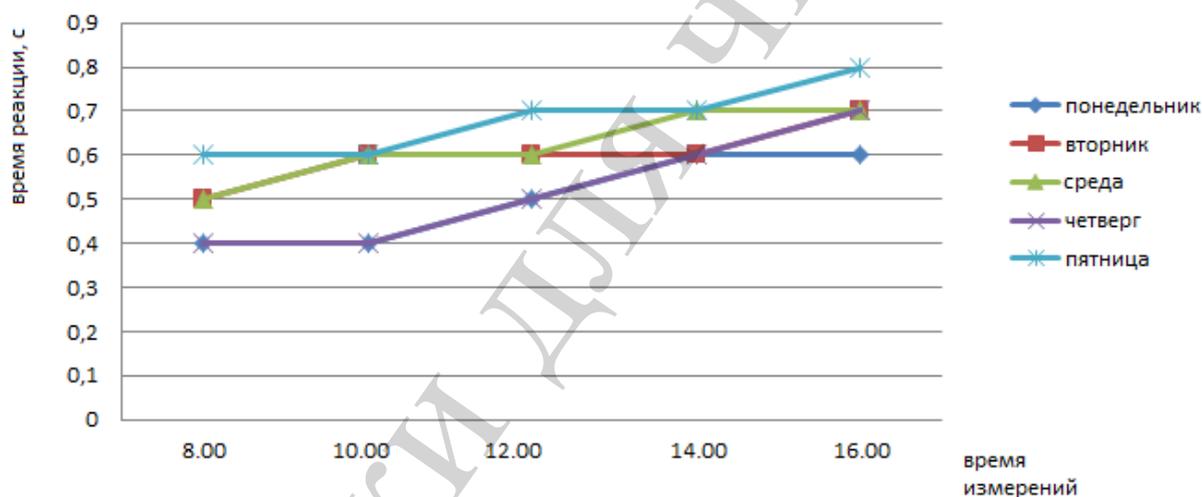


Рис. 4. График, иллюстрирующий изменение времени реакции за неделю и по времени измерений

Применение предложенной модели (8) для расчета величины изменения значений параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника требует также измерения действия указанных выше производственных факторов. В качестве основных (доминирующих) производственных факторов, действующих на рабочем месте сварщика, в ходе эксперимента были выделены уровень ЭМИ оптического диапазона и температура воздуха. Измерения действующих производственных факторов проводились при помощи следующих измерительных приборов. Для измерения энергетических характеристик был использован измеритель тепловой облученности РАТ-2П (производитель – ООО НПФ «Тензор», г. Черновцы, Украина), который предназначен для обеспечения измерений интегральных характери-

стик облучения во всем спектральном диапазоне. Данный измеритель применяется для проведения санитарно-гигиенических исследований при аттестации рабочих мест (рекомендован Министерством охраны здоровья Украины). Температура производственной среды измерялась при помощи универсального измерителя параметров микроклимата «МЕТЕОСКОП-М» (производитель – ООО НПФ «Тензор», г. Черновцы, Украина), предназначенного для проведения мониторинга среды в жилых и производственных помещениях, на открытых территориях. «МЕТЕОСКОП-М» используется для контроля параметров микроклимата, аттестации рабочих мест на предприятиях, в офисах и общественных учреждениях. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Данные о внешних факторах интерполировались между сменами значением уровня ЭМИ, равным нулю, и значением температуры воздуха, равным двадцати градусам Цельсия. Данные об измеряемых параметрах состояния сотрудника интерполировались по методу Эйткена-Лагранжа. Были получены временные ряды для исследуемых параметров, которые были отцентрированы. Решение уравнения Винера-Хопфа проводилось путем его дискретизации и сведения к четырем системам линейных уравнений. Нумерация факторов внешней среды: 1 – уровень ЭМИ; 2 – температура воздуха. Нумерация измеряемых параметров состояния организма сотрудника: 1 – уровень систолического артериального давления; 2 – уровень диастолического артериального давления; 3 – частота сердечных сокращений; 4 – время сенсомоторной реакции. Системы линейных уравнений решались методом Гаусса с выбором главного элемента. С целью регуляризации решения было применено сглаживание полученных результатов. С помощью графического анализа результатов для функций $\omega_{11}(\tau)$, $\omega_{21}(\tau)$, $\omega_{31}(\tau)$, $\omega_{41}(\tau)$ была выбрана формула

Приведенные в табл. 2 результаты измерения действия доминирующих производственных факторов определяют значения элементов $\mu_{\Phi^{ik}(t)}$ в модели (8) [20].

$$\omega(\tau) = Ce^{-a\tau}. \quad (9)$$

Для функций $\omega_{22}(\tau)$, $\omega_{31}(\tau)$, $\omega_{42}(\tau)$ была выбрана формула

$$\omega(\tau) = C\tau^b e^{-a\tau}. \quad (10)$$

Для функций $\omega_{12}(\tau)$ и $\omega_{31}(\tau)$ была выбрана формула $\omega_h(\tau) = C = \text{const}$.

