

УДК 615.47

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ МАШИННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ УХУДШЕНИИ СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА

Варнавский А.Н.

Рязанский государственный радиотехнический университет

Тел. +7(4912) 46-03-66 E-mail: mel@rgta.ryazan.ru

Аннотация. Описывается способ анализа состояния оператора на основе интегральных нелинейных преобразований амплитудно-временных параметров электрокардиосигнала, а также изменение параметров работы машинной системы при ухудшении состояния оператора. Представлены результаты моделирования такой системы в программе VisSim.

Ключевые слова: психоэмоциональная напряженность, кардицикл, контроль, автоматизация, моделирование

Постановка задачи

На производстве, транспорте и т.п. при работе людей с различными техническими системами (машины, станки и т.п.) последние представляют собой объекты повышенной опасности, эксплуатация которых неизбежно сопровождается рисками, которые могут представлять угрозу жизни и здоровью, как оператора, так и людей находящихся вблизи таких механизмов. Кроме того, неправильная эксплуатация таких систем может повредить или увеличить износ самих механизмов, т.е. нанести материальный ущерб. Очевидно, что от состояния оператора (в том числе и психологического) может зависеть «правильность» работы таких механизмов и процессов.

Состояние оператора может быть охарактеризовано с помощью психоэмоциональной напряженности. Психоэмоциональная напряженность – состояние, формирующееся в результате чрезмерного возрастания психоэмоционального напряжения и характеризующееся временным понижением устойчивости психических и психомоторных функций, выраженными соматовегетативными реакциями и снижением профессиональной работоспособности. Стресс – один из механизмов адаптации в организме человека в ответ на стрессорное воздействие любой природы, в том числе и психологической.

Для измерения уровня психоэмоциональной напряженности оператора применяют исследование показателей работы вегетативной нервной системы. Система кровообращения отличается высокой реактивностью и играет первостепенную роль в адаптационных перестройках функционального состояния организма. При быстром течении стрессовых реакций сердечная деятельность во многих случаях является наиболее информативным показателем изменений состояния организма. В настоящее время определение вариабельности сердечного ритма признано наиболее информативным методом количественной оценки вегетативной регуляции сердечного ритма и функционального состояния организма.

На сегодняшний день отдельные категории операторов тестируют перед началом работы с помощью методики Баевского, определяя состояние сердечно-сосудистой системы и степень готовности оператора к работе. Данная методика основана на анализе совокупности параметров вариабельности сердечного ритма, определяемых на основе значений R-R-интервалов электрокардиосигнала (ЭКС). Эти значения вычисляются путем измерения расстояния между двумя соседними QRS-комплексами (длительностей кардиоциклов). На этом наблюдение за состоянием оператора, как правило, заканчивается.

Использование в машинной системе блока контроля ритма оператора, который динамически отслеживал бы состояние оператора и при его ухудшении (возникновения различных приступов, изменения психологического состояния и т.п.) менял бы параметры ее работы, позволит повысить безопасность такой системы. В этом случае обобщенная схема

повышения безопасности работы машинной системы, управляемой оператором, будет выглядеть следующим образом (рисунок 1). Здесь работа исполнительного механизма управляется блоком формирования параметров работы машинной системы, выходной сигнал которого зависит от выходного сигнала блока контроля сердечного ритма оператора.

