

УДК 681.5:519.87:004.891.3

**Е.С. Нестругина, Н.И. Чичикало**

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк  
кафедра радиотехники и защиты информации  
E-mail: [tec4@mail.ru](mailto:tec4@mail.ru), [Chichikalo@rambler.ru](mailto:Chichikalo@rambler.ru)

## РАЗРАБОТКА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СУТОЧНОГО РИТМА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЧЕЛОВЕКА

### *Аннотация*

*Нестругина Е.С., Чичикало Н.И. Разработка индивидуальной модели суточного ритма физиологических процессов человека. Рассмотрены закономерности изменения физиологических процессов в организме человека в зависимости от времени суток. Доказана важность знания ритмичности своих физиологических процессов для сохранения здоровья. Установлен математический закон, которому подчиняется изменение температуры.*

**Ключевые слова:** *суточные ритмы, математическая модель, температура тела человека, математическое ожидание, нормальный закон распределения.*

### **Постановка проблемы в общем виде.**

Жизнь на нашей планете связана с вращением Земли вокруг своей оси, определяющим суточный ритм, и с вращением вокруг Солнца, от чего на Земле зависит смена времен года. Вращением Земли вокруг своей оси обусловлено ритмичное изменение температуры, относительной влажности воздуха, освещенности, барометрического давления, электрического потенциала атмосферы, космической радиации и гравитации. Перечисленные факторы внешней среды оказывают влияние на жизненные процессы живых организмов. Повторяемость процессов является одним из признаков жизни. Большое значение имеет способность живых организмов чувствовать время, благодаря чему устанавливаются суточные, сезонные, годовые, лунные и приливно-отливные ритмы физиологических процессов. Особое значение имеет чередование света и темноты [1].

Еще в четвертом веке до нашей эры, в самом раннем периоде развития естествознания, гениальный мыслитель древности Аристотель писал о ритмическом течении процессов в природе и человеческой жизнедеятельности. Суточные ритмы проявляются в виде чередования периодов бодрствования и активности с периодами сна и покоя. Ритмы физиологических процессов в организме имеют волнообразный характер [2].

Управление внутренними ритмами человека важно для нормализации ночного сна, для устранения ряда заболеваний нервной системы, имеющих функциональный характер. Доказано, что суточное изменение внутренних ритмов, свойственных здоровому человеку, при болезненных состояниях искажается. По характеру искажений врачи могут судить о ряде заболеваний на начальной стадии. Очевидно, большинство болезней у человека происходит вследствие нарушения ритма функционирования ряда органов и систем его организма. Знание динамики изменения физиологических функций организма в определенный момент помогает применять более целесообразный и эффективный метод лечения, научно обосновать применение лекарственных препаратов. Таким образом, изучение биоритмов организма человека является сейчас очень актуальным [3].

### **Анализ известных решений.**

В организме человека, в зависимости от времени суток, изменяется интенсивность различных физиологических функций. Особое значение имеют суточные ритмы. Переход от дня к ночи сопровождается рядом физических изменений: понижается температура воздуха,

увеличивается его влажность, меняется атмосферное давление, интенсивность космического излучения. Эти природные явления способствовали выработке соответствующих изменений в физиологических функциях человека. У большей части функций организма человека повышается уровень деятельности в дневные часы и понижается ночью. [2]. Однако далеко не у всех людей суточные биоритмы проходят в одинаковых временных параметрах. Люди утреннего типа отличаются высоким жизненным тонусом в первой половине дня, рано просыпаются, быстро включаются в работу и быстро снижают физиологические показатели вечером. Температура тела у них выше в первой половине дня (рис. 1).

