

Сайківська Л. Ф.

РОЗРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА ЗОРОВОГО ПРОФІЛЮ

У статті представлена інформаційна технологія оцінки функціонального стану оператора зорового профілю. Технологія дозволяє реєструвати показники функціонального стану, здійснювати відбір інформативних показників та прогнозувати зміну функціонального стану людини в процесі зорової праці з різними видами візуального навантаження. Представлена технологія може бути використана для професійної діяльності і для прогнозування перебігу якого-небудь захворювання або ефективності лікування.

Ключові слова: інформаційна технологія, оператор зорового профілю, оцінка функціонального стану, стомлення, програмно-апаратний комплекс.

1. Вступ

Використання комп'ютерів у всіх сферах життя людини призвело до того, що діяльність багатьох фахівців стала практично операторською, оскільки спостереження за технологічними процесами, управління ними, отримання необхідної інформації для прийняття рішень здійснюються з використанням монітора комп'ютера. Людина в такій системі може вважатися оператором зорового профілю, так як основна інформація під час роботи з усіх виробничих питань надходить до неї через зорову систему, що призводить до значного напруження її функцій. Монотонність праці, необхідність постійної переадаптації зорової системи через наявність у полі зору одночасно об'єктів різної яскравості, розумове перенапруження, обумовлене характером вирішуваних завдань, призводять до зорового і загального стомлення, яке проявляється підвищеною дратівливістю, нервовим напруженням і навіть стресом. Все це призводить до погіршення функціонального стану людини, зниження працездатності, розвитку патологій. Оскільки якість і ефективність роботи оператора залежать від функціонального стану організму, виникла необхідність його оцінки на різних етапах діяльності, починаючи з професійного відбору на операторську спеціальність і закінчуючи періодичною оцінкою в процесі професійної діяльності.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

У зв'язку з потребами професійного відбору та контролю функціонального стану (ФС) операторів в процесі виробничої діяльності на даний час існує цілий ряд інформаційних технологій, що поєднують комплекси методів і пристроїв для визначення психологічних і психофізіологічних показників оператора в процесі діяльності.

Серед найбільш поширених методів, які дозволяють проводити оцінку ФС операторів, можна виділити методи визначення обсягу короткочасної пам'яті, швидкості сприйняття інформації, інтенсивності уваги, точності

і тривалості відтворення інтервалів часу, лабільності нервової системи [1], а також методи визначення значень психофізіологічних характеристик оператора, оцінки якості діяльності та надійності системи, показників активності підсистем організму людини (за даними вимірювання температури, електропровідності біологічно активних точок (БАТ), електрофізіологічних показників (ЕКГ, ЕМГ та ін.)) [2–4].

Крім того, існує значна кількість комплексів, які дозволяють визначити функціональний стан оператора, в яких використовуються показники електричних сигналів організму, наприклад, електроенцефалограми [5], електрокардіограми [6, 7], електроміограми [8], а також електрошкірний опір [9]. З тією ж метою використовуються і інші показники, такі як: характеристики стану крові і судин [10], тремору м'язів, а також параметри дихання [11] (легенева вентиляція) та артеріальний тиск [12].

Однак, специфіка діяльності оператора зорового профілю значно впливає на центральну нервову систему (ЦНС) і зорову систему. Аналіз доступної літератури не виявив робіт, у яких при оцінці ФС операторів були враховані показники зорової системи. З іншого боку наявні дані вказують, що значний вплив на загальний ФС оператора, який визначає багато в чому якість і успішність його професійної діяльності, здійснює саме стан зорової та центральної нервової системи людини.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єктом дослідження є функціональний стан оператора зорового профілю.

Метою даної статті є розробка і використання інформаційної технології для оцінки функціонального стану оператора зорового профілю в процесі зорової праці.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Розробити інформаційну технологію, яка дозволила б здійснювати реєстрацію показників функціонального стану оператора, вибір інформативних показників

і прогнозувати зміну функціонального стану в процесі зорової праці.

2. Визначити метод отримання оптимального набору показників функціонального стану оператора та за його допомогою дослідити ступінь напруження та мобілізації організму в процесі зорової праці.

3. Показати можливість використання розробленого методу прогнозування функціонального стану для окремого оператора і групи осіб.

4. Методичні аспекти з розробки та використання інформаційної технології

При розробці інформаційної технології спочатку необхідно було: визначити комплекс інформативних показників функціонального стану оператора зорового профілю, розробити програмно-апаратний комплекс для одержання цих показників та алгоритм визначення інтегративних показників, які характеризують функціональний стан оператора.

