

**МАТРИЦЫ МЕЖАТТРАКТОРНЫХ РАССТОЯНИЙ В ОЦЕНКЕ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ  
КАРДИО-РЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ РАБОТНИКОВ С ВЫСОКОЙ  
И НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ТРУДА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

А.Ю. ВАСИЛЬЕВА, В.Н. КУЗНЕЦОВА, Н.А. МИТЮЩЕНКО, М.А. ФИЛАТОВ

«Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»,  
628412, Тюменская обл., ХМАО-Югра, г. Сургут, пр-т Ленина, 1

**Аннотация.** Методами расчета матриц межаттракторных расстояний были выявлены различия в динамике поведения вектора состояния кардио-респираторной системы работников в условиях сменного труда до и после трудовой смены. Установлено, что работающие с низкой интенсивностью труда в суточную смену в 1,53 раза отличаются по межаттракторным расстояниям от работающих в суточную смену. А у работающих с высокой интенсивностью труда в дневную и ночную смену наблюдаются отличия в 2,5 раза.

**Ключевые слова:** матрицы межаттракторных расстояний, квазиаттрактор, вариабельность сердечного ритма, вектор состояния организма человека.

**MATRICES OF INTERATTRACTOR DISTANCES IN ASSESSMENT OF STATE VECTOR OF  
CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF WORKERS WITH HIGH AND LOW WORK INTENSITY  
IN THE NORTH**

A.Y. VASILYEVA, V.N. KUZNETSOVA, N.A. MITYUSHCHENKO, M.A. FILATOV

*Surgut State University*

**Abstract.** We revealed distinguishes in behavior dynamics of cardiorespiratory system vector in security officers working twenty-four-hour before and after a shift. We stated that security officers with low work intensity per shift differ in 1,53 times by interattractor distances from security officers working 24-hour-shift. Security officers with high work intensity in day and night shift have distinguishes in 2,5 times.

**Key words:** matrices of interattractor distances, quasi-attractors, heart rate variability, human body state vector.

**Введение.** Большинство людей удовлетворительно переносит работу посменно, но есть и такие для которых это оказывается трудным [1]. Необходимость систематического чередования днем, вечером и особенно ночью (периодов активности и покоя) приводит к перестройке биоритма, вызывает нарушения функций различных систем [2]. Перестройка биоритма при работе в ночное время может вызывать снижение работоспособности, нарушение кровообращения, режима сна и бодрствования, а так же ряд других изменений, получивших название десинхроноза. Степень чувствительности к десинхронозу индивидуальна.

Вовремя выявить патологические состояния работников на сегодняшний день является главной задачей в области охраны и медицины труда.

**Цель исследования.** С использованием метода расчета матриц межаттракторных расстояний, выявить закономерности поведения параметров квазиаттракторов у работающих с высокой и низкой интенсивностью физической нагрузки.

**Объект и методы исследования.** Исследования проводились на группах работников, работающих в условиях высокой и низкой интенсивности труда, имеющих режим работы в дневную и ночную смены, а также суточный режим труда. Всего было обследовано 66 человек от 24 до 59 лет до начала рабочей смены и после ее окончания.

Измерения параметров вариабельности сердечного ритма работников производилось неинвазивным методом, с помощью пульсоксиметра ЭЛОКС-01 М.

Расчет матриц межаттракторных расстояний производился на основании зарегистрированных параметров *функциональных систем организма* (ФСО) работников, которые образовывали наборы (компарменты) диагностических признаков в пределах одной фазовой координаты  $x_1$  – из набора всех координат  $m$ -мерного фазового пространства с одинаковыми диагностическими характеристиками. Каждый работник, имеющий свои компоненты вектора состояния организма данного человека задавался точкой в этом *фазовом пространстве состояний* (ФПС). А группа испытуемых образовывала некоторый квазиаттрактор. При этом разные группы обследуемых из-за разных воздействий на них образовывали различные квазиаттракторы в ФПС и расстояния  $Z_{kf}$  – ( $k$  и  $f$  – номера групп обследуемых) Между хаотическими или стохастическими центрами этих квазиаттракторов формируется матрица  $Z$ . Эта матрица задает все возможные расстояния между хаотическими или стохастическими центрами квазиаттракторов, описывающих состояние разных групп обследуемых до и после рабочей смены и различных по степени интенсивности труда.

Полученные расстояния между центрами  $k$ -го и  $f$ -го хаотического (или стохастического) квазиаттракторов количественно представляют степень близости (или, наоборот, удаленности) этих 2-х сравниваемых

квазиаттракторов в фазовом пространстве состояний, что является интегративной мерой оценки состояния *кардио-респираторной системы* (КРС) человека, находящегося в различных производственных условиях, или с учетом других различий [3-6].

**Результаты и их обсуждение.** Таблица 1 представляет набор межаттракторных расстояний для двух кластеров испытуемых (работников с низкой интенсивностью труда до и после смены). Параметр  $Z_{ij}$  – расстояния между ( $i$ -ми,  $j$ -ми) хаотическими центрами квазиаттракторов двух изучаемых групп (компартов) испытуемых.