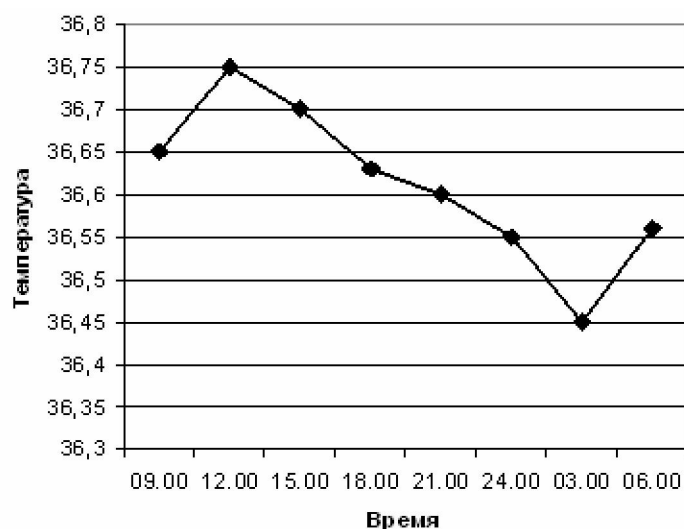


Рисунок 1 – Зависимость изменения температуры от времени суток у людей утреннего типа

У людей вечернего типа протекание психических процессов к вечеру улучшается. У них появляется желание трудиться вечером, а утром им хочется подольше поспать. Температура тела у них выше во второй половине дня (рис. 2).

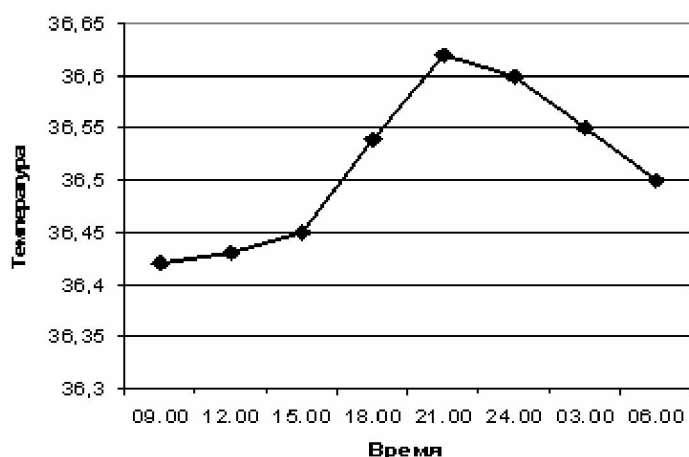


Рисунок 2 – Зависимость изменения температуры от времени суток у людей вечернего типа

Есть люди, не имеющие четкого ритма. Их относят к аритмическому типу. Зависимость изменения температуры от времени суток у людей аритмического типа приведена на рис. 3. Кроме того, в случае необходимости, с помощью волевых усилий возможно постепенно несколько перестроить свои суточные биоритмы.

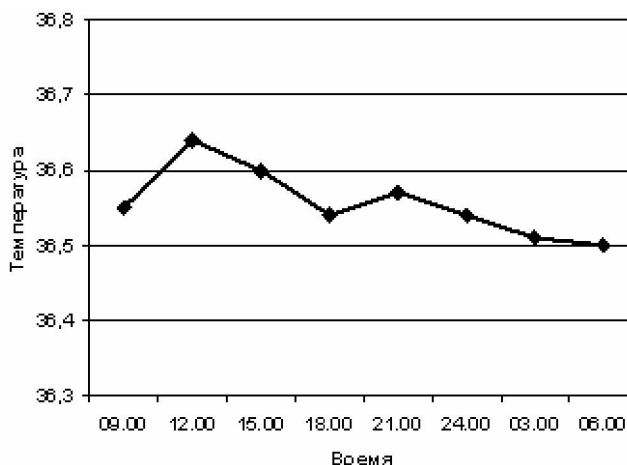


Рисунок 3 – Зависимость изменения температуры от времени суток у людей аритмичного типа

Ритмичность своих физиологических процессов полезно изучить, чтобы можно было бы вовремя принять меры против надвигающейся болезни, а также разумно ограничить нагрузки после выздоровления, чтобы быстрее и надежнее полностью восстановиться [3].

