

УДК 330

*Д.Г. Максимов***АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭРГОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ (АСЭРМ)**

Микроэлементное нормирование труда является одним из методов расчета затрат времени на выполнение разнообразных операций, заключающееся в описании трудового процесса с помощью микроэлементов. Под микроэлементом труда понимается однократное перемещение конечностей, их частей или корпуса исполнителя. Существует большое количество систем микроэлементных нормативов, разработанных в зарубежных странах. Одним из методических форм объединения задач исследования и проектирования трудовых процессов на рабочих местах стал метод Тейлора и Гилбрета по микроэлементному анализу рабочих движений тела человека в процессе труда, названных системой МТМ. Метод микроэлементного нормирования используется не для того, чтобы «следить» за работником (что он делает, сколько времени на это тратит), а с точки зрения характеристики рабочего места. С помощью микроэлементного метода всегда можно получить показатели, которые описывают конкретное рабочее место: тяжесть работы, сложность работы, коэффициент социальной значимости рабочего места. Данные параметры позволяют найти количественные характеристики рабочего места, то есть обобщенный квалиметрический параметр, который соответствует требованиям, представленным в стандарте, описывающем рабочее место. В данной работе представлен процесс по созданию программы автоматизации микроэлементного нормирования труда на основе первоначальной упрощенной методики, который был разработан в Удмуртском государственном университете.

Ключевые слова: квалиметрия, труд, микроэлементный анализ, эргономика, рабочее место.

Объектом изучения трудовой деятельности человека является процесс труда, совершающийся на рабочем месте. В соответствии с классическим определением рабочее место – это элементарная часть производственного пространства, в котором размещены средства труда, предметы труда и субъект труда взаимосвязаны для осуществления единичных процессов труда в соответствии с целевой функцией продукта труда. Из такого определения рабочего места характеризующие его понятия: средства, субъект и сам процесс труда являются информационными носителями целевой функции производства продукта труда.

Эргономический анализ как научное направление предназначен для изучения человека и его деятельности в условиях производства с целью оптимизации орудий, условий и процесса труда и обеспечения необходимых удобств, способствующих развитию способностей работника.

Метод эргономики – системный подход, поэтому функционирующее рабочее место – это система человек-машина. Для разработки автоматизированной системы будем исходить из определения: система – это множество элементов, взаимосвязанных таким образом, что воздействие внешней среды (другого) на какую-то часть элементов приводит к изменению состояния всего множества [1. С. 163].

Рассмотрение процесса труда как функционирующего множества элементов требует выделения тех первичных элементов, на основе взаимосвязей которых необходимо выполнить эргономический анализ. В данном исследовании выделяются два типа первичных элементов: объектов внимания и микроэлементное движение.

Примем: объект внимания – это определяемый признак, свойство, параметр воспринимаемого объекта, с которым воспринимающий субъект труда устанавливает дискретную или непрерывную связь через свои органы чувств для достижения целей в трудовых действиях. Субъект труда (работник, оператор, исполнитель и т.п.), устанавливающий связь с реальными объектами, исключает бесконечную неопределенность. Проектирование процессов труда предполагает составление алгоритма действия во времени, разделенного на подцели и цели действий. История развития организации и нормирования труда выработала общепризнанные правила и аналитические выражения в виде математических формул для расчетов эргономических параметров функционирования рабочих мест, применительно к отдельным трудовым процессам (технологическим операциям).

Структура действий оператора (исполнителя работ) при выполнении целевой функции технологической операции объединяется как сумма времён, необходимых для трудовых действий. В системе нормирования труда структура действий выражена в виде математической формулы:

$$t_{\text{штк}} = t_{\text{пз}} + t_0 + t_{\text{всп}} + t_{\text{тех.об.}} + t_{\text{орг.об}} + t_{\text{отд.}} \quad (1)$$

где $t_{штк}$ – штучно-калькуляционное время, необходимое для выполнения всей совокупности действий оператора, необходимых для выполнения целевой функции технологической операции, с (мин, час);

$t_{п-з}$ – время, необходимое для подготовки рабочего технологического процесса и его завершения (заключения), с (мин, час);

t_0 – основное технологическое время, в течение которого выполняются действия по преобразованию предмета труда (детали) из заготовки в готовый продукт, с (мин, час);

$t_{всп}$ – вспомогательное к основному технологическому времени, необходимое для трудовых действий по подготовке всех необходимых инструментов к основному технологическому преобразованию предмета труда (детали) из заготовки в готовый продукт, с (мин, час);

$t_{тех.об.}$ – время, необходимое для трудовых действий по подготовке рабочего места (машины, оборудования) технологическому воздействию на предмет труда (деталь) с целью его преобразования в продукт с предусмотренной целевой функцией параметрами качества, с (мин, час);

$t_{орг.об.}$ – время, необходимое оператору (работнику) для совершения трудовых действий по подготовке пространства рабочего места в состояние, позволяющее осуществлять основные трудовые этапы трудовых действий в комфортных условиях, предусмотренных технологией, с (мин, час).