Інформаційна модель оператора зорового профілю [13] дозволяє визначити найбільш значущі функціональні показники організму, які забезпечують якість професійної діяльності. Вона включає блоки інформативних показників психофізіологічного стану та стану зорової системи. Для зорової системи були визначені наступні показники: гострота зору, резерви акомодатції та найближчі точки ясного зору обох очей, найближча точка конвергенції, критична частота злиття миготінь (КЧЗМ) та рівень електрошкірного опору в точках, які відповідають за стан зорової системи. Для оцінки стану центральної нервової системи визначалися показники КЧЗМ, час простої зорово-моторної реакції на світловий стимул, кількість вірних/не вірних відповідей, тривожність, працездатність, активність, настрій та самопочуття.

Представлена в статті інформаційна технологія дослідження функціонального стану оператора зорового профілю (рис. 1) складається з етапів формування початкового масиву даних, визначення інформативних показни-

ків, аналізу та оцінки функціонального стану оператора. Визначення показників функціонального стану операторів зорового профілю проводилося з використанням програмно-апаратного комплексу [14], до складу якого входять пристрої, за допомогою яких здійснювались пред'явлення візуальної інформації, реєстрація відповідей випробовуваного чи сигналів від датчиків, обробка інформації та подання її на паперовому або електронному носії.

Особливістю програмно-апаратного комплексу [14] є його блокова структура, що дозволяє, в залежності від поставлених у дослідженні завдань, використовувати різні комбінації приладів і методик, розширюючи можливості застосування комплексу. Особливістю розроблених приладів для оцінки функціонального стану ЦНС (рефлексометри і пристрій для визначення КЧЗМ), зорової системи (пристрій для визначення КЧЗМ) та електрошкірного опору (ЕШО) є те, що всі вони побудовані за єдиним принципом і виконані на програмно керованих мікроконтролерах, які генерують тестові сигнали, реєструють і перевіряють якість відповідної реакції випробовуваного, забезпечують тимчасове зберігання та передачу результатів вимірювань в ПК. Відмінність між розробленими рефлексометрами, пристроями для дослідження КЧЗМ і ЕШО полягає в програмах прошивки мікроконтролерів, видах і способах пред'явлення випробовуваному тестових сигналів та способах реєстрації відповідей.

Обробка та аналіз даних досліджень можуть бути проведені за кількома напрямками: оцінка поточного ФС, оцінка впливу візуально діючих факторів та прогнозування (колективне та індивідуальне) ФС.

Для визначення ФС оператора зорового профілю було виділено показники стану провідних систем організму, однак їх досить багато, що ускладнює процес оцінки. У зв'язку з цим виникла необхідність зменшення обсягу показників без втрати якості оцінки ФС, що може бути досягнуто, наприклад, шляхом розробки інтегративних показників або відбору найбільш інформативних з усіх досліджених показників.