Соотношения (9), (10) были линеаризованы путем логарифмирования, коэффициенты определялись методом наименьших квадратов, в результате чего были получены следующие соотношения:

$$\omega_{11}(\tau) = 0,083e^{-0,1613\tau};$$

$$\omega_{21}(\tau) = 5,6 \cdot 10^{-3} e^{-0,3402\tau};$$

$$\omega_{31}(\tau) = 0,00406;$$

$$\omega_{41}(\tau) = 9,14 \cdot 10^{-5} e^{-0,0355\tau};$$

$$\omega_{12}(\tau) = -0,00324;$$

$$\omega_{22}(\tau) = 0,277 \cdot \tau^{1,409} e^{-0,5498\tau};$$

$$\omega_{32}(\tau) = 0,332 e^{-0,3279\tau};$$

$$\omega_{22}(\tau) = 1,134 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^{1,748} e^{-1,023\tau}.$$

В общем случае наблюдаются явления запаздывания, накопления эффекта и экспоненциального восстановления [22].

Рассмотрим детальнее применение модели (8) на примере расчета, произведенного на основе данных, измеренных в четверг, в момент начала смены (табл. 1, 2). Вначале рассмотрим пример расчета оценки изменения состояния сотрудника в процессе профессиональной деятельности под воздействием производственных факторов через 2 часа после начала смены. Реакция организма человека на воздействие производственных факторов рассчитывается при помощи (7):

$$f\left(\mu_{\phi^{ik}(t)}\right) = \sum_{i=1}^N \omega(\tau_i) \mu_{\phi^{ik}(t)}(t - \tau_i) \Delta\tau_i = \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} (R_{\mu\mu})_{11} & (R_{\mu\mu})_{12} \\ (R_{\mu\mu})_{21} & (R_{\mu\mu})_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_{i1} \\ \omega_{i2} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где $\omega(\tau)$ – импульсная переходная матрица-функция описания реакции организма на воздействие факторов размером $m \times n$ $\mu_{\phi^{ik}(t)}$ – показатель вредности процесса на сотрудника для m значений величины i -го фактора, действующего на k -го сотрудника в момент времени; $R_{\mu\mu}$ – элемент матрицы для расчета суммарного показателя вредности; N – количество замеров факторов.

Тогда

$$\begin{aligned}
\Delta \vec{w}(\tau) &= \begin{bmatrix} par_1(0) \\ \dots \\ par_h(0) \\ \dots \\ par_n(0) \end{bmatrix} \left(\int_0^T \int_0^\tau \begin{bmatrix} (R_{\mu\mu})_{11} & (R_{\mu\mu})_{12} \\ (R_{\mu\mu})_{21} & (R_{\mu\mu})_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N \omega_{11}(\tau_i) + \omega_{12}(\tau_i) \\ \sum_{i=1}^N \omega_{21}(\tau_i) + \omega_{22}(\tau_i) \\ \sum_{i=1}^N \omega_{31}(\tau_i) + \omega_{32}(\tau_i) \\ \sum_{i=1}^N \omega_{41}(\tau_i) + \omega_{42}(\tau_i) \end{bmatrix} dt \right) dt = \\
&= \begin{bmatrix} 125 \\ 84 \\ 78 \\ 0,4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 13 \\ 13 & 26 \end{bmatrix} \cdot \left[\begin{aligned} &\sum_{i=1}^2 0,083e^{-0,1613\tau_i} - 0,00324 \\ &\sum_{i=1}^2 5,6 \cdot 10^{-3} e^{-0,3402\tau_i} + 0,277 \cdot \tau_i^{1,409} e^{-0,5498\tau_i} \\ &\sum_{i=1}^2 0,00406 + 0,322e^{-0,327\tau_i} \\ &\sum_{i=1}^2 9,14 \cdot 10^{-5} e^{-0,355\tau_i} + 1,134 \cdot 10^{-3} \cdot \tau_i^{1,748} e^{-1,023\tau_i} \end{aligned} \right] + \\
&+ \begin{bmatrix} 83 & 112 \\ 112 & 29 \end{bmatrix} \cdot \left[\begin{aligned} &\sum_{i=1}^2 0,083e^{-0,1613\tau_i} - 0,00324 \\ &\sum_{i=1}^2 5,6 \cdot 10^{-3} e^{-0,3402\tau_i} + 0,277 \cdot \tau_i^{1,409} e^{-0,5498\tau_i} \\ &\sum_{i=1}^2 0,00406 + 0,322e^{-0,327\tau_i} \\ &\sum_{i=1}^2 9,14 \cdot 10^{-5} e^{-0,355\tau_i} + 1,134 \cdot 10^{-3} \cdot \tau_i^{1,748} e^{-1,023\tau_i} \end{aligned} \right] = \begin{bmatrix} 3 \\ 0,3 \\ 0,2 \\ 0,06 \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