Перечисленные подразделения штучно-калькуляционного времени составляют этапы выполнения технологической операции с соответствующими целевыми задачами по выполнению трудовых действий на объекты внимания и их комплексы. Для эргономического анализа, то есть для определения количества совершаемой работы, необходимо дальнейшее расчленение технологической операции, например, так как регламентируется в учебном пособии (НОТ и др.), на: технологическое разделение операции (установлены позиции, переходы, проходы) и трудовое разделение операции (комплексы приемов, отдельные приемы, действия, движения). Разделение видов технологических операций связано с применяемыми механизмами: машинные, машинно-ручные, ручные.

Для эргономического анализа процесс труда (технологическая операция) должен быть расчленен на составные части (этапы), доведенные до отдельных трудовых функций, в научных исследованиях названных «микроэлементами труда». Для информационного моделирования процессов труда принимается формула расчета трудозатрат на технологической операции:

$$T = K_{фн} \cdot K_{ин} \cdot t, \quad (2)$$

где T – трудозатраты на анализируемом процессе труда (технологической операции), трудочасы;

$K_{фн}$ – коэффициент физической напряженности оператора (исполнителя работы), безразмерный квалитетрический параметр тяжести труда;

$K_{ин}$ – коэффициент интеллектуальной напряженности оператора (исполнителя работ), безразмерный квалитетрический параметр информационной напряженности труда;

t – продолжительность анализируемого процесса труда, с (мин, час).

Эргономический анализ всех факторов процесса труда требует подробного описания процесса труда с применением символических обозначений микроэлементных движений частей тела и объектов внимания, участвующих в информационном поле оператора. Подробное описание (составление алгоритма) процесса труда является задачей автоматизированной системы эргономического анализа процессов труда на рабочем месте.

Группой специалистов Научно-исследовательского института минобороны, возглавляемой Ю.С. Перевошиковым, на основе системы МТМ и Горьковского автозавода разработана и практически применена на нескольких предприятиях система микроэлементов. Основная особенность системы состоит в том, что во всех системах для каждого микроэлемента определена лишь продолжительность движения, а ижевские инженеры рассчитали для каждого движения величину механической работы (что актуально на сегодняшний день), совершаемой человеческим телом [2; 3. С. 228; 4. С. 151]. В дальнейшем данная система микроэлементов получила свое продолжение в расширенном варианте, но первоначальный вариант является хорошей платформой для изучения данной системы студентами и для работников предприятий.

В данной работе представлена попытка создания и разработки автоматизированной системы эргономического анализа процессов труда на рабочем месте.

Целью работы является снижение трудоёмкости расчётов трудозатрат на выполнение отдельной операции и трудозатрат, необходимых для выполнения всех операций.

Необходимо повысить степень автоматизации расчета следующих характеристик деталей на основании карты технологической операции:

1. Общее время операции.
2. Коэффициент физической напряженности (тяжести) выполнения операции.
3. Коэффициент интеллектуальной напряженности (сложности) выполнения сложности операции.
4. Коэффициент условий труда на рабочем месте.
5. Коэффициент интенсивности труда.
6. Интенсивность процесса труда (трудоемкость выполнения операции).

Основные задачи, решения которых необходимо для достижения поставленной цели:

1. Анализ технологических операций и их разбиение на отдельные элементы – движения.
2. Разработка проекта автоматизированной системы эргономического расчета выполняемых движений, операций.
3. Программная реализация и отладка спроектированных модулей.
4. Апробация программных модулей.
5. Разработка инструкций по использованию программного модуля.

Анализ процесса труда начинается с его расчленения на отдельные элементы, включающие в себя изолированные рабочие движения или их комплексы. Производится так называемое микроэлементное описание единичного процесса труда [5. С. 49]. Микроэлементное нормирование предполагает рационализацию трудовых движений, трудовых действий, приемов за счет установления оптимального (нормального) темпа работы и устранения лишних движений. Под микроэлементом труда понимается однократное перемещение конечностей, их частей или корпуса исполнителя.

Функциональное моделирование связано с разработкой структурных, функциональных и принципиальных схем. При функциональном проектировании определяются основные особенности структуры, принципы функционирования, важнейшие параметры и характеристики создаваемых объектов [6].