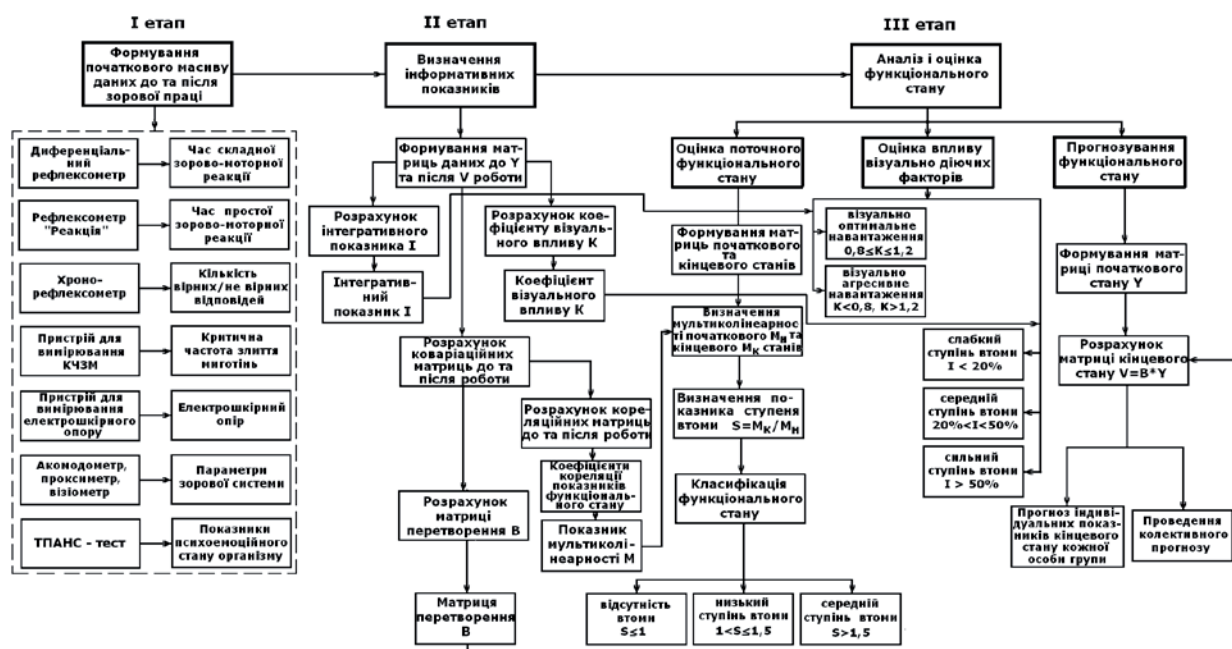


Рис. 1. Інформаційна технологія для дослідження функціонального стану оператора зорового профілю

З цією метою використовувалася методика зменшення обсягу досліджуваних показників за рахунок мінімізації їх зв'язності з використанням кореляційного методу [15]. Показники ФС досліджуваних, отримані до і після зорової праці, об'єднувалися в матриці, в стовпцях яких знаходилися показники конкретного випробуваного, а в рядках — значення кожного з досліджених показників всіх випробуваних. Кількість рядків і стовпців матриць не обмежена, що дозволяє, в залежності від поставленого завдання дослідження, змінювати як кількість випробовуваних, так і кількість показників. Проте, при такому підході обов'язкове дотримання умови, що при збільшенні кількості досліджуваних показників необхідно відповідно збільшувати кількість випробовуваних.

Для оцінки ступеня зв'язку між показниками функціонального стану розраховувалися кореляційні матриці до і після зорової праці. Їх аналіз дозволяє виявити найбільш тісно пов'язані між собою показники, так як елементами таких матриць є парні коефіцієнти кореляції показників функціонального стану випробуваних. За отриманими кореляційними матрицями обчислювалися показники мультиколінеарності (М) [16] до і після зорової праці за формулою (1):

$$M = - \left(n - 1 - \frac{(2m+5)}{6} \right) \ln(D), \quad (1)$$

де n — величина вибірки кожного з аналізованих параметрів; m — кількість параметрів; D — детермінант матриці коефіцієнтів парної кореляції між аналізованими параметрами. Математично M є характеристикою ступеня зв'язку між елементами кореляційної матриці, а з позицій фізіології — показником стану напруження досліджуваної функціональної системи. Бралось до уваги, що зростання показника M в процесі діяльності системи свідчить про її напруження [17].

Для зменшення показника M матриці початкового стану був використаний метод виключення змінних. Тобто, після того, як один з корелюючих показників виключався з матриці вихідних даних функціонального стану випробовуваних, розрахунок мультиколінеарності проводився знову. При виключенні з розгляду показників враховувався і їх фізіологічний сенс. Процедура повторювалася доти, доки не було отримано значення M менше граничного значення $M_{гр}$, яке визначається з використанням критерію:

$$\chi^2 = m(m - 1)/2.$$

Порівнюючи показники мультиколінеарності до (M_n) і після (M_k) зорової праці та обчислюючи їх відношення, можна кількісно визначити зміну ФС оператора під впливом різних видів візуального навантаження. На підставі класифікації функціонального стану операторів [17, 18] визначаються граничні значення показника ступеня стомлення S , що дозволяють оцінити поточний стан випробуваних у процесі вирішення зорових завдань.

Оцінку візуально діючих факторів проведено з використанням коефіцієнту візуального впливу (КВВ) [19]. Для розрахунку КВВ використовуються найбільш інформативні показники ФС.

Для проведення колективного та індивідуального (для кожного члена досліджуваної групи) прогнозу ФС після зорової праці розроблено методуку знаходження зв'язку матриці Y початкового функціонального стану оператора (до зорової праці) та матриці V кінцевого стану по кожному виду зорового навантаження. n -вимірні стовпці y_j та v_j ($j \in 1, \ell > n$) матриць Y та V відповідно вважаються випадковими взаємно незалежними векторами з однаковими векторами середніх значень $\bar{y}_j = \bar{y}$ та $\bar{v}_j = \bar{v}$ та коваріаційними матрицями (КМ) F_Y та F_V . У запропонованому методі вважається, що матриця V є результатом лінійного перетворення матриці Y , яке має вигляд:

$$V = B \cdot Y, \quad v_i = B \cdot y_i, \quad i \in 1, \ell,$$

і визначається квадратною матрицею перетворення B .