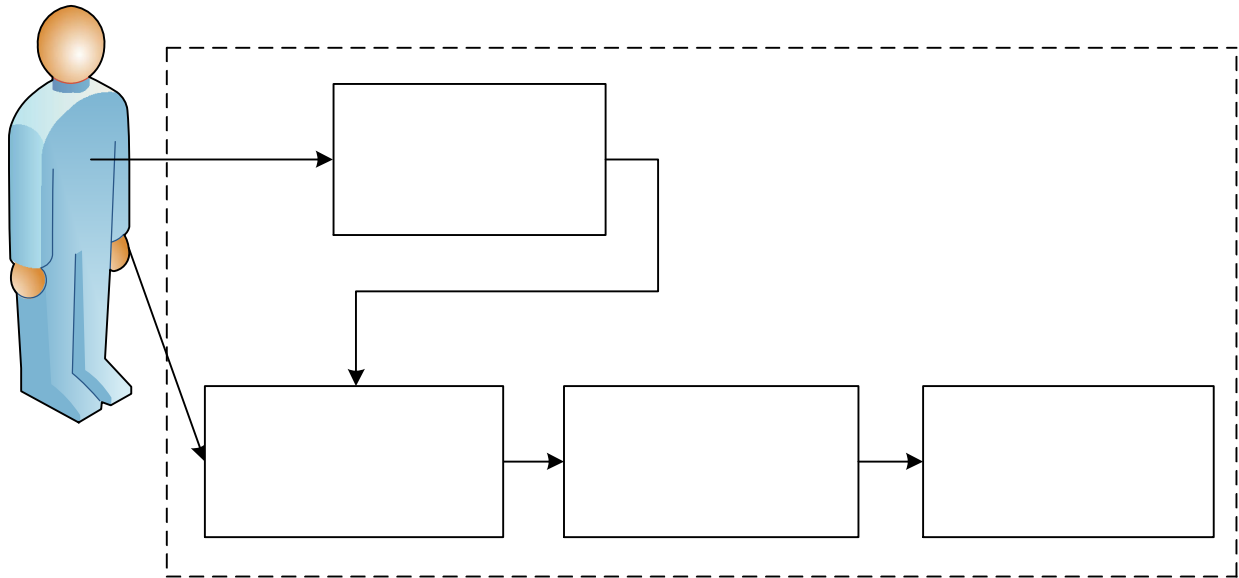


Рисунок 1 –Схема повышения безопасности работы машинной системы, управляемой оператором

Использование в блоке контроля сердечного ритма оператора типовых методов определения вариабельности сердечного ритма на основе анализа массива R-R-интервалов имеет ряд недостатков. В частности, уменьшается достоверность выделения QRS-комплекса при формах последнего, отличающихся от стандартной и при высоких значениях частоты сердечных сокращений (ЧСС), следствием чего является невозможность измерения некоторых параметров и показателей в режиме реального времени.

Для реализации методов анализа сердечного ритма в режиме реального времени на основе обработки ЭКС и повышения достоверности такого анализа в блоке контроля сердечного ритма оператора предлагается использовать нелинейные функции $\alpha(x)$, $\beta(x)$, применяемые к амплитудно-временным параметрам отсчетов и определенные на временном участке электрокардиосигнала длительностью N отсчетов. Результат преобразования ЭКС на каждом шаге k будет определяться по формуле:

$$y_k = \sum_{n=0}^N (\alpha(|x_{k-n}|) \cdot \beta(t_{k-n}^*)),$$

где x_k - амплитуда k -го отсчета, t_k^* - время k -го отсчета относительно начала соответствующего зубца.

Принцип выбора функций и числа N – формирование результата преобразования ЭКС в виде уровня значения преобразования $y_{КЦ}$ одного кардиоцикла, относительно которого при отличии длительности кардиоцикла от ширины окна анализа наблюдается образование пиков. Полученный таким образом сигнал может быть проанализирован путем сравнения с пороговыми уровнями $\Delta_{1,2} = (1 \pm 0,5)y_{КЦ}$, позволяющими определить ширину пиков с целью дальнейшего вычисления параметров вариабельности сердечного ритма и обнаружения различных аритмий [1].

Эмпирическим путем определено, что для анализа вариабельности R-R-интервалов пригодны следующие функции:

$$\alpha(x) = \frac{1}{(1 + e^{-6(x-0,8)})}, \quad \beta(x) = \frac{1}{(1 + e^{-400(x-0,01)})(1 + e^{200(x-0,11)})}.$$

Число N должно соответствовать средней длительности кардиоцикла. Анализ зависимостей длительностей R-R- и QT-интервалов от частоты сердечных сокращений (ЧСС) показал, что при периоде дискретизации $\Delta t=2\text{мс}$ оптимально использование $N=250$. Это позволит определять параметры variability сердечного ритма при разбросе ЧСС от 40 до 240 уд/мин.