Результаты вычислений изменения значений параметров состояния сотрудника при воздействии на него производственных факторов через 2 часа после начала смены приведены в табл. 3.

По результатам, приведенным в табл. 3, можно сделать следующий вывод. В результате профессиональной деятельности в течение 2 часов после начала смены параметры состояния организма сотрудника изменились. Увеличение параметров состояния организма свидетельствует и об увеличении величины $sost_j^k \in SOST$, $j = 1, n$ из выражения (1). Исходя из предположения, что возрастание значения этой величины соответствует ухудшению состояния, можно прийти к выводу о некотором ухудшении состояния сотрудника после 2 часов после начала смены.

Таблица 2
Результаты измерений

День недели, в который проводились измерения	Время проведения измерения	Уровень ЭМИ, Вт/м ²	Температура, °С
Понедельник	8.00	0	22
Понедельник	10.00	60	24
Понедельник	12.00	82	26
Понедельник	14.00	110	28
Понедельник	16.00	100	30
Вторник	8.00	0	24
Вторник	10.00	20	25
Вторник	12.00	34	29
Вторник	14.00	100	32
Вторник	16.00	104	34
Среда	8.00	0	26
Среда	10.00	141	30
Среда	12.00	140	33
Среда	14.00	119	33
Среда	16.00	139	34
Четверг	8.00	0	26
Четверг	10.00	83	29
Четверг	12.00	86	31
Четверг	14.00	95	32
Четверг	16.00	131	32
Пятница	8.00	0	24
Пятница	10.00	123	25
Пятница	12.00	137	27
Пятница	14.00	106	26
Пятница	16.00	134	26

Таблица 3
Результат выполнения вычислений для прогноза изменения параметров состояния сотрудника через 2 часа после начала смены

Используемый параметр	Значения параметра на момент начала смены	Рассчитанная величина изменения параметра	Прогнозируемое значения параметра
$par_1(t)$	125	+3	128
$par_2(t)$	84	+0,3	84,3
$par_3(t)$	78	+0,2	78,02
$par_4(t)$	0,4	+0,06	0,406

Таким же образом был проведен расчет оценки изменения состояния сотрудника в процессе профессиональной деятельности при помощи математической модели оценки изменения состояния сотрудника под воздействием произ-

водственных факторов через 4 и 6 часов после начала смены. Результаты данных расчетов приведен в табл. 4.

Таблица 4
Результат выполнения вычислений

Используемый параметр	Значения параметра на момент начала смены	Рассчитанная величина изменения параметра через 2 часа	Рассчитанная величина изменения параметра через 4 часа	Рассчитанная величина изменения параметра через 6 часов	Прогнозируемое значение параметра на момент конца смены
$par_1(t)$	125	+3	+1,02	+1,78	132,6
$par_2(t)$	84	+0,3	+1,9	+2	88,2
$par_3(t)$	78	+0,2	+4,03	+4,11	86,16
$par_4(t)$	0,4	+0,06	+0,112	+0,18	0,698

Проведем сравнение рассчитанных параметров состояния сотрудника по усовершенствованной модели (8) с измеренными значениями для моментов времени 2, 4 и 6 часов работы, а также для момента окончания рабочей смены. Графики сравнений рассчитанных и измеренных значений параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника приведены на рис. 5–8.