Таблица 1

**Матрицы идентификации расстояний ( $Z_{ij}$ , у.е.) между хаотическими центрами квазиаттракторов вектора состояния организма работающих с низкой интенсивностью труда в ночную и суточную смены до и после смены в 15-мерном фазовом пространстве**

| Работники после смены     | Работники до смены      |                           | Сумма    | Ср.знач. |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------|----------|----------|
|                           | Ночная смена (1 группа) | Суточная смена (2 группа) |          |          |
| Ночная смена (1 группа)   | $z_{11}=7402,54$        | $z_{12}=7438,64$          | 14841,18 | 7420,59  |
| Суточная смена (2 группа) | $z_{21}=11713,79$       | $z_{22}=11357,29$         | 23071,08 | 11535,54 |
| Сумма                     | 19116,33                | 18795,93                  |          |          |
| Ср.знач.                  | 9558,17                 | 9397,97                   |          |          |

Минимальное межаттракторное расстояние  $Z_{ij}$  отмечается при сравнении работников 1-й группы до трудовой смены с 1-й группой работников после смены, которое составляет  $z_{11}=7402,54$  у.е. Продолжая сравнение с 2-й группой, отмечаем межаттракторное расстояние  $z_{12}=7438,64$  у.е.

Наибольшее межаттракторное расстояние можно наблюдать при сравнении работников 2-й группы после суточной смены с 1-й группой до ночной смены  $z_{21}=11713,79$  у.е., а также при сравнении с 2-й группой работников до суточной смены –  $z_{22}=11357,29$  у.е. Полученный результат свидетельствует о влиянии производственных факторов на организм следующим образом: происходит рассогласование параметров ФСО, что наблюдается при сравнительном анализе межаттракторных расстояний 2-х групп работников (кластер работников до смены) со 2-й группой работников 2-го кластера (после смены), где наблюдаются наибольшие значения параметров  $Z_{ij}$ . В отличие от аналогичного сравнения 2-х групп кластера работников до смены с 1-й группой 2 кластера работников после смены, где установлены наименьшие значения параметра  $Z_{ij}$ , что свидетельствует о формировании состояния адекватной мобилизации для группы испытуемых, работающих в ночную смену (табл. 1).

Далее представлены результаты идентификации расстояний  $Z_{ij}$  между хаотическими центрами квазиаттракторов вектора состояния организма работников с высокой интенсивностью труда в 15-мерном фазовом пространстве состояний.

Таблица 2 представляет набор межаттракторных расстояний для двух кластеров испытуемых (кластер работников до смены, который содержит 2 КА (работающих в дневную и ночную смены), и кластер работников после смены). Параметр  $Z_{ij}$  – расстояния между ( $i$ -ми,  $j$ -ми) хаотическими центрами квазиаттракторов двух изучаемых компартов испытуемых.

Из таблицы 2 можно заметить, что между положением квазиаттракторов ВСОЧ работающих с высокой интенсивностью труда имеется существенная разница при сравнении двух кластеров данных до и после смены. Наибольший параметр  $Z_{ij}$  отмечается при сравнении компартов до и после дневной смены  $z_{33}=12102,27$  у.е., что свидетельствует о существенном влиянии трудовой нагрузки на параметры ФСО (табл. 2).

При общем (суммарном) значении расстояний  $Z_{ij}$  между хаотическими центрами квазиаттракторов (при сложении всех элементов столбцов) наибольшие отличия были получены для 2-й группы после суточной смены (23071,08 абсолютно и 11535,54 усреднено). В отличие от 4-й группы работников (работающих в ночную смену в условиях) установлены наименьше значения расстояний  $Z_{ij}$  между квазиаттракторами: 6779,06 – абсолютно и 3389,53 – усреднено.

Далее рассмотрим динамику параметра  $Z_{kf}$  – расстояния между ( $k$ -ми,  $f$ -ми) стохастическими центрами двух изучаемых групп (компартов) испытуемых.

Для групп работников с низкой интенсивностью труда коэффициент корреляции Спирмена  $R_{xy} = 0,94$ , что является показателем высокой тесноты связи между матрицами межаттракторных расстояний между стохастическими и хаотическими центрами квазиаттракторов ВСОЧ.

Наибольший средний параметр  $Z_{kf}$  отмечается после суточной смены 3666,29 у.е., а наименьший после ночной смены 1948,87 (табл. 3).