уКЦ можно определить как

$$y_{\text{КЦ}} = \lim_{J \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^J y_j}{J} N,$$

где J – число отсчетов ЭКС за время формирования пороговых уровней, а $y_j = \alpha(|x_j|) \cdot \beta(t_j^*)$. На рисунке 2,б представлен результат преобразования некоторого реального ЭКС (рисунок 2, а) при анализе variability интервалов R-R.

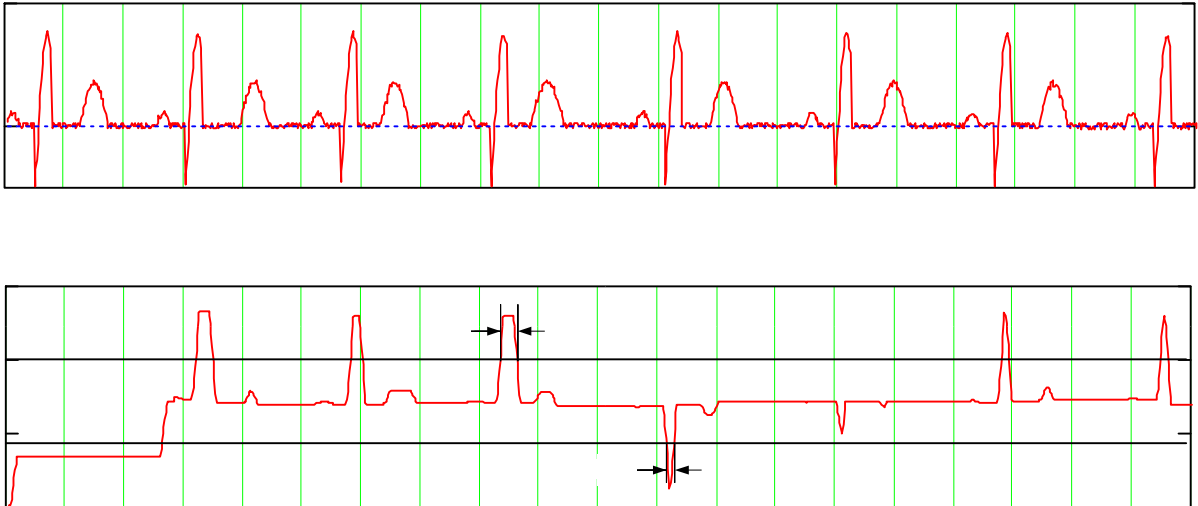


Рисунок 2 - Пример сигнала преобразования ЭКС при анализе variability интервалов R-R

ЧСС может быть определено при анализе результата преобразования по следующей формуле:

$$\text{ЧСС} = \frac{60}{\left(N + \frac{N^- - N^+}{q} \right) \Delta t},$$

где q - число всех кардиоциклов, N^- - общая длительность участков ΔN , N^+ - общая длительность участков ΔN^+ [2].

При анализе интервалов R-R пики на результате преобразования должны характеризовать variability длительностей R-R-интервалов, а при анализе интервалов P-P – variability длительностей P-P-интервалов. Поэтому совокупности $\{\alpha(x), \beta(x), N\}$ для анализа интервалов P-P и R-R должны различаться.

Различные нарушения сердечного ритма могут характеризоваться как отдельной variability интервалов R-R и P-P, так и совокупностью этих variability. К приступам, характеризующимися variability интервалов R-R, относится пароксизмальная тахикардия. К приступам, характеризующимися variability интервалов P-P, относится трепетание предсердий. Мерцание предсердий характеризуется variability обоих видов интервалов. Задав необходимые функции $\alpha(x)$, $\beta(x)$ и значение N и сформировав пороговые уровни $\Delta_{1,2}$, можно путем определения ширины образующихся пиков сделать вывод о наличии variability длительностей интервалов. В случае появления приступов перечислен-

ных аритмий значение результата преобразования возрастет до $3u_{кц}$. Для оперативного обнаружения возникновения таких приступов необходимо сформировать дополнительный пороговый уровень Δ_3 для результата преобразования, превышение которого и свидетельствует о появлении приступа аритмии. Величина порогового уровня может быть задана равной $\Delta_3=2,5u_{кц}$.