**Цель данной работы.** Разработка индивидуальной модели изменения параметров жизнедеятельности человека в зависимости от времени суток.

**Постановка задачи.** Установление математического закона, которому подчиняется изменение температуры тела человека в зависимости от времени суток.

**Изложение основного материала.** Для разработки индивидуальной модели изменения параметров жизнедеятельности человека в зависимости от времени суток проводились измерения температуры тела и артериального давления через каждые 1-2 часа в течение трех-пяти суток подряд на протяжении полугода. Исследования проводились в различных возрастных группах. В результате проведенных исследований было установлено, что физиологические параметры человека постоянно изменяются на фоне активной деятельности и покоя, бодрствования и сна. Интенсивность изменения различна в разное время суток. В одно время она максимальна, в другое - имеет минимальное значение. Изменение температуры тела человека и артериального давления происходит циклически и имеет волнообразный характер. На рис. 4 показана зависимость изменения верхнего и нижнего артериального давления от времени суток.

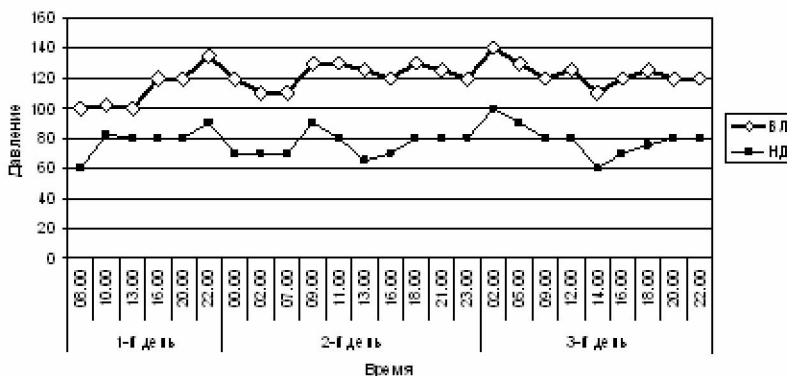


Рисунок 4 – Зависимость изменения артериального давления от времени суток

Как следует из результатов измерений, ритмичность физиологических процессов, их взаимодействие проявляется в организме человека в том, что их максимумы и минимумы для каждого человека приурочены к определенным часам суток. Зависимость изменения температуры от времени суток у одного испытуемого в течение пяти дней приведена на рис. 5.

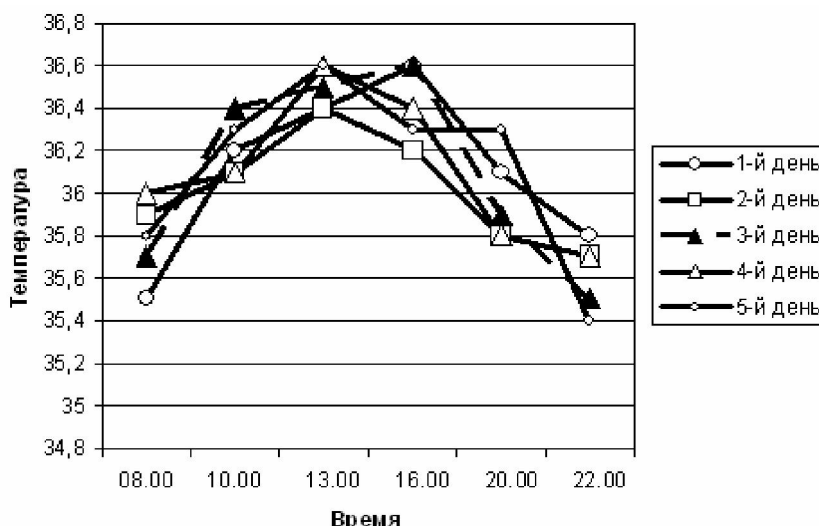


Рисунок 5 – Зависимость изменения температуры тела человека от времени суток

По результатам измерений температуры тела человека (рис.5) в определенное время на протяжении пяти дней, с помощью преобразования Фурье построена математическая модель и установлен способ оценки отклонений от «нормы». На основании полученных измерений рассчитано среднее значение температуры и записано в таблицу 1.