В данной работе использовался подход к описанию и классификации процессов в организации, основанный на применении методологии функционального моделирования IDEF0. Под процессом понимают совокупность последовательно или/и выполняемых операций, преобразующая материальный или/и информационный потоки в соответствующие потоки с другими свойствами. Процесс протекает в соответствии с управляющими директивами, вырабатываемых на основе целей деятельности [6. С. 25].

Исходя из методологии функционального моделирования IDEF0, представим контекстную диаграмму (рис. 1), в которой представлена основная цель всей работы. Установлена входящая, регулирующая информация, механизм управления и исходящая информация, результат всей деятельности.

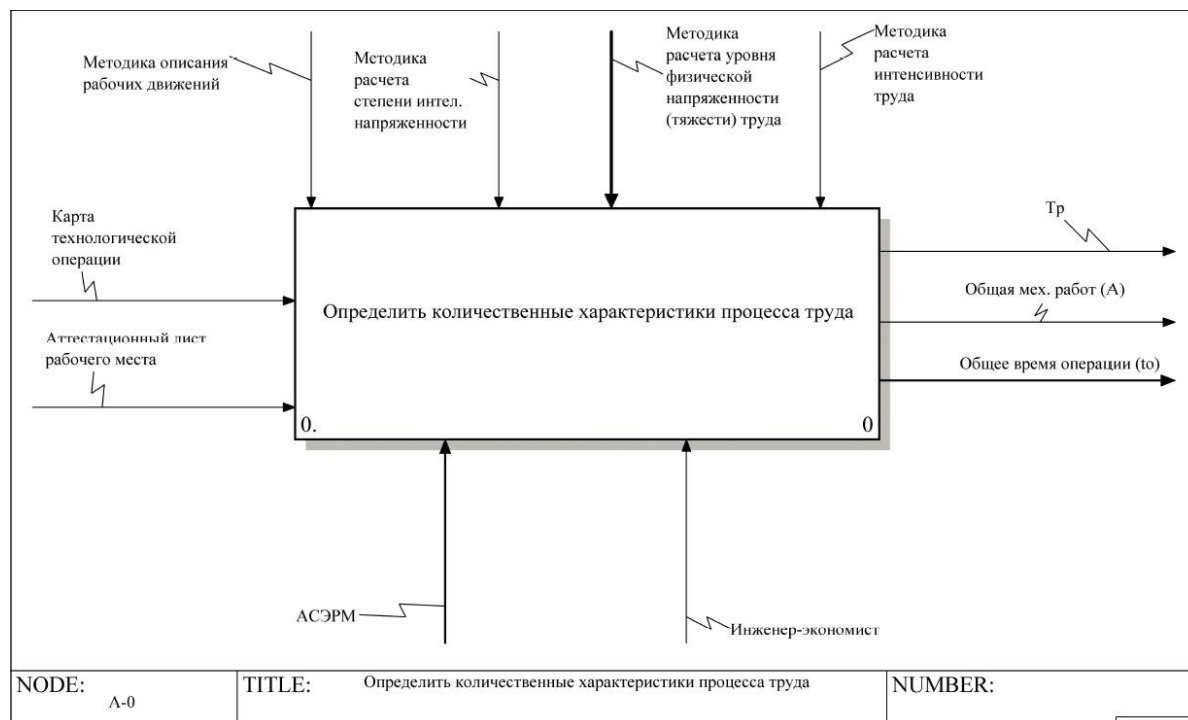


Рис. 1. Контекстная диаграмма

На вход данного процесса поступает карта технологической операции, аттестационный лист рабочего места. На выход – рассчитанная величина времени выполнения операции, интенсивности технологической операции и общая механическая работа на выполнение данной операции.

В качестве механизма выполнения расчетов интенсивности процесса труда выступают:

- система автоматизированного эргономического анализа процесса труда на рабочем месте;
- инженер-экономист, который является непосредственным пользователем автоматизированной системы, в соответствии с её «структурой расчёта интенсивности процесса труда».

В качестве управления процессом выступают [2-4; 5; 7]:

- методика описания рабочих движений и таблицы их эргономических показателей;
- методика расчета уровня физической напряженности (тяжести) труда при выполнении ручных работ;
- методика расчета степени интеллектуальной напряженности (сложности) труда;
- методика расчета коэффициента условий труда;
- методика расчета интенсивности труда.

Основной процесс состоит из пяти подпроцессов, которые представлены на диаграмме декомпозиции (рис. 2).