Для здоровых людей в нормальном спокойном состоянии диапазон ЧСС находится в диапазоне от 60 до 90 уд/мин. Повышение ЧСС выше значения 90 уд/мин говорит о наличии тахикардии и повышенном возбуждении оператора, причем, чем выше ЧСС, тем больше степень возбуждения. При ЧСС более 130 уд/мин можно говорить о приступе пароксизмальной тахикардии или чрезмерном перенапряжении оператора. Поэтому можно предложить введение коэффициента k_L , являющегося выходным сигналом блока контроля ритма оператора, значение которого зависит от частоты сердечных сокращений оператора. Такой коэффициент может иметь значение равное 1 при ЧСС до 90 уд/мин и линейно уменьшаться до 0 при ЧСС более 130 уд/мин (рисунок 3).

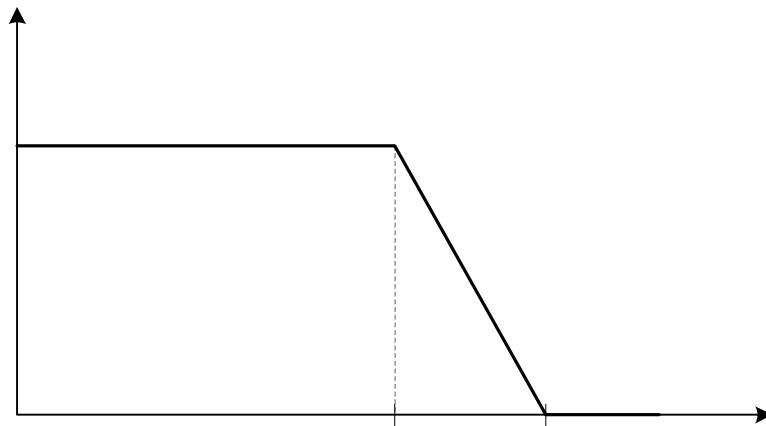


Рисунок 3 – Вид коэффициента влияния значения ЧСС оператора на параметры работы машинной системы

В системе визуального моделирования VisSim смоделирована схема повышения безопасности работы машинной системы, управляемой оператором (рисунок 4). Здесь в качестве исполнительного механизма выбрана модель асинхронного двигателя, блоком управления исполнительного механизма является частотный преобразователь [3]. Выходной сигнал блока формирования параметров работы машинной системы зависит от ЧСС оператора через коэффициент k_L . В качестве изменяемого параметра машинной системы выбрана скорость вращения асинхронного двигателя.

Электрокардиосигнал, характеризующий состояние оператора, считывается из файла «EKS.dat». Этот сигнал содержит два участка: первый участок соответствует спокойной работе оператора и ЧСС равной 75 уд/мин, второй – повышенной возбужденности оператора и ЧСС равной 100 уд/мин. В блоке определения ЧСС интегральные нелинейные преобразования формируются функциями $\alpha(x) = \frac{1}{(1 + e^{-6(x-0,8)})}$, $\beta(x) = \frac{1}{(1 + e^{-400(x-0,01)})(1 + e^{200(x-0,11)})}$, и

$N=250$, позволяющими вычислить величину ЧСС путем сравнения результата преобразования с пороговыми уровнями $\Delta_1=2.1$ и $\Delta_1=0.7$.

При повышении ЧСС до 100 уд/мин выходной сигнал блока формирования k_L уменьшается до 0.75. Это приводит к уменьшению скорости вращения асинхронного двигателя.

Блоки Plot отображают сигналы во всех основных точках смоделированной схемы.

Таким образом, введение в машинную систему блока контроля сердечного ритма оператора наряду с использованием нелинейных интегральных преобразований позволяет повысить безопасность такой системы в случае ухудшения состояния оператора.