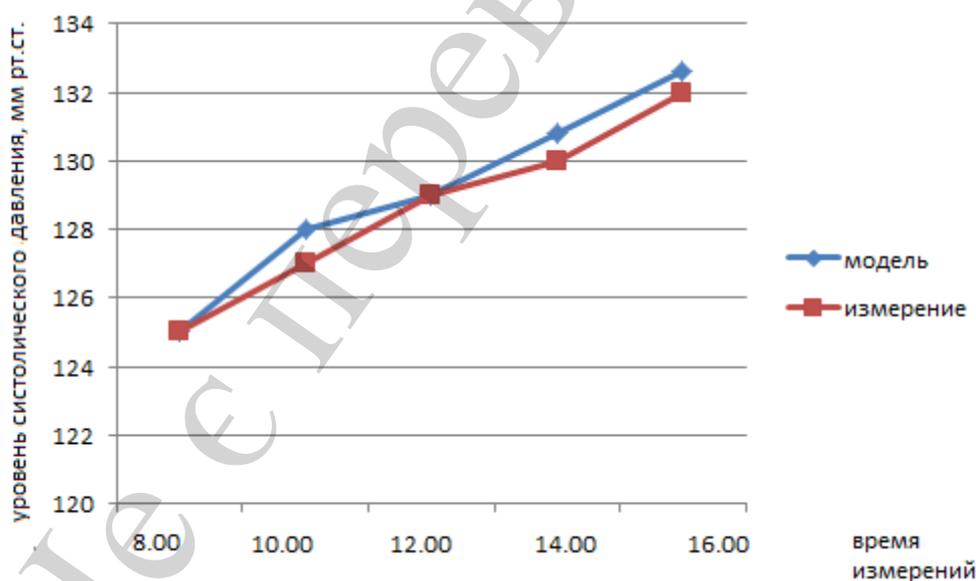


Рис. 5. Сравнение рассчитанных значений параметра «уровень систолического артериального давления» с измеренными значениями

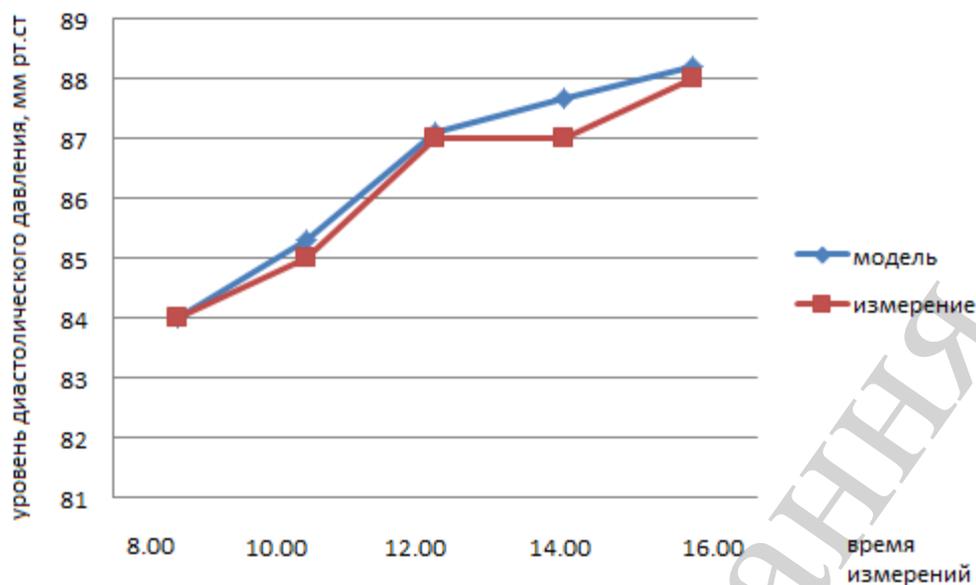


Рис. 6. Сравнение рассчитанных значений параметра «уровень диастолического артериального давления» с измеренными значениями