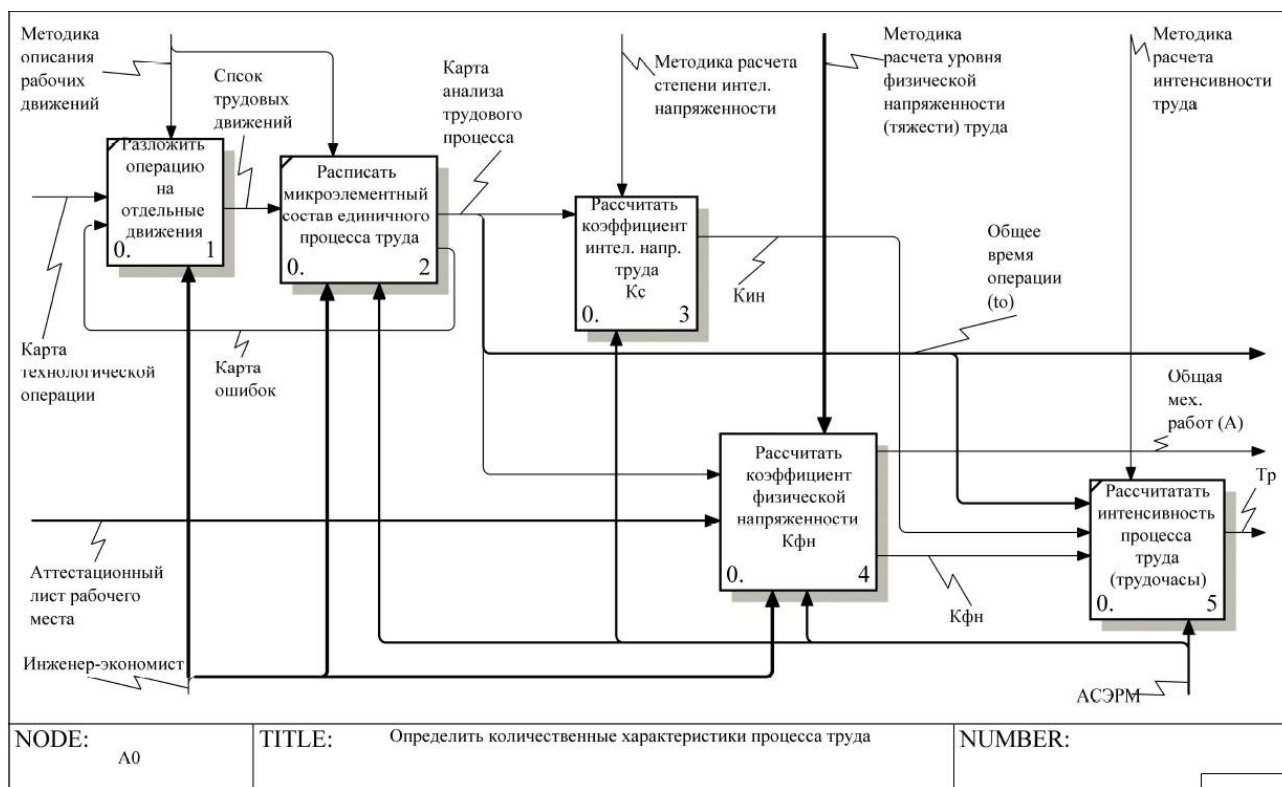


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции «Определить количественные характеристики процесса труда»

Диаграмма декомпозиции «Определить количественные характеристики процесса труда» служит наглядным представлением основных процессов, выполняющихся внутри основного. Благодаря ей, можно детально моделировать функциональные возможности разрабатываемой системы, а также более углубленное представление используемых механизмов, входных и выходных данных.

На представленной диаграмме декомпозиции показано, в каких процессах входные данные принимают участие и как преобразовываются данные в процессе расчетов.

Исходной информацией служит «Карта технологической операции», на основе которой расписывается список трудовых движений, необходимых для осуществления описываемой операции. В дальнейшем на основании методики описания рабочих движений и их эргономических показателей сформируем таблицу «Карта анализа трудового процесса», по результатам которой формируются данные для расчета:

- коэффициента физической напряженности (тяжести) труда – K_{fn} ;

- коэффициента интеллектуальной напряженности (сложности труда) – $K_{ин}$;
- продолжительности процесса труда – t .

В общем виде формула расчета трудозатрат (количество рабочего времени) представлена соотношением (1).

Каждый единичный процесс труда (технологическая операция) является элементарной составляющей генеральной совокупности единичных процессов непосредственно общественного труда. Для некоторой совокупности операций будем иметь технологическую трудоёмкость:

$$I_{TP} = T_p = \sum_{i=1}^k T_{pi} = \sum_{i=a}^k K_{фни} \cdot K_{ини} \cdot t_i, \tag{3}$$

где T_{pi} – трудозатраты на i -й технологической операции;

k – номер последовательности технологической операции;

t_i – продолжительность работы на i -ой технологической операции, мин.