Використовуючи для симетричних та позитивно визначених матриць F_Y та F_V відомі подання:

$$F_Y = A \cdot A^T, \quad F_V = C \cdot C^T, \quad (2)$$

де A та C — «корені» матриць F_Y і F_V відповідно, для шуканої матриці перетворення отримаємо:

$$B = C \cdot A^{-1}. \quad (3)$$

В реальних умовах замість звичайно апріорі невідомих матриць F_Y та F_V , визначених за виразом (2), запропоновано використовувати їх максимально правдоподібні оцінки:

$$\hat{F}_Y = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} Y_i \cdot Y_i^T - \hat{\bar{y}} \cdot \hat{\bar{y}}^T, \quad \hat{\bar{y}} = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} y_i,$$

$$\hat{F}_V = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} v_i \cdot v_i^T - \hat{\bar{v}} \cdot \hat{\bar{v}}^T, \quad \hat{\bar{v}} = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} v_i.$$

У цьому випадку вираз (3) буде мати такий вигляд:

$$\hat{B} = \hat{C} \cdot \hat{A}^{-1}, \quad (4)$$

де \hat{C} і \hat{A} — корені оціночних матриць \hat{F}_V і \hat{F}_Y відповідно, які задовольняють рівнянням $\hat{F}_Y = \hat{A} \cdot \hat{A}^T$ й $\hat{F}_V = \hat{C} \cdot \hat{C}^T$ та завжди існують в силу симетрії і додатної визначеності оцінок (6) в розглянутих умовах $\ell > n$.

5. Результати використання інформаційної технології та їх обговорення

Для оцінки ефективності методики прогнозування було побудовано колективний та індивідуальний (для кожного члена досліджуваної групи) прогноз кінцевого функціонального стану випробовуваних після зорового навантаження «текст на ПК». З цією метою групі випробовуваних з 86 осіб (студенти ВНЗ) у віці ($21,9 \pm 0,6$) року було запропоновано зорове навантаження «текст на ПК», з яким вони працювали 45 хвилин, та за

отриманими до і після цього функціональними показниками було визначено матрицю перетворення.

Далі були взяті дані до і після зорової праці на комп'ютері групи з 37 професійних користувачів ПК, середній вік яких складав $(30,2 \pm 6,4)$ року. За показниками їхнього початкового стану, з використанням матриці перетворення, отриманої в експерименті, було розраховано матрицю показників кінцевого стану. Матриця перетворення, отримана в експерименті, могла бути використана для прогнозу кінцевого функціонального стану професійних операторів, оскільки, як студенти, так і професійні оператори знаходилися в одному віковому інтервалі (18–35 років) та мали функціональні показники в межах вікових норм. Для підтвердження правильності прогнозу кінцевого стану за розрахунковою та експериментальною матрицями було визначено показники M та розраховано показник ступеня стомлення S . Результати розрахунків представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку показника ступеня втоми S

Матриця стану	Показник мультиколінеарності до роботи $M_{до}$	Показник мультиколінеарності після роботи $M_{після}$	Показник ступеня втоми S
Для експериментальної матриці кінцевих значень	301,8	359,2	1,19
Для розрахованої матриці кінцевих значень	730,7	765,7	1,05
Відносна помилка для розрахованої та експериментальної матриць			11,7 %

Відносна помилка показника, обчисленого за розрахунковою матрицею кінцевого стану, в порівнянні з показником, обчисленим за експериментальними даними, склала 11,7 %.

Оскільки в кожному стовпці матриці кінцевого стану містяться показники конкретного випробовуваного, то за розрахованою матрицею кінцевих станів можна здійснювати індивідуальний прогноз значень функціональних показників саме для цього випробовуваного. Середнє значення відносної помилки експериментального та розрахункового значень кожного з досліджуваних показників представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Відносна помилка результатів функціонального стану випробовуваних, отримана експериментальним та розрахунковим шляхами

Показник функціонального стану	Середнє значення відносної помилки по показникові, %
Резерви акомодатії правого ока	7,88
Резерви акомодатії лівого ока	5,96
Найближча точка ясного зору правого ока	5,43
Найближча точка ясного зору лівого ока	9,05
Найближча точка акомодатії	11,33
Тривожність	4,04
Працездатність	13,88
Активність	5,24
Настрій	8,02
Самопочуття	9,37
Середнє значення відносної помилки	8,02

Порівняння розрахункових та експериментальних показників кінцевого стану показало, що відносна похибка прогнозу становить $(8,02 \pm 3,0)$ %. Такий результат є допустимим рівнем помилок як для професійного відбору, так і в медицині.

