

Лобачев М.В.

Одесский национальный политехнический университет

Мещеряков Д.В.

АО «PETROSOFT»

НЕЧЕТКИЙ КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Рассмотрено преобразование признакового пространства данных биологического объекта, находящегося в канале обратной связи управляющей системы. Предложено разделение признакового пространства на главное и вспомогательное, содержащее информацию о динамике перестройки систем организма. Рассмотрено формирование тренда развития процесса по центрам главного кластера, что обеспечило возможность выделения первичных признаков для принятия решения по управлению направлением изменения воздействия на биологический объект.

Ключевые слова: *инфракрасная система, биологическая обратная связь, значимые признаки, нечеткая кластеризация, тренд.*

Постановка проблемы. Выбор методов преобразования данных в информационной системе в значительной степени определяется сложностью описания составляющих ее компонентов. Для технических управляющих систем принят кибернетический подход описания во временной или частотной области, что связано и с тщательной проработкой данного вопроса в теории автоматического управления [1]. Введение человека в состав автоматизированной управляющей системы существенно меняет характер преобразования данных внутри системы. Для человеко-машинной системы управления важнейшее значение приобретают системы поддержки принятия решений и интерфейсы, призванные согласовать ввод и вывод информации человека и компьютера. Для системы с биологической обратной связью ситуация еще более усугубляется, поскольку выходные сигналы от человека имеют низкие уровни и подвержены воздействию сопутствующих сигналов и шумов. Кроме того, технические системы описываются кибернетическими подходами, основным отличительным свойством которых является повторяемость реакции объекта на стандартные входные воздействия [2]. Это позволяет заменять реальные объекты их формальными моделями, что существенно упрощает проектирование технических систем и анализ функционирования в динамике в различных энергетических режимах. Кибернетический подход применим для описания биологического объекта лишь при условии возможности использования понятий усредненных объектов, напри-

мер, таких как птенцы при инфракрасном обеспечении тепловых искусственных комфортных условий выращивания, когда птицу заменяют математической или физической моделью, а управление интенсивностью облучения осуществляют по реакции обобщенной модели на интенсивность потока [3]. Для описания биологических объектов более адекватным является физиологический подход Анохина, который рассматривает сложную систему в виде взаимосвязанных и взаимообусловленных систем организма, признаковое пространство которых обладает свойствами неопределенности и неоднозначности. Физиологическая система адаптируется к условиям внешней среды перераспределением функций организма как реакции на внешнее воздействие. Неоднозначность реакции биологического объекта является проблемой при создании систем с биологической обратной связью, поскольку описание объектов при кибернетическом и физиологическом подходе существенно разнятся. Применительно к медицинским приложениям кибернетический подход приемлем для больших групп людей, например, для камеры инфракрасной пелоидотерапии при групповом проведении процедур, когда интенсивность инфракрасного облучения эмпирически и по медицинским показателям устанавливается для каждой группы пациентов, отличающихся возрастом, полом, характером заболеваний и т.п. [4]. При переходе к лечению опорно-двигательного аппарата конкретного пациента с его индивидуальными признаками кибернетическая модель системы может

быть принята лишь как обобщенная или базовая, определяющая ограничения и подготовку камеры пелоидотерапии к началу процедуры. Корректировка интенсивности инфракрасного облучения должны определяться конкретной реакцией организма индивидуума на внешнее воздействие.

Анализ последних достижений и публикаций. Взаимодействие человека с техническими системами является важной научно-технической проблемой, поскольку принципы работы технических и физиологических систем существенно разнятся, а необходимость их совместной работы очевидна [5]. Актуальность проблемы подчеркивается широким спектром приложений человеко-машинных систем в области принятия управленческих решений [6], распознавании образов, классификации медицинских и малоконтрастных изображений [7], в интерактивном обучении, что предполагает тесную связь психологии человека с технической обработкой данных [8] и другими областями, где человеческий мозг функционально эффективнее компьютерных систем. Технические системы имеют более высокое быстродействие, способны работать в более сложных условиях эксплуатации, совершают меньше ошибок при выполнении повторяющихся операций, поэтому симбиоз кибернетического и физиологического подходов при построении сложных интеллектуальных систем оправдан. Развитие таких систем захватывает области приложений, в которых человек входит в канал обратной связи управляющей системы, например, обеспечивая управление приводом вооружения по положению головы пилота, что повышает скорость реакции по отслеживанию целей и общую эффективность системы [9].