Таблица 1 – Измерение температуры тела человека

Время	1-й день	2-й день	3-й день	4-й день	5-й день	ср. значение
08.00	35,5	35,9	35,7	36	35,8	35,78
10.00	36,2	36,1	36,4	36,1	36,3	36,22
13.00	36,4	36,4	36,5	36,6	36,6	36,5
16.00	36,6	36,2	36,6	36,4	36,3	36,42
20.00	36,1	35,8	35,9	35,8	36,3	35,98
22.00	35,8	35,7	35,5	35,7	35,4	35,62

Для проведения расчетов использован пакет MathCad 11, для чего представлены одномерные массивы температуры тела человека:

$$\begin{array}{l}
 \text{time} := \begin{pmatrix} 8 \\ 10 \\ 13 \\ 16 \\ 20 \\ 22 \end{pmatrix} - 8 \\
 \text{day1} := \begin{pmatrix} 35.5 \\ 36.2 \\ 36.4 \\ 36.6 \\ 36.1 \\ 35.8 \end{pmatrix} \\
 \text{day2} := \begin{pmatrix} 35.9 \\ 36.1 \\ 36.4 \\ 36.2 \\ 35.8 \\ 35.7 \end{pmatrix} \\
 \text{day3} := \begin{pmatrix} 35.7 \\ 36.4 \\ 36.5 \\ 36.6 \\ 35.9 \\ 35.5 \end{pmatrix} \\
 \text{day4} := \begin{pmatrix} 36 \\ 36.1 \\ 36.6 \\ 36.4 \\ 35.8 \\ 35.7 \end{pmatrix} \\
 \text{day5} := \begin{pmatrix} 35.8 \\ 36.3 \\ 36.6 \\ 36.3 \\ 36.3 \\ 35.4 \end{pmatrix} \\
 \text{sr\_day} := \begin{pmatrix} 35.78 \\ 36.22 \\ 36.5 \\ 36.42 \\ 35.98 \\ 35.62 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

где:  $t$  – время измерений температуры;  $day1$ –  $day5$  – дни измерений (с первого по пятый);  $sr\_day$  – среднее значение измерений за 5 дней.

При построении графиков произведена кубическая сплайн-интерполяция, что позволило наблюдать плавное изменение температуры. Кубическая сплайн-интерполяция позволяет провести кривую через набор точек таким образом, что первые и вторые производные кривой непрерывны в каждой точке. Эта кривая образуется путем создания ряда кубических полиномов, проходящих через наборы из трёх смежных точек. Кубические полиномы затем состыковываются друг с другом, чтобы образовать одну кривую. Для построения использованы стандартные функции пакета MathCad 11.

Получаем следующие зависимости изменения температуры тела человека от времени суток для каждого из пяти дней, а также среднего значения.