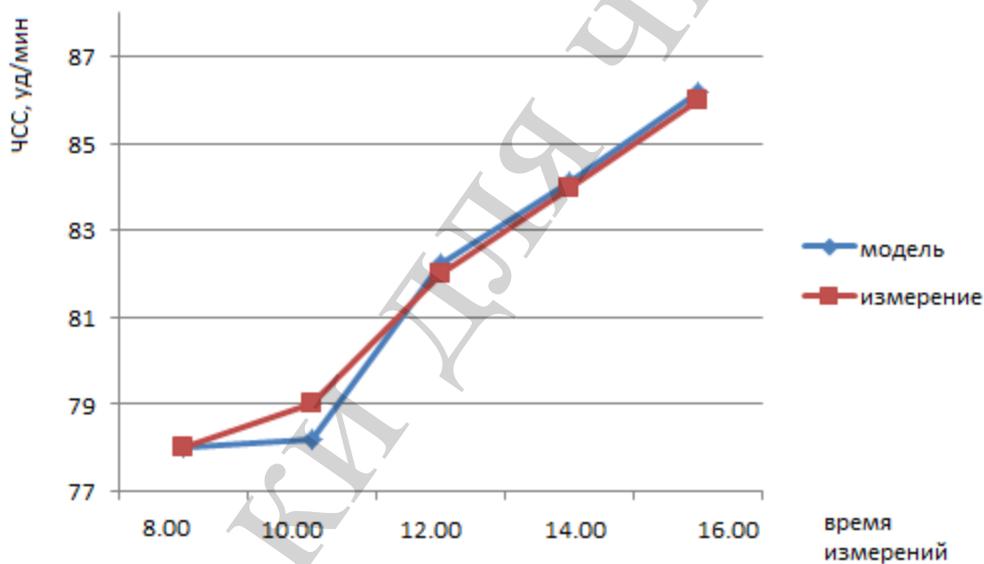


Рис. 7. Сравнение рассчитанных значений параметра «частота сердечных сокращений» с измеренными значениями

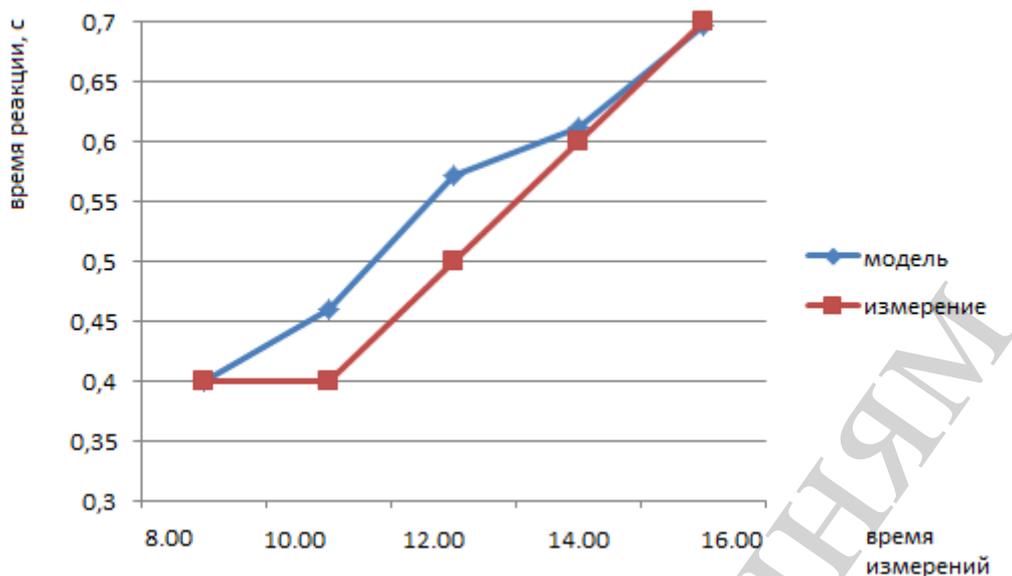


Рис. 8. Сравнение рассчитанных значений параметра «время реакции на раздражитель» с измеренными значениями

Результаты сравнений приведены в табл. 5.

Доверительный интервал в табл. 5 рассчитан для уровня доверия, равного 0,99.

Как следует из табл. 5, результаты моделирования изменения значений каждого параметра в подавляющем большинстве случаев укладываются в доверительный интервал. Следовательно, становится возможным предположить, что модель (8) в целом адекватно описывает процессы изменения параметров наблюдаемого сотрудника. Однако применение данной модели дает наименее точные результаты расчетов изменения значений параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника в первой половине рабочей смены. Для момента окончания рабочей смены применение модели позволяет получить несколько завышенные по сравнению с реальными значениями параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника.

Таким образом, при помощи усовершенствованной математической модели (8) была решена задача оценки изменения состояния организма по результатам наблюдения воздействия на организм факторов производственной среды. Данная задача была решена, основываясь на предположении о невозможности определения изменения состояния организма сотрудника по результатам прямых измерений.

Таблица 5

Результаты сравнения прямых измерений и вычисленных с помощью предложенной модели значений параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника