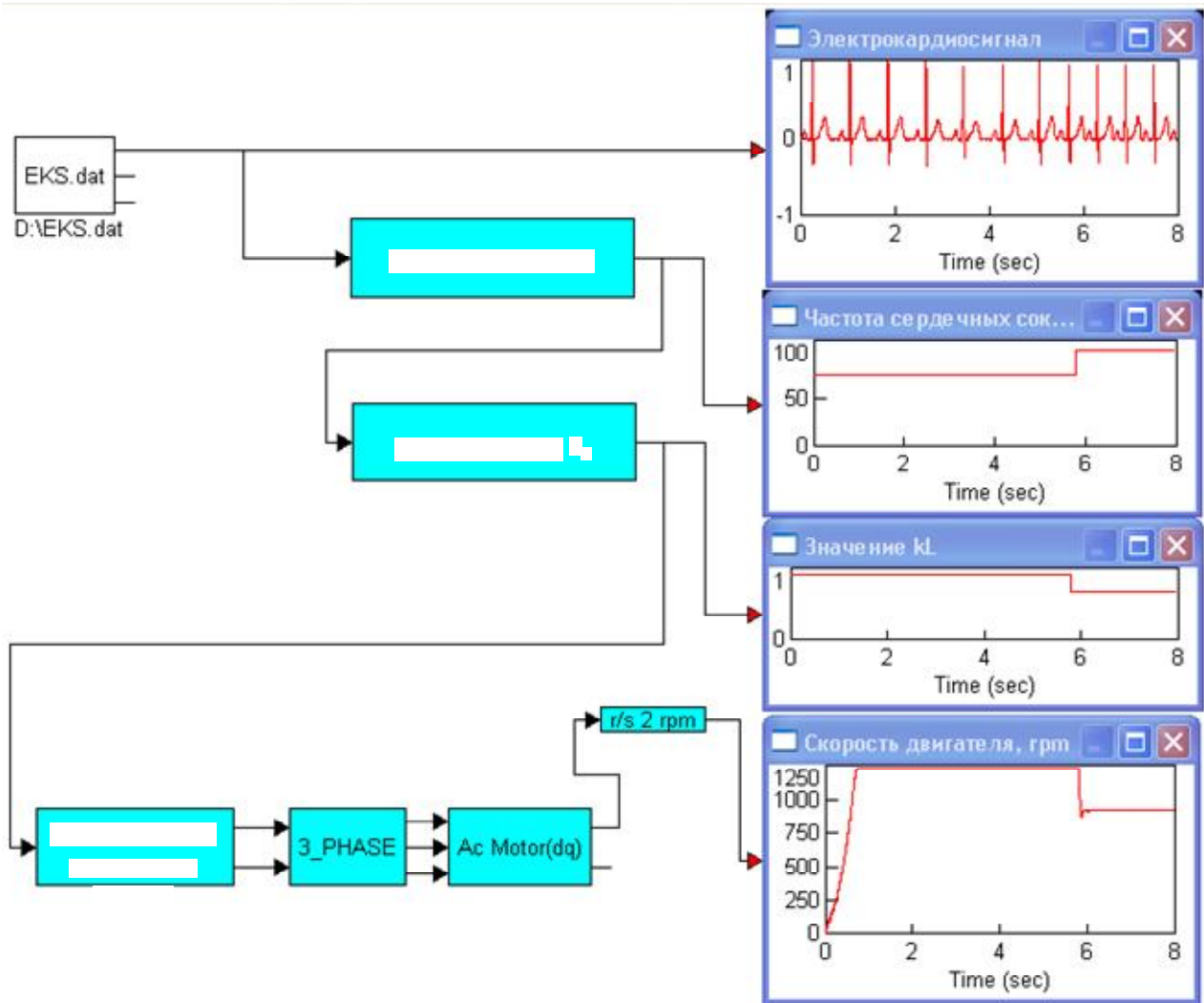


Рисунок 4 – Визуальное моделирование схемы повышения безопасности работы машинной системы, управляемой оператором, в программе VisSim

Литература

1. Варнавский А.Н. Применение нелинейных преобразований электрокардиосигнала для выявления нарушений ритма сердца в режиме реального времени //Материалы всероссийской конференции «Биомедсистемы – 2008». Рязань. 2008. С. 1–6.
2. Варнавский А.Н., Мельник О.В, Михеев А.А. Определение среднего значения длительности RR-интервала в режиме реального времени //Вестник РГРТА. 2007. №20. С. 61–64.
3. Дьяконов В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. М.: Солон-Пресс. 2004. 384 с.