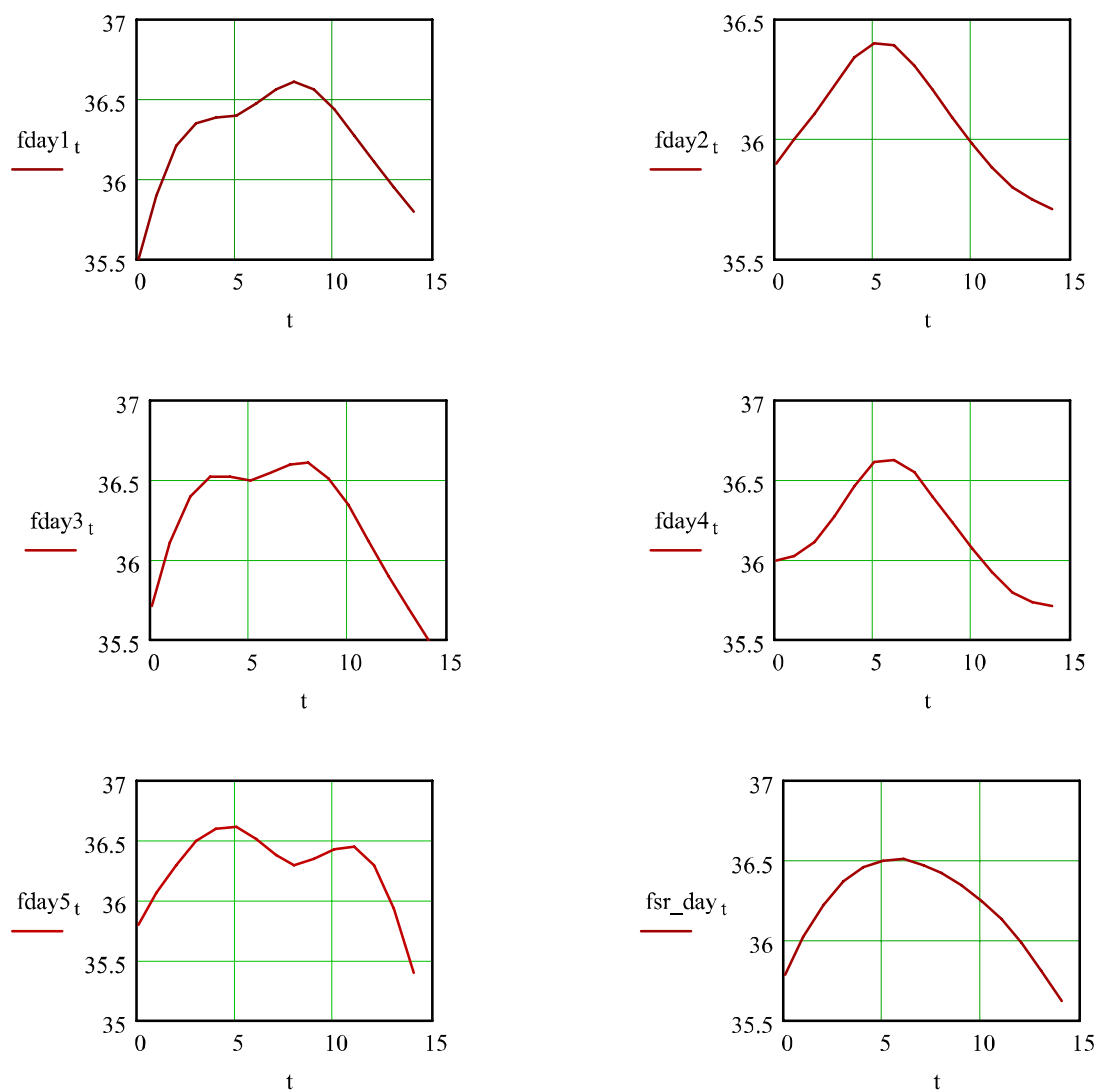


Рисунок 6 – Зависимости изменения температуры с использованием кубической сплайн-интерполяции

Выполняем преобразование ряда Фурье. В соответствии с приведенными характеристиками получаем следующие графические зависимости (рис. 6):