Выделяют класс задач по созданию технико-биологических систем, в которых управление осуществляется по физиологической реакции организма на внешнее воздействие [10]. Это направление связано с созданием интеллектуальных систем, направленных на подготовку операторов, профессиональных спортсменов, посттравматической и инсультной реабилитации, протезирование конечностей, стимуляцию сердечной мышцы. Для многих методов лечения, например физиотерапевтических, неприемлемы подходы, связанные с вживлением электродов в нервные волокна или мышцы, а также креплением электроэнцефалографической аппаратуры, ограничивающие подвижность пациентов, что приводит к необходимости поиска новых методов съема выходных сигналов у чело-

века [11]. Упрощение средств съема выходных данных усугубляет проблему влияния недостаточности, нечеткости и неоднозначности информации для приема управляющих решений в системах с биологической обратной связью.

Постановка задания. Целью работы является разработка информационной технологии обработки первичных выходных данных человека, находящегося в цепи биологической обратной связи, как реакции на воздействие инфракрасного облучения.

Для достижения этой цели необходимо решить задачи:

1) проанализировать методы преобразования выходных сигналов человека применительно к принятию решения по управлению интенсивностью инфракрасного излучения;

2) разработать схему преобразования сигналов, учитывающую нечеткость исходных данных.

Изложение основного материала.

Наиболее приемлемыми признаками при создании технологии преобразования данных с неинвазивных средствами считывания признаков пространства человека являются: теневая температура воздуха внутри камеры пелоидотерапии, радиационная температура поверхности кожного покрова при воздействии инфракрасного облучения, проводимость кожного покрова, частота сердечных сокращений, частота дыхания. В соответствии с санитарными нормами диапазон теневой диапазон температуры составляет 18–24°C, следовательно, без учета радиационной составляющей комфортным уровнем можно признать 22°C. Радиационная температура в соответствии с медицинскими нормами, диапазоном которой является 20–50°C, является аддитивной температурой воздуха в камере и должна быть регулируемой. Электрическое сопротивление кожного покрова человека составляет от 2 МОм при сухой коже до 1 КОм при обильном потоотделении, активный диапазон находится в пределах 40–2 КОм. Частота сердечных сокращений – 40–120 ударов в минуту. Частота дыхания – 16–24 вдохов в минуту, а эффективность охлаждения при 60°C достигается путем выделения до 2,5 литров жидкости в час [12].

Экспериментальные исследования частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и сопротивления кожного покрова, проведенные в камере инфракрасной пелоидотерапии, показали существенный разброс показаний при неизменной интенсивности облучения, что свидетельствует о необходимости использования

статистических методов обработки данных. Поскольку обработанные данные должны использоваться для управления интенсивностью инфракрасного облучения, время выборки (объем) данных не должно оказывать существенного влияния на запаздывание управляющего воздействия. Если периоды сердечных сокращений и дыхания известны, то частота измерения сопротивления кожного покрова полностью определяется возможностями современной аппаратуры, например контроллерами ARDUINO, время преобразования которых существенно меньше периода сердечных сокращений.

Если рассмотреть наиболее информативный выходной признак для задачи инфракрасной пелодотерапии – сопротивление кожного покрова, связанного с проницаемостью кожи для пелюиды, то его можно представить как оператор $R(K)$, который представлен выборками в моменты времени $t_0, t_1, \dots, t_m \in T_1$, где $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)^2$ – вектор, характеризующий состояние объекта. Для использования симметричных фильтров при измеренных значениях в моменты времени $t_0, t_1, \dots, t_m \in T_1$ необходимо определить значения в моменты времени $t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_{m+l} \in T_2$. Данное допущение корректно при условии, что величина $R(K)$ определяет значения в моменты $t_0, t_1, \dots, t_m \in T_1$, которые действительны и в моменты времени $t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_{m+l} \in T_2$, когда достоверность предсказания высока. На регулярном участке при установившейся интенсивности инфракрасного облучения временной ряд $R(K)$ можно представить в виде аддитивной модели:

$$R(t) = B(t) + V(t) + N(t) + C(t).$$

Здесь $B(t)$ – трендовая составляющая последовательности, $V(t)$ – регулярные вариации вокруг трендовой составляющей, $N(t)$ – стохастическая составляющая, $C(t)$ – индивидуальная составляющая восприимчивости объекта. Регулярные вариации вокруг трендовой составляющей вызваны ритмическими биологическими процессами в организме, и основная их частота совпадает с ритмами сердца и дыхания. Трендовая составляющая может быть получена по результатам групповых методов лечения, а стохастическая относится к типовым задачам обработки сигналов. Анализ регулярных вариаций вокруг трендовой составляющей и особенно составляющей индивидуальной восприимчивости представляют собой нетривиальную задачу.