Также наглядно представлено участие инженера-экономиста в формировании системы и в процессе расчетов.

Декомпозиция процесса АЗ «Расчитать коэффициент интеллектуальной напряженности труда» представлена на рис. 3.

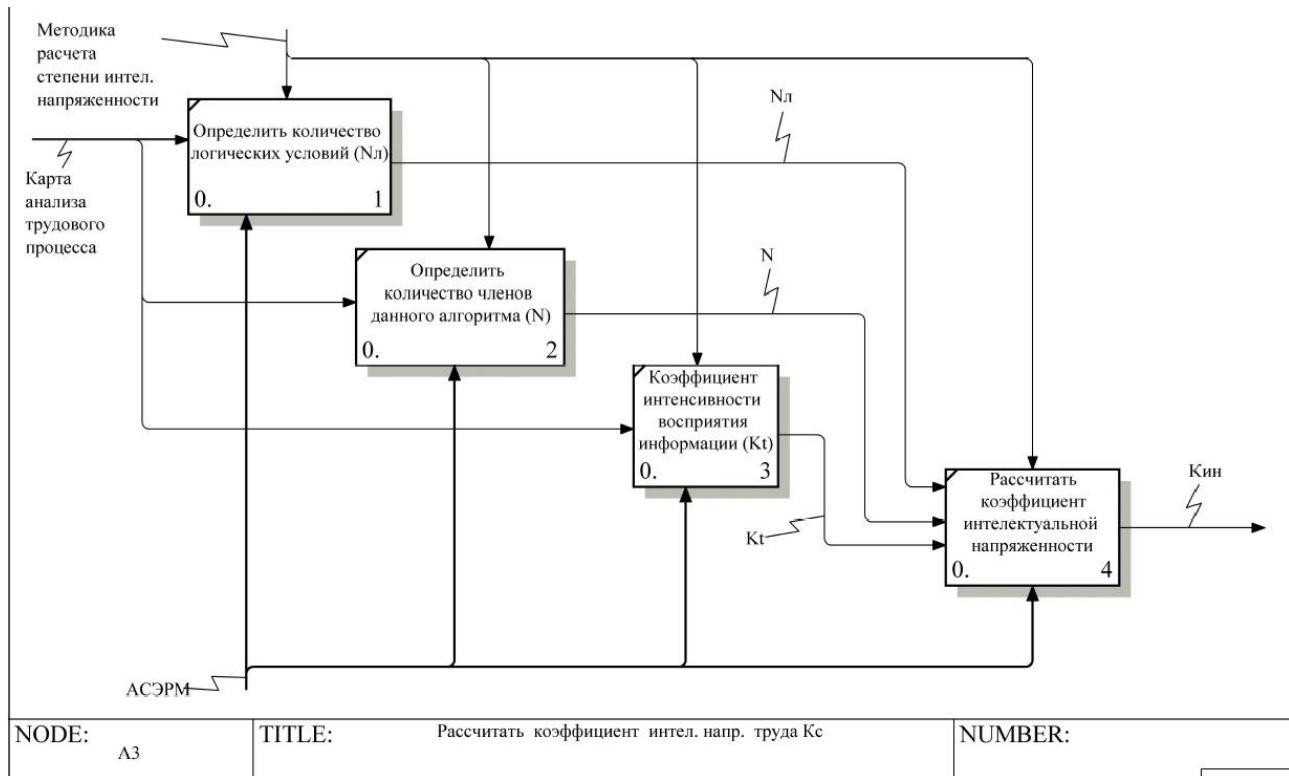


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции «Расчитать коэффициент интеллектуальной напряженности труда»

Диаграмма раскрывает процесс расчета согласно методике расчета интеллектуальной напряженности. В данной методике расчет коэффициента интеллектуальной напряженности труда ($K_{ин}$) проводится следующим образом:

- определяется количество логических условий согласно карте трудового процесса ($N_л$);
- подсчитывается количество членов данного алгоритма (N_a);
- определяется коэффициент интенсивности восприятия информации (Δ) по формуле

$$\Delta = \frac{\delta}{\delta_{ст}}, \tag{4}$$

где δ – число членов алгоритма, приходящегося на единицу времени в исследуемом процессе труда;

$\delta_{ст}$ – число членов алгоритма, приходящихся на единицу времени в процессе труда, принятом за стандарт. За такой процесс принимается процесс, в котором за одну секунду осуществляется в среднем два трудовых движения и одно логическое условие, то есть $\delta_{ст} = 3$.