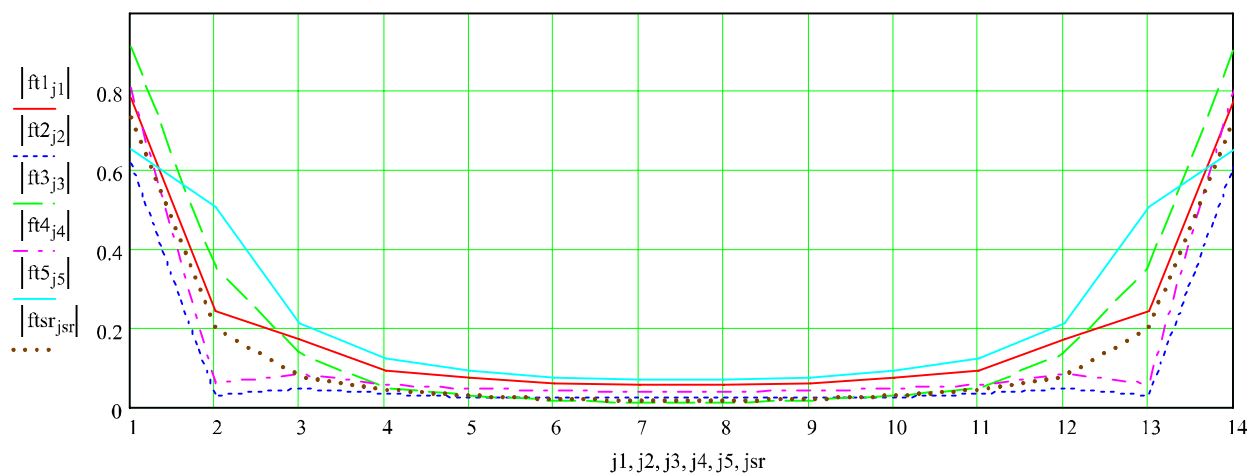


Рисунок 7 – Зависимости изменения температуры с использованием дискретного преобразования Фурье

Определяем отклонения данных по дням от среднего значения:

Первый день:

$$sr\_day - day1 = \begin{pmatrix} 0.28 \\ 0.02 \\ 0.1 \\ -0.18 \\ -0.12 \\ -0.18 \end{pmatrix}$$

Второй день:

$$sr\_day - day2 = \begin{pmatrix} -0.12 \\ 0.12 \\ 0.1 \\ 0.22 \\ 0.18 \\ -0.08 \end{pmatrix}$$

Третий день:

$$sr\_day - day3 = \begin{pmatrix} 0.08 \\ -0.18 \\ 0 \\ -0.18 \\ 0.08 \\ 0.12 \end{pmatrix}$$

Четвертый день:

$$sr\_day - day4 = \begin{pmatrix} -0.22 \\ 0.12 \\ -0.1 \\ 0.02 \\ 0.18 \\ -0.08 \end{pmatrix}$$

Пятый день:

$$sr\_day - day4 = \begin{pmatrix} -0.22 \\ 0.12 \\ -0.1 \\ 0.02 \\ 0.18 \\ -0.08 \end{pmatrix}$$

Находим дисперсию (D) и среднее квадратичное отклонение ( $\sigma$ ) при отклонении от среднего значения для каждого дня:

$n := 5$

$$D = \sum_{i=0}^n \frac{[(sr\_day - day1)_i]^2}{n-1}, \quad \sigma = \sqrt{D_n}. \quad (1)$$

Первый день:	D1 = 0,042;	$\sigma$ 1 = 0,205.
Второй день:	D2 = 0,031;	$\sigma$ 2 = 0,177.
Третий день:	D3 = 0,023;	$\sigma$ 3 = 0,152.
Четвертый день:	D4 = 0,028;	$\sigma$ 4 = 0,167.
Пятый день:	D5 = 0,046;	$\sigma$ 5 = 0,213.