Таблица 2

Результаты идентификации расстояний ( $Z_{ij}$ , у.е.) между хаотическими центрами квазиаттракторов вектора состояния организма работников с высокой интенсивностью труда до и после смены в 15-мерном фазовом пространстве

| Работники после смены    | Работники до смены       |                         | Сумма    | Ср.знач. |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------|----------|
|                          | Дневная смена (3 группа) | Ночная смена (4 группа) |          |          |
| Дневная смена (3 группа) | $z_{33}=12102,27$        | $z_{34}=6630,30$        | 18732,57 | 9366,29  |
| Ночная смена (4 группа)  | $z_{43}=1896,53$         | $z_{44}=4882,53$        | 6779,06  | 3389,53  |
| Сумма                    | 13988,80                 | 11512,83                |          |          |
| Ср.знач.                 | 6999,4                   | 5756,42                 |          |          |

Таблица 3

Матрицы идентификации расстояний ( $Z_{kf}$ , у.е.) между стохастическими центрами для работающих с низкой интенсивностью труда в ночную и суточную смены до и после выполнения дозированной физической нагрузки в 15-мерном фазовом пространстве

| Работники после смены     | Работники до смены      |                           | Сумма   | Ср.знач. |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------|----------|
|                           | Ночная смена (1 группа) | Суточная смена (2 группа) |         |          |
| Ночная смена (1 группа)   | $z_{11}=1918,29$        | $z_{12}=1979,45$          | 3897,74 | 1948,87  |
| Суточная смена (2 группа) | $z_{21}=3885,35$        | $z_{22}=3447,23$          | 7332,58 | 3666,29  |
| Сумма                     | 5803,64                 | 5426,68                   |         |          |
| Ср.знач.                  | 2901,82                 | 2713,34                   |         |          |

Таблица 4

Результаты идентификации расстояний ( $Z_{kf}$ , у.е.) между стохастическими центрами для работников с высокой интенсивностью труда до и после смены в 15-мерном фазовом пространстве

| Работники после смены    | Работники до смены       |                         | Сумма   | Ср.знач. |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------|----------|
|                          | Дневная смена (3 группа) | Ночная смена (4 группа) |         |          |
| Дневная смена (3 группа) | $z_{33}=2804,75$         | $z_{34}=687,35$         | 3492,10 | 1746,05  |
| Ночная смена (4 группа)  | $z_{43}=1225,56$         | $z_{44}=1852,59$        | 3078,15 | 1539,08  |
| Сумма                    | 4030,31                  | 2539,94                 |         |          |
| Ср.знач.                 | 2015,16                  | 1269,97                 |         |          |

Отличающиеся результаты получены для матриц идентификации расстояний ( $Z_{kf}$ , у.е.) между стохастическими центрами для работающих с высокой интенсивностью труда (табл. 4).

Коэффициент корреляции Спирмена  $R_{xy} = 0,73$  между матрицами межаттакторных расстояний между стохастическими и хаотическими центрами квазиаттракторов ВСОЧ, что значительно ниже связи между двумя этими показателями в группах с низкой интенсивностью труда. Наибольший параметр  $Z_{kf}$  также отличается при сравнении компарментов до и после дневной смены  $z_{33}=12102,27$  у.е., но динамика матриц межаттакторных расстояний между стохастическими центрами квазиаттракторов вектора ВСОЧ по усредненным значениям до и после трудовой смены резко отличается: рост усредненных межаттакторных расстояний  $Z_{kf}$  между стохастическими центрами квазиаттракторов вектора состояния работников после смены

наблюдается в 4-й группе, а снижение в 3-й группе (что является диаметральной противоположностью по сравнению с хаотическими матрицами).

**Выводы.** Наибольшие межаттракторные расстояния в группах работающих с низкой интенсивностью труда наблюдаются у работников после суточной смены, что позволяет идентифицировать данные условия труда как наиболее неблагоприятные.

В группах, работающих с высокой интенсивностью труда, более выраженные изменения параметров КРС наблюдается у работников в дневную смену, что может быть связано с тем, что до начала смены в утренние часы напряжение ФСО работников меньше после сна.

Прослеживается динамика в сторону уменьшения расстояний между хаотическими центрами квазиаттракторов вектора состояния организма работников по усредненным значениям в утренние часы и увеличения в вечерние.

### Литература

1. Агаджанян, Н.А. Стресс, физиологические аспекты адаптации, пути коррекции / Н.А. Агаджанян, С.В. Нотова.– Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009.– С. 18–57.
2. Еськов, В.М. Системный анализ и синтез изменений физиологических параметров студентов Югры в условиях выполнения физической нагрузки / В.В. Козлова, К.А. Баев, А.Р. Балтиков, О.В. Климов // Вестник новых медицинских технологий.– 2008.– Т. XV.– № 4.– С. 203–206.
3. Еськов, В.М. Матрицы межаттракторных расстояний в оценке эффективности лечения больных с микст-патологией, постоянно проживающих в условиях севера./ В.М. Еськов, В.Ф. Ушаков, О.В.Ефимова, О.Н. Конрат // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2013.– Т. 12.– №2.– С. 373–378.
4. Газя, Г.В. Анализ и синтез параметров вектора состояния вегетативной нервной системы работников нефтегазовой отрасли / Г.В. Газя, А.А. Соколова, В.Н. Ярмухаметова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2012.– Т.11.– №4.– С. 886–892.
5. Eskov, V.M. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort / V.M. Eskov, V.V. Eskov, A.S. Braginskii, A.S. Pashnin // Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements).– 2011. – V. 54 (7).– P. 832–837.
6. Eskov, V.M. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase space of states medical and biological measurements / V.M. Eskov, V.V. Eskov, O.E. Filatova // Measurement Techniques.– 2011.– Vol. 53.– No. 12.– P. 1404–1410.