- определяется коэффициент интеллектуальной напряженности труда:

$$S = \frac{\ln(N) \cdot \Delta}{e^{1 - \frac{N_d}{N}}}, \quad (5)$$

где $\ln(N)$ – натуральный логарифм числа членов данного алгоритма;

e – основание натуральных логарифмов.

Декомпозиция процесса А4 «Рассчитать коэффициент физической напряженности» приведена на рис. 4. Данная диаграмма раскрывает механизм расчета коэффициента физической напряженности согласно методике расчета коэффициента тяжести труда при выполнении ручных работ. Как видно из диаграммы, участие инженера-экономиста сведено к процессам наблюдения и анализу результата автоматизированных расчетов.

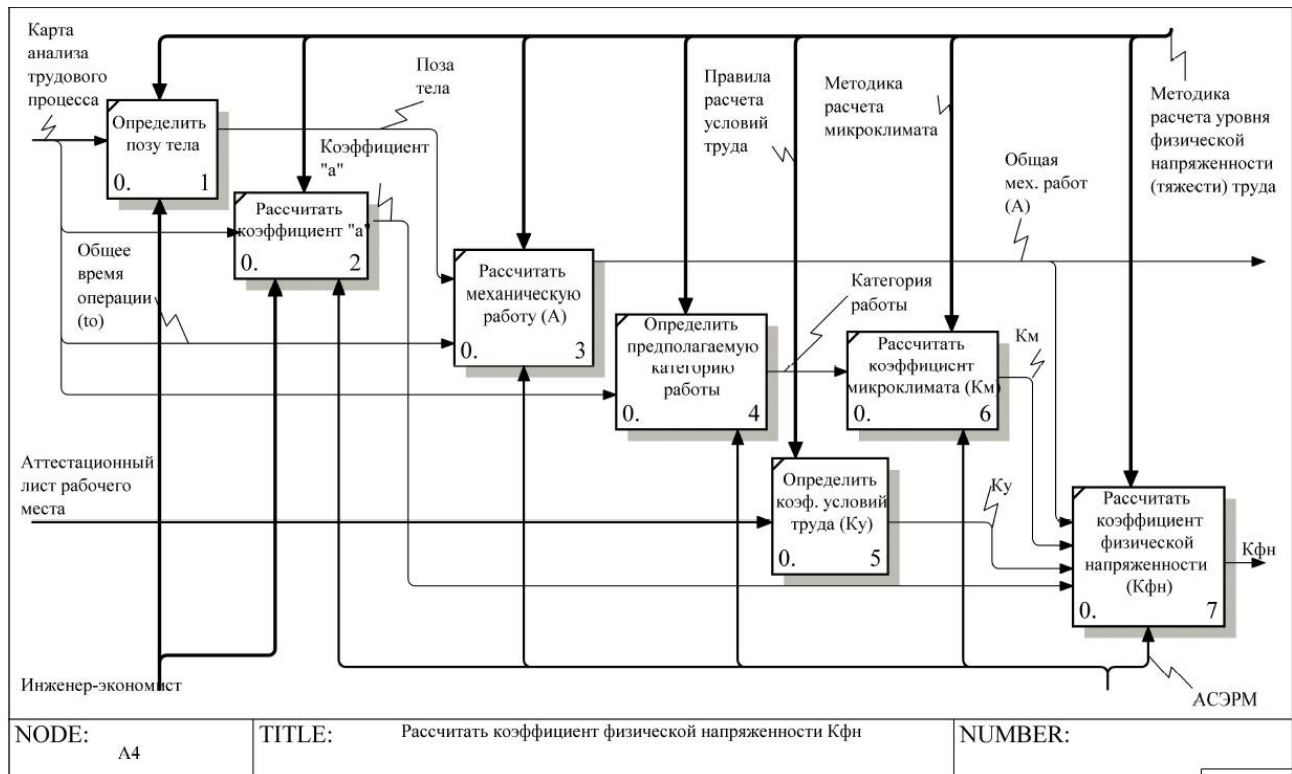


Рис. 4. Диаграмма декомпозиции «Рассчитать коэффициент физической напряженности»

Согласно методике, расчет коэффициента физической напряженности ($K_{фн}$) проводится следующим образом (см. рис. 4):

- определить позу тела;
- рассчитать коэффициент «а» (коэффициент, учитывающий соотношение статической и динамической нагрузки на мышечную систему человека, зависит от позы тела, темпа движения и статической нагрузки);

- определить предполагаемую категорию работы;

- рассчитать механическую работу, совершаемую человеком в процессе выполнения работы:

а) при работе *стоя* общая механическая работа, совершаемая при выполнении операции,

$$A = 300 + \sum_{i=1}^n A_i, \quad (6)$$

где $\sum_{i=1}^n A_i$ – суммарная работа при выполнении всех трудовых движений в данной технологической операции, кгсм/мин;