$$D = \frac{D1 + D2 + D3 + D4 + D5}{5} = 0,034$$

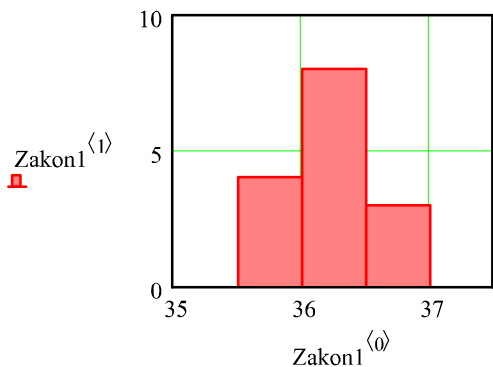
$$\sigma = \frac{\sigma1 + \sigma2 + \sigma3 + \sigma4 + \sigma5}{5} = 0,186$$

Полученные результаты показывают отклонение от математического ожидания, а также среднее квадратичное отклонение (СКО) при отклонении от среднего значения.

**День первый**

```
norm1 := rnorm(x, mean(fday1), stdev(fday1))
```

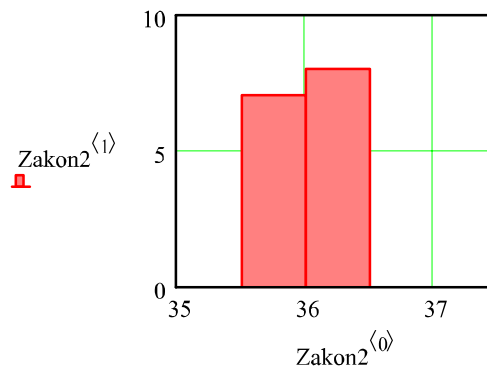
```
Zakon1 := histogram(4, norm1)
```



**День второй**

```
norm2 := rnorm(x, mean(fday2), stdev(fday2))
```

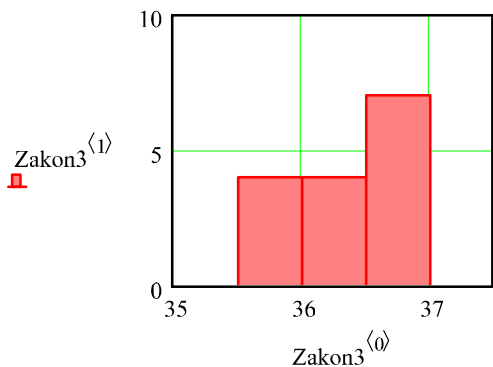
```
Zakon2 := histogram(4, norm2)
```



**День третий**

```
norm3 := rnorm(x, mean(fday3), stdev(fday3))
```

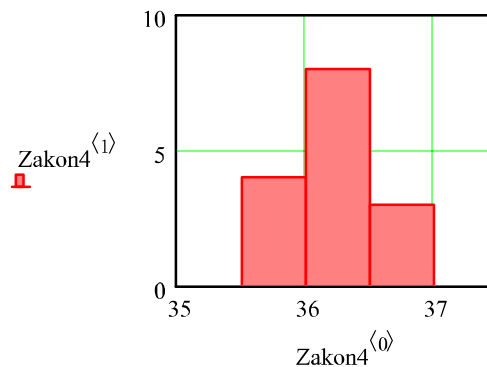
```
Zakon3 := histogram(4, norm3)
```



**День четвертый**

```
norm4 := rnorm(x, mean(fday4), stdev(fday4))
```

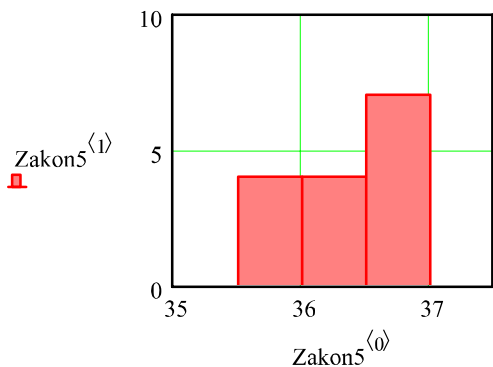
```
Zakon4 := histogram(4, norm4)
```



**День пятый**

```
norm5 := rnorm(x, mean(fday5), stdev(fday5))
```

```
Zakon5 := histogram(4, norm5)
```



**Среднее значение**

```
v := rnorm(x, mean(fsr_day), stdev(fsr_day))
```

```
Zakon := histogram(4, v)
```

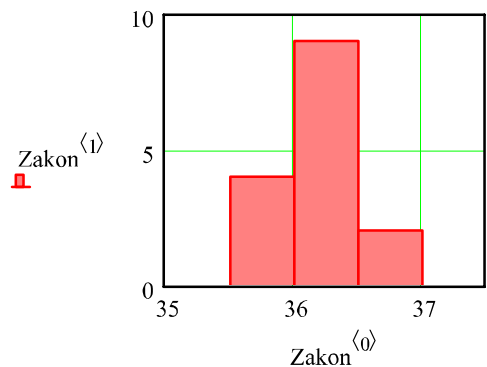


Рисунок 8 – Гистограммы измерений температуры с использованием нормального закона распределения

Находим закон, описывающий полученные зависимости для каждого из измерений. Нормальным называется распределение вероятностей непрерывной случайной величины, которое описывается плотностью вероятности (2). Параметры  $\mu$  и  $\sigma$ , входящие в плотность распределения, являются соответственно математическим ожиданием и средним квадратичным отклонением случайной величины  $x$ .

$$f(x) := \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}. \quad (2)$$

Полученные результаты также можно представить в виде гистограмм. Получаем функции и их графические отображения, показанные на рис.8.

Сравнив результаты, полученные при построении гистограмм, можно утверждать, что изменение температуры в течение дня подчиняется нормальному закону распределения.