Значение параметра состояния организма сотрудника		Время замеров				
		8.00	10.00	12.00	14.00	16.00
уровень систолического артериального давления $par_1(t)$	рассчитанное	125	128	129,02	130,8	132,6
	измеренное	125	127	129	130	132
	расхождение	-	+1	+0,02	+0,8	+0,6
	среднеквадратическое отклонение					0,707
	Доверительный интервал верхний	0	126,09	128,09	129,09	131,1
	Доверительный интервал нижний	0	127,91	129,91	130,91	132,9
уровень диастолического артериального давления $par_2(t)$	рассчитанное	84	85,3	87,1	87,69	88,2
	измеренное	84	85	87	87	88
	расхождение	-	+0,3	+0,1	+0,69	+0,2
	среднеквадратическое отклонение					0,392
	Доверительный интервал верхний	0	84,494	86,494	86,494	87,49
	Доверительный интервал нижний	0	85,506	87,506	87,506	88,51
частота сердечных сокращений $par_3(t)$	рассчитанное	78	78,2	82,23	84,11	86,16
	измеренное	78	79	82	84	86
	расхождение	-	-0,8	+0,23	+0,11	+0,16
	среднеквадратическое отклонение					0,427
	Доверительный интервал верхний	0	78,449	81,449	83,449	85,45
	Доверительный интервал нижний	0	79,551	82,551	84,551	86,55
время реакции на раздражитель $par_4(t)$	рассчитанное	0,4	0,46	0,572	0,612	0,698
	измеренное	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7
	расхождение	-	+0,06	+0,072	+0,012	-0,002
	среднеквадратическое отклонение					0,047
	Доверительный интервал верхний	0	0,339	0,439	0,539	0,639
	Доверительный интервал нижний	0	0,461	0,561	0,661	0,761

6. Обсуждение результатов усовершенствования математической модели изменения состояния сотрудника и апробации усовершенствованной модели

Применение классической модели Гаммерштейна для оценивания состояния организма сотрудника предприятия было затруднено из-за сложностей закупки и внедрения большого количества специализированной аппаратуры, позволяющей собирать, передавать и обрабатывать в реально времени данные о

текущем состоянии сотрудников промышленных предприятий. Поэтому была предпринята модификация модели (4) за счет сведения количества измерений значений параметров состояния наблюдаемого сотрудника к минимальному – непосредственно перед началом рабочей смены – выражение (5). Кроме того, для случая действия в процессах предприятия множества производственных факторов было предложено учитывать действие на организм не только каждого отдельного фактора, а и комплексное воздействие всех факторов – выражение (7). В результате усовершенствования модели Гаммерштейна (4) была получена математическая модель (8). Эта модель позволяет количественно оценить изменение значений отдельных параметров состояния организма сотрудника предприятия в ходе рабочей смены и в момент ее окончания.

Апробация усовершенствованной модели (8) проводилась на промышленном предприятии на примере бригады сварщиков (5 человек). В результате апробации было выявлено, что результаты применения модели (8) незначительно превышают результаты прямых измерений рассмотренных выше параметров состояния организма. Это можно объяснить действием следующих причин:

а) интегральный характер модели (8), что приводит к накоплению погрешностей вычислений;

б) неполнотой информации о результатах комплексного воздействия всех факторов на организм сотрудника – при построении модели (8) было выдвинуто предположение о накопительном характере такого воздействия;

в) неполнотой информации о характере восстановления организма наблюдаемого сотрудника от последствий воздействия производственных факторов (в ходе расчетов конкретных видов соотношений (9) и (10) было принято предположение об экспоненциальном характере такого восстановления).

Величины средних абсолютных отклонений по каждому из параметров являются допустимыми

Применение усовершенствованной модели Гаммерштейна (8) позволяет формализовать работы по принятию управленческих решений о целесообразности продолжения работы конкретного сотрудника до начала любого нежелательного события. С этой целью было выдвинуто предположение, что скалярная величина, характеризующая состояние человека, определяется исходя из выражения (1), а возрастание значения этой величины соответствует ухудшению состояния организма. На основе этого предположения авторами был разработан метод определения состояния организма сотрудника по результатам наблюдений отдельных параметров данного организма [26]. Данный метод позволяет по результатам наблюдений рассмотренных выше параметров отнести состояние сотрудника к одному из следующих классов: «пригоден», «практически пригоден», «пограничное состояние», «не пригоден». Применение усовершенствованной модели (8) позволяет отказаться от использования в этом методе результатов прямых измерений значений параметров наблюдаемых сотрудников и перейти к использованию расчетных значений этих параметров. В результате этого стало возможным автоматизировать процесс принятия решений по обеспечению профессиональной безопасности сотрудников предприятия. В

данном случае рекомендация о выводе сотрудника из производственного процесса принимается в следующих случаях:

а) если результаты применения описанного в [26] метода показывают, что состояние сотрудника относится к классу «пограничное состояние» не менее двух часов на протяжении рабочей смены;

б) если результаты применения описанного в [26] метода показывают, что состояние сотрудника перешло из класса «пограничное состояние» в класс «не пригоден».