A_i – работа, совершаемая при выполнении одного трудового движения, кгсм/мин;

$i=1, 2, \dots, n$ – порядковые номера трудовых движений в «Карте анализа операции»;

300 – механическая работа, совершаемая при работе стоя, но не учитываемая в расчетах по отдельным микроэлементным трудовым движениям, кгсм/мин. Дело в том, что при расчете работы на основе микродвижений невозможно учесть движения корпуса и всего тела, которые происходят одновременно с основным в карте микродвижением. Кроме того, человек, двигая частями своего тела, постоянно переступает с ноги на ногу и происходят незначительные опускания и подъемы тела, повороты

корпуса, которые непосредственному наблюдению, фиксированию и расчету не поддаются. Исходя из изложенного, механическая работа при работе стоя за счет произвольных движений корпуса и всего тела принимается равной механической работе при ходьбе со скоростью 2 км/час.

б) при работе *сидя* общая механическая работа, совершаемая при выполнении операции,

$$A = 120 + \sum_{i=1}^n A_i, \quad (7)$$

где обозначения те же, что и в п. (а).

в) при расчете механической работы, совершаемой при выполнении микроэлементных трудовых движений, следует учитывать следующее:

– время выполнения трудового движения в микроэлементных нормативах и карте анализа операции дается в с;

– работа, совершаемая при выполнении трудового движения, в нормативах и карте анализа операции дается в кгс·м;

– в формуле расчета общей механической работы, совершаемой при выполнении технологической операции, работа должна быть выражена в кгс м/мин;

– работу из «Карты анализа операции» по указанным причинам следует перевести в кгс м/мин по формуле

$$A_i = \frac{A_{\text{МКЭ}}}{t_{\text{МКЭ}}} \cdot 60 \text{ кгс} \cdot \text{м/мин} \quad (8)$$

или для всех операций

$$\sum_{i=1}^n A_i = \frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{МКЭ}}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{МКЭ}}} \cdot 60 \text{ кгс} \cdot \text{м/мин} \quad (9)$$

где $A_{\text{МКЭ}}$ – работа, совершаемая при выполнении рассматриваемого трудового движения, кгс м;

$t_{\text{МКЭ}}$ – время выполнения рассматриваемого трудового движения;

– определить коэффициент, учитывающий отклонение параметров микроклимата в рабочей зоне от оптимальных (K_m);

– рассчитать коэффициент, учитывающий различные параметры физиологических и санитарно-гигиенических условий в рабочей зоне анализируемого или проектируемого процесса труда (K_y).

– Заключительный этап – коэффициент физической напряженности ($K_{\text{фн}}$):

$$K_{\text{фн}} = T = 0,476 \cdot \left(E_0 + a \cdot \frac{A}{500} \right) \cdot K_m \cdot K_y, \quad (10)$$

где E_0 – затраты энергии человеческим организмом на поддержание позы своего тела при отсутствии трудовых движений.

$E_0 = 0,7$ ккал/мин для поддержания позы «стоять»;

и $E_0 = 0,3$ ккал/мин для поддержания позы «сидеть»;

a – коэффициент, учитывающий соотношение статической и динамической нагрузки на мышечную систему человеку, зависит от позы тела, темпа движения и статической нагрузки.

500 – постоянное число, полученное на основе расчетов и характеризующее соотношение внешней механической работы и затраты внутренней энергии человеком при ходьбе со скоростью 4 км/час. Эта величина принимается за переводной коэффициент внешней механической работы, совершаемой человеческим телом, в физиологическую теплоту и имеет размерность кгс·м/ккал, то есть 500 кгс·м эквивалентно 1 ккал выработанной человеческим организмом теплоте при ходьбе со скоростью 4 км/час;

A – внешняя механическая работа, совершаемая системой человек-предмет труда - орудие труда в конкретных видах работы в единицу времени, кгс·м/мин;

На основании функциональной модели систему АСЭРМ можно представить в виде взаимосвязи нескольких подсистем:

1) подсистема расчета основных показателей интенсивности труда технологической операции;

2) подсистема расчета трудоёмкости технологической операции.

Подсистема расчета основных показателей интенсивности операции имеет модули:

а) модуль работы с БД;

б) модуль заполнения карты анализа трудового процесса;

в) модули расчета коэффициентов: физической напряженности (тяжести) труда, интеллектуальной напряженности (сложности) труда, условий труда и коэффициента интенсивности.

Подсистема расчета трудоёмкости операции включает:

а) модуль расчета трудоёмкости;

б) модуль формирования отчета.