6. Висновки

1. Розроблена інформаційна технологія дозволяє реєструвати показники за допомогою програмно-апаратного комплексу, здійснювати вибір інформативних показників на основі мінімізації їх зв'язності і прогнозувати зміни функціонального стану людини в процесі зорової праці з різними видами візуального навантаження.

2. Кореляційний метод та розрахований за його допомогою показник мультиколінеарності дозволяють визначити оптимальний набір показників функціонального стану оператора, виявити вплив різних видів зорового навантаження на нього та дослідити ступінь напруження та мобілізації організму в процесі зорової праці.

3. Отримані результати вказують на можливість практичного використання розробленого методу прогнозування функціонального стану як окремого оператора, так і групи осіб, оскільки відносна похибка для розрахованої та експериментальної матриць складала 11,7 % та відносна похибка прогнозу складала 8,02 %, що є допустимим в медичній рівнем помилок.

4. Перспективність розробленого методу прогнозування полягає в тому, що він може бути використаний не тільки для професійної діяльності, але і, наприклад, для прогнозування перебігу якого-небудь захворювання або ефективності лікування.

Література

- Філенко, І. О. Психосоматичні аспекти операторської діяльності [Текст] / І. О. Філенко // Вісник Харківського державного педагогічного університету ім. Г. С. Сковороди. Серія: Психологія. — Харків: ХДПУ, 2003. — Вип. 10. — С. 196–202.
- Дмитрієва, Н. В. Полипараметрические информационные системы для функционально-диагностических исследований [Текст] / Н. В. Дмитрієва, О. С. Глазачев // Scientific-theoretical magazine «Artificial Intelligence». — 2000. — № 2. — С. 53–58.
- Wilson, G. F. Operator functional state assessment for adaptive automation implementation [Text] / G. F. Wilson // Proceedings — spie the international society for optical engineering. — 2005. — Vol. 5797. — P. 100–104. doi:10.1117/12.601806
- Zhang, J.-H. Fuzzy Logic based Identification of Operator Functional States Using Multiple Physiological and Performance Measures [Text] / J.-H. Zhang, X.-Y. Wang, M. Mahfouf, D. A. Linkens // International Conference on BioMedical Engineering and Informatics. — 2008. — Vol. 1. — P. 570–574. doi:10.1109/bmei.2008.181
- Файнзильберг, Л. С. Новая информационная технология обработки ЭКГ для выявления ишемической болезни сердца при массовых обследованиях населения [Текст] / Л. С. Файнзильберг // Управляющие системы и машины. — 2005. — № 3. — С. 63–71.
- Баевский, Р. М. К проблеме физиологической нормы: математическая модель функциональных состояний на основе анализа variability сердечного ритма [Текст] / Р. М. Баевский, А. Г. Черникова // Авиакосмическая и экологическая медицина. — 2002. — № 5. — С. 30–31.
- Гжегоцький, М. Р. Визначення рівня втомлюваності користувачів персональних комп'ютерів [Текст] / М. Р. Гжегоцький, О. Г. Мисаковець, Ю. С. Петришин та ін. // Науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та електронні технології», 22–26 квітня 2006, Одеса. — 2006. — С. 195.