По результатам, приведенным в табл. 4, можно сделать вывод об ухудшении состояния организма сотрудника на конец смены. При этом ранее сделанное предположение о возможности ухудшения состояния здоровья сотрудника как в результате воздействия отдельных производственных факторов на его организм, так и после комплексного их воздействия, оказалось верным. Однако количественный анализ позволяет сделать вывод только об увеличении или уменьшении параметров состояния сотрудника, а не о качественном изменении состояния организма сотрудника. В связи с этим, возникает необходимость в исследовании динамики изменения как параметров состояния организма наблюдаемого сотрудника, так и его общего состояния организма. При этом количественную оценку общего состояния организма сотрудника следует считать основным показателем профессиональной безопасности труда и профессионального здоровья на промышленном предприятии или его отдельных процессах. Кроме того, возникает необходимость исследования моделей и методов классификации и интерпретации состояния в зависимости от следующих факторов:

а) возраст наблюдаемого сотрудника;

б) квалификация наблюдаемого сотрудника;

в) перечень работ, которые осуществляются наблюдаемым сотрудником, и, следовательно, перечень производственных факторов, влияющих на здоровье сотрудника на конкретном рабочем месте.

Основным недостатком, затрудняющим использование предложенной усовершенствованной модели Гаммерштейна (8), является необходимость предварительных исследований с целью установления комплекса действующих производственных факторов и последующего определения конкретного вида функций $\omega_1(\tau), \dots, \omega_n(\tau), \dots, \omega_n(\tau)$. Для устранения этого недостатка предлагается провести дальнейшие исследования по разработке моделей и методов определения вида функций $\omega_1(\tau), \dots, \omega_n(\tau), \dots, \omega_n(\tau)$, в том числе – с применением средств искусственного интеллекта.

7. Выводы

1. Проведено усовершенствование модели Гаммерштейна, позволяющей формально описать изменение состояния организма с n внутренними параметрами в результате изменяемого во времени воздействия m внешних факторов. Суть данного усовершенствования заключается в уменьшении количества измерений значений параметров состояния сотрудников предприятия и учете влияния на организмы сотрудников не только отдельных производственных факторов, но и их комплексного воздействия. Полученная усовершенствованная

ная модель Гаммерштейна позволяет осуществлять прогноз изменения параметров состояния по результатам однократного измерения их значений непосредственно перед началом рабочей смены и данным о действии производственных факторов в ходе рабочей смены.

2. Проведена апробация усовершенствованной модели Гаммерштейна в ходе валидации функционального модуля безопасности труда на предприятии. Применение данной модели позволило вычислить значения параметров состояния организма сотрудника при выполнении профессиональной деятельности предприятия к концу рабочей смены, а именно:

а) повышение уровня систолического артериального давления со 125 до 132,6 мм. рт. ст. (результат прямого измерения в момент конца смены – 132 мм. рт. ст.);

б) повышение уровня диастолического артериального давления с 84 до 88,2 мм. рт. ст. (результат прямого измерения в момент конца смены – 88 мм. рт. ст.);

в) увеличение частоты сердечных сокращений с 78 до 86,16 ударов в минуту (результат прямого измерения в момент конца смены – 86 ударов в минуту);

г) увеличение времени реакции на раздражитель с 0,4 до 0,698 с (результат прямого измерения в момент конца смены – 0,7 с).

Таким образом, реализация и применение усовершенствованной модели Гаммерштейна позволяет избежать или минимизировать затраты предприятия, связанные с нетрудоспособностью сотрудников вследствие инцидентов, сохранить профессиональное здоровье сотрудников и улучшить корпоративный имидж.

Литература

1. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми збереження і розвитку трудового потенціалу України на період до 2017 р. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 851-р від 22.08.2009 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-2009-p>

2. ДСТУ OHSAS 18001:2010 «Система управління гігієною та безпекою праці». URL: <http://iso.kiev.ua/drugoe/sert-iso-18001.html>

3. Boon, C., Den Hartog, D. N., Lepak, D. P. (2019). A Systematic Review of Human Resource Management Systems and Their Measurement. *Journal of Management*, 45 (6), 2498–2537. doi: <https://doi.org/10.1177/0149206318818718>

4. Труд-Эксперт. Управление. URL: <http://www.kiout.ru/services/IT/trudcontrol>

5. Автоматизированная Система управления промышленной безопасностью и охраной труда. Модуль «Охрана труда». URL: https://asupb.ru/system_modules.php#module1

6. Автоматизированная информационная система «Охрана труда». URL: https://informsviaz.ru/ru/projects/razrabotka-po/detail.php?ELEMENT_ID=292