В данной работе описаны проектные решения по автоматизированной системе эргономического анализа процессов труда на рабочем месте (АСЭРМ). На основе методологии IDEF0 проведено функциональное моделирование, результатом которого получены диаграммы, отражающие основные функциональные процессы. Выделены основные функции, которыми должна обладать разрабатываемая система.

Дальнейшим шагом стало проектирование схемы работы системы. Схема работы системы развернута через разработанный основной алгоритм, итогом выполнения которого является требуемый результат: для нашей системы – заполненная карта анализа трудового процесса и вывод всех основных показателей.

Для моделирования недостающих программных средств применен язык программирования C#, интерактивная среда разработки: Microsoft Visual Studio Express 2013 для Windows Desktop.

При формулировании требований конфигурации ПК проведен обоснованный выбор различных технических средств, необходимых для реализации поставленной задачи. В итоге сформулированы минимальные системные требования.

Работа посвящена актуальной практической задаче снижения трудоемкости расчетов интенсивности процесса труда на рабочем месте.

Разработаны автоматизированные инструментальные средства расчета интенсивности процесса труда на рабочем месте на основании карт технологических операций.

Экспериментальная апробация разработанных и программно реализованных инструментальных средств показала, что их применение позволяет в целом существенно снизить трудоемкость расчетов.

В дальнейшем для развития и совершенствования АСЭРМ необходимо:

- исследование выявленных случаев некорректной работы программ и соответствующая доработка алгоритмов;
- разработать подсистемы диагностики и интерпретации исключительных ситуаций, возникающих в процессе расчетов;
- разработать характеристики эргономичного диалога системы с пользователем, ориентированного на минимизацию действий пользователя;
- повышение надежности и быстродействия разработанных алгоритмов и программно реализованных инструментов.

Использование разработанной программы для проведения эргономического анализа труда на рабочем месте позволит:

- 1) увеличить скорость расчета микроэлементных нормативов;
- 2) создать базу данных разработанных нормативов и в дальнейшем применять их повторно;
- 3) уменьшить количество работников, занимающихся нормированием труда;
- 4) учитывать результаты расчетов при разработке паспорта рабочего места.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пер Ю. Экономическая метрология. Часть II. Процесс труда – социальная молекула. М.: Изд-во ВЦУЖ. 1999. 296 с.
2. Перевошиков Ю.С. Трудовой процесс. Ижевск: Удмуртия, 1974.
3. Perevoschikov U.S. Labourprocess (engineering-economic research into working standards). Izhevsk: Publishing house “Udmurt University”, 2015. 331 p.
4. Перевошиков Ю.С. Экономическая метрология. Квалиметрия труда. М.: Изд-во «Всероссийский центр уровня жизни», 2015. 504 с.
5. Управление трудом в бригаде: справоч.-метод. пособие / под ред. Ю.С. Перевошикова. Ижевск: Удмуртия, 1983. 220 с.
6. ГОСТ Р 50.1.028–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Госстандарт России. 2001. 49 с.
7. Овчинников В.Ф. Методические указания по разработке паспорта рабочего места. Ижевск: УдГУ, 1984. 71 с.

Поступила в редакцию 17.11.16

D.G. Maksimov

AUTOMATED SYSTEM OF ERGONOMIC ANALYSIS OF LABOR PROCESSES AT THE WORKPLACE

The microelement norm-fixing is one of the methods for calculating time expenditure. It lies in the description of the labor process using microelements. Movement of labor is understood as single movement of limbs, their parts or body by the performer. There are many systems of microelements standards in foreign countries.

The Taylor–Gilbrett method for microelement analysis of labor movements of a human body in the process of labor, called the MTM system, has become one of the methodical forms of combination of the problems of investigating and designing labor processes at workplaces. The microelement norm-fixing method is used not to “look after” the employee (to see what he does and how much time he spends on it), but to characterize the workplace. The microelement method can always be used to obtain indicators that describe a particular workplace: how hard and difficult the labor is and what the coefficient of social importance of the workplace is. These parameters allow one to find quantitative characteristics of the workplace, i.e., the generalized qualimetric parameter, which corresponds to the requirements stated in the standard describing the workplace. This paper presents the process of creating the program of automation of microelement norm-fixing on the basis of the original, simplified method that was developed, методики, который был разработан в Удмуртском государственном университете.

Keywords: qualimetry, labor, microelement analysis, ergonomics, workplace.

Максимов Даниил Геннадьевич,
кандидат экономических наук

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 4)
E-mail: maksdg@mail.ru

Maksimov D.G.,
Candidate of Economics
Udmurt State University
Universitetskaya st., 1/4, Izhevsk, Russia, 426034
E-mail: maksdg@mail.ru