8. Электромиографический аппаратный комплекс «НЕЙРО-МИОГРАФ» [Текст]: техническое описание и инструкция по эксплуатации. — Москва, 2003. — 7 с.
9. Шишкин, Г. Г. Приборный компьютеризированный комплекс для диагностики функционального состояния операторов радиоэлектронных станций [Текст]: тез. докл. / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев, С. М. Еськин и др. // 15-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». — Севастополь, 2005. — С. 892–893.
10. Кравченко, М. Ф. Использование аналитического комплекса АКС-ЭНОФИТ для обследования больших групп населения [Текст] / М. Ф. Кравченко, Р. В. Ставицкий, Л. А. Лебедев и др. // Медицинская техника. — 2006. — № 4. — С. 41–43.
11. Кнорринг, В. Г. Диагностико-лечебный комплекс с перестраиваемой структурой [Текст] / В. Г. Кнорринг, Л. Н. Кнорринг, В. Н. Мартынов, В. Ю. Сальников // Медицинская техника: двухмесячный научно-технический журнал. — М.: Медицина, 1997. — № 1. — С. 17–20.
12. Черняк, А. Н. Нейрокомпьютеринг психофизиологического состояния человека [Текст] / А. Н. Черняк, Е. Н. Довгялло, Ю. Г. Выхованец, Г. И. Миронова // Вестник гигиены и эпидемиологии. — ДонДМУ, 2005. — Т. 5, № 1. — С. 41–43.
13. Кочина, М. Л. Подходы к моделированию функционального состояния зрительной системы [Текст] / М. Л. Кочина, С. Н. Лад, Л. Ф. Сайковская и др. // Кибернетика и вычислительная техника. — 2009. — Вып. 159. — С. 19–27.
14. Кочина, М. Л. Атоматизированный комплекс для диагностики функционального состояния пользователей ПК [Текст] / М. Л. Кочина, Л. Ф. Сайковская // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. — 2006. — Вып. 146. — С. 49–54.
15. Виленкин, С. Я. Статистическая обработка результатов исследований случайных функций [Текст] / С. Я. Виленкин. — М.: Энергия, 1979. — 320 с.
16. Ферстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа [Текст] / Э. Ферстер, Б. Ренц. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 302 с.
17. Навакатикян, А. О. Физиология и гигиена умственного труда [Текст] / А. О. Навакатикян, В. В. Крыжановская, В. В. Кальниш. — К.: Здоров'я, 1987. — 152 с.
18. Navakatikyan, A. O. VDT-users; efficacy: Methods of investigation and assessment criteria [Text] / A. O. Navakatikyan, V. V. Kalnish, V. M. Martirosova et al. // Proceedings of International Conference on Work with Display Units. — Stockholm, 1986. — P. 10–13.
19. Спосіб діагностики і інформаційного навантаження друкованих видань для дітей та підлітків [Текст]: Патент України № 43719А, МПК А 61 В 10/00 / Кривоносов М. В., Подрігало Л. В., Кочина М. Л., Яворський О. В., Маслова Н. М. — № 2001063812; заявл.06.06.2001; опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11. — 1 с.

РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ЗРИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

В статье представлена информационная технология оценки функционального состояния оператора зрительного профиля. Технология позволяет регистрировать показатели функционального состояния, осуществлять отбор информативных показателей и прогнозировать изменение функционального состояния человека в процессе зрительного труда с различными видами визуальной нагрузки. Представленная технология может быть использована для профессиональной деятельности и для прогнозирования течения какого-либо заболевания или эффективности лечения.

Ключевые слова: информационная технология, оператор зрительного профиля, оценка функционального состояния, утомление, программно-аппаратный комплекс.

Сайківська Лілія Федорівна, кандидат технічних наук, кафедра радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, e-mail: lily_s_f@mail.ru.

Сайковская Лилия Федоровна, кандидат технических наук, кафедра радиотехнологий информационно-коммуникационных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина.

Saikivska Liliia, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: lily_s_f@mail.ru

УДК 621.727

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47919

**Чибіряк Я. І.,
Федотова Н. А.,
Думанчук М. Ю.**

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Запропоновано математичні моделі, що відображають зв'язки базування та розмірні зв'язки між складальними елементами, враховують обмеження доступу, конструкторсько-технологічні та екологічні критерії складальних процесів. З їх використанням розроблено метод синтезу раціональної послідовності складання виробів, який відрізняється тим, що при побудові варіантів послідовності складання враховується комплекс технологічних та екологічних обмежень, що дозволяє забезпечити задану якість виробу та мінімізувати тривалість виробничого циклу.

Ключові слова: тривалість виробничого циклу, екологічні обмеження, послідовність складання, метод, алгоритм.

1. Вступ

Забезпечення високої конкурентоспроможності випускаючих виробів вимагає підвищення якості їх виготовлення з одночасним зниженням виробничих затрат. Процес складання являється заключним і визначним етапом виробничого процесу. Дослідження оптимізації

складальних виробництв показують, що від обраного варіанту складання залежить трудомісткість технологічного процесу, собівартість обладнання, витрати на процес складання. При цьому важливо проектувати саме такий варіант складання виробу, що дозволяє скоротити виробничий цикл, так як це призводить до збільшення продуктивності праці, зменшення виробничих площ, зниження