7. Chapman, E. F., Sisk, F. A., Schatten, J., Miles, E. W. (2016). Human resource development and human resource management levers for sustained competitive advantage: Combining isomorphism and differentiation. *Journal of Management & Organization*, 24 (4), 533–550. doi: <https://doi.org/10.1017/jmo.2016.37>

8. Kamble, R., Wankhade, L. (2018). Structural modelling approach: the strategy for productivity enhancement in manufacturing industries. *International Journal of Business Excellence*, 16 (4), 497. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbex.2018.096221>
9. De Merich, D., Gnoni, M. G., Malorgio, B. et. al. (2018). A new model proposal for occupational health and safety management in small and medium enterprises. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, 101–107.
10. Masuin, R., Latief, Y., Zagloel, T. Y. (2019). Development of information systems in integrated management systems in order to increase organisational performance in a construction company. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258, 012012. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/258/1/012012>
11. Soltanmohammadlou, N., Sadeghi, S., Hon, C. K. H., Mokhtarpour-Khanghah, F. (2019). Real-time locating systems and safety in construction sites: A literature review. *Safety Science*, 117, 229–242. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.025>
12. Stege, T. A. M., Bolte, J. F. B., Claassen, L., Timmermans, D. R. M. (2019). Particulate matter exposure in roadwork companies: A mental models study on work safety. *Safety Science*, 120, 137–145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.043>
13. Shakerian, M., Jahangiri, M., Alimohammadlou, M., Nami, M., Choobineh, A. (2019). Individual cognitive factors affecting unsafe acts among Iranian industrial workers: An integrative meta-synthesis interpretive structural modeling (ISM) approach. *Safety Science*, 120, 89–98. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.041>
14. Arslan, M., Cruz, C., Ginhac, D. (2019). Semantic trajectory insights for worker safety in dynamic environments. *Automation in Construction*, 106, 102854. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102854>
15. Wolffe, T. A. M., Whaley, P., Halsall, C., Rooney, A. A., Walker, V. R. (2019). Systematic evidence maps as a novel tool to support evidence-based decision-making in chemicals policy and risk management. *Environment International*, 130, 104871. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.065>
16. Aiello, G., Vallone, M., Catania, P. (2019). Optimising the efficiency of olive harvesting considering operator safety. *Biosystems Engineering*, 185, 15–24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.016>
17. Yu, Y., Li, H., Umer, W., Dong, C., Yang, X., Skitmore, M., Wong A. Y. L. (2019). Automatic Biomechanical Workload Estimation for Construction Workers by Computer Vision and Smart Insoles. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33 (3), 04019010. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000827](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000827)
18. Luo, X., Li, H., Yang, X., Yu, Y., Cao, D. (2018). Capturing and Understanding Workers' Activities in Far-Field Surveillance Videos with Deep Action Recognition and Bayesian Nonparametric Learning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 34 (4), 333–351. doi: <https://doi.org/10.1111/mice.12419>
19. Lazzerini, B., Pistolesi, F. (2018). An Integrated Optimization System for Safe Job Assignment Based on Human Factors and Behavior. *IEEE Systems Journal*, 12 (2), 1158–1169. doi: <https://doi.org/10.1109/jsyst.2016.2646843>
20. Сердюк, Н. Н. (2013). Функциональная задача оценки влияния вредных производственных факторов на человека. *Восточно-Европейский жур-*

нал передовых технологий, 4 (4 (64)), 22–26. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16334/13845>

21. Сердюк, Н. Н. (2006). Модели типа Гаммерштейна для описания нелинейного воздействия группы факторов на организм человека. Радиоэлектроника и информатика, 1, 111–113.

22. Дзюндзюк, Б. В., Сердюк, Н. Н. (2007). Модели автоматизированной подсистемы управления условиями труда на рабочем месте оператора радиоэлектронных средств. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 1 (4 (25)), 87–96.

23. Евланов, М. В., Сердюк, Н. Н. (2015). Формирование и анализ требований к информационно-аналитической системе управления безопасностью труда на предприятии. Технологический аудит и резервы производства, 4 (3 (24)), 41–45. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.47972>

24. Ievlanov, M., Vasilcova, N., Panforova, I. (2018). Development of methods for the analysis of functional requirements to an information system for consistency and illogicality. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (2 (91)), 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121849>

25. Євланов, М. В. (2018). Удосконалений метод синтезу варіантів опису архітектури створюваної інформаційної системи. АСУ и приборы автоматизи, 175, 32–41.

26. Евланов, М. В., Сердюк, Н. Н. (2015). Модели и метод определения состояния организма сотрудника предприятия. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси, 21, 163–169.

Не є перевіреним