#### **Выводы.**

Ритмичность физиологических процессов отражает единство организма и среды. Характер проявления физиологических реакций организма в разное время суток различен. Их максимумы и минимумы приходятся на определенные часы суток. Суточные изменения внутренних ритмов, свойственные здоровому человеку, при болезненных состояниях искажаются. Изучение ритмичности физиологических процессов организма человека позволяет судить о ряде заболеваний на начальной стадии и научно обосновать применение лекарственных препаратов при лечении больных. Произведенные исследования изменения температуры тела человека в течение суток позволили установить математический закон, которому подчиняется изменение температуры: нормальный закон распределения.

#### **Литература**

1. Доскин В.А. Ритмы жизни / В.А. Доскин, Н.А. Лаврентьева. – М.: Медицина, 1991.– 176 с.
2. Климова В.И. Человек и его здоровье / В.И. Климова. – М.: Знание, 1990. – 224 с.
3. Шапошникова В.И. Биоритмы — часы здоровья / В.И. Шапошникова. – М.: Советский спорт, 1991. – 68 с.

Надійшла до редакції:  
20.02.2011

Рекомендовано до друку:  
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

#### **Abstract**

*Nestrugina E.S., Chichikalo N.I. Working The development of individual model of a person's physiological processes daily rhythm. The patterns of physiological processes changes in a human body at different times of the day are described. Knowledge of the importance of the rhythmicity of your physiological processes for health preservation is proved. The mathematical law which describes the temperature changes is established.*

**Keywords:** *daily rhythms, mathematical model, human body temperature, mathematical expectation, the normal distribution law.*

#### **Анотація**

*Нестругіна Е.С., Чичикало Н.І. Розробка індивідуальної моделі добового ритму фізіологічних процесів людини. Розглянуті закономірності зміни фізіологічних процесів в організмі людини залежно від часу доби. Доведена важливість знання ритмічності своїх фізіологічних процесів для збереження здоров'я. Встановлений математичний закон, якому підкоряється зміна температури.*

**Ключові слова:** *добові ритми, математична модель, температура тіла людини, математичне чекання, нормальний закон розподілу.*

© Нестругіна Е.С., Чичикало Н.І., 2011