Обработка выходных признаков биологического объекта оказывает непосредственное влияние на принятие управленческих решений, поскольку объект находится в цепи биологи-

ческой обратной связи. Решения принимаются на основе недостаточной и неполной информации при наличии нескольких альтернатив, что может привести к непредсказуемости действий управляющей системы, в отличие от ситуации с детерминированным набором альтернатив. Принятие решения состоит в последовательном анализе проблемы, определении ограничений и формировании критериев принятия решения, генерации альтернатив. При этом достижение одной и той же цели достигается различными способами, а принятые решения могут быть приемлемыми – близкими по эффективности к оптимальным вариантам.

Снижение неопределенности достигается привлечением дополнительной релевантной информации, что, в свою очередь, усложняет проблему согласования разнородной информации, получаемой как реакция на одни воздействия (сопротивление кожного покрова, частота сердечных сокращений, дыхания). При этом возможно рассогласование главной и локальных целей, например, для принятия решения по достижению требуемой интенсивности инфракрасного облучения становится значимой локальная цель, состоящая в минимизации времени принятия управленческого решения. Получаемые решения направлены на будущее управление, что вносит дополнительную неопределенность в начальную неопределенности, обусловленную нечеткостью первичной информации и ее неполнотой.

Рассмотрим функцию принадлежности $\alpha_A(x)$ нечеткому множеству A элемента x из множества X применительно к задаче принятия решений в следующей интерпретации. Определим функцию принадлежности $\alpha_A(x)$ как степень близости x прототипу A или сходством принадлежности $A = \{x, \mu_A(x)\}$. Тогда A представляет собой множество альтернатив, а $\alpha_A(x)$ степень предпочтения и пригодность выбора x как значения переменной b . В такой трактовке функция принадлежности играет роль отношения упорядочения, связанного с предикатом A соотношением $x \geq_A x'$, которое показывает, что x больше соответствует другому значению x' этого же параметра в сложившейся ситуации A . Продолжив данные рассуждения, можно показать, что неравенство $\mu_Q(x, x') \geq \mu_Q(x, x'')$ описывает ситуацию, в которой данное выражение означает, что x' ближе к x , чем x'' : $x' \geq_x x''$. Альтернативы можно представить как нечеткие множества, заданные на нечисловой шкале, тогда нечеткое множество

записывается в виде $B = \{(b, B(b))\}$, где $(b, B(b))$ – множества нечетких объектов.

Методы нечеткого вывода описываются несколькими подходами [13]:

1. Цукамото – функции принадлежности носят монотонный характер, и вычисления выходной переменной сводятся к усредненным значениям, полученным по различным правилам;

2. Мамдани – агрегация определяется максимумом, а импликация – минимумом;

3. Сугено – правые части в правилах вывода ограничены линейным случаем:

ЕСЛИ $(X \text{ есть } C_1)$ И $(Y \text{ есть } D_1)$, ТО $Z = c_1X + c_2Y$;

ЕСЛИ $(X \text{ есть } C_2)$ И $(Y \text{ есть } D_2)$, ТО $Z = d_1X + d_2Y$.

Упрощенным подходом является правило нечеткого вывода:

ЕСЛИ $(X \text{ есть } C_i)$ И $(Y \text{ есть } D_i)$, ТО $z = Z_i$, где Z_i – четкое решение.

Важным свойством для решаемой задачи принятия управленческих решений является тот факт, что по всем приведенным правилам получается дискретное множество решений, поскольку четко заданы правые части правил. Степень уверенности в решениях заложена в нечеткости исходной информации и функции принадлежности. Если при этом для плохо структурированной проблемы процесс разбить на промежуточные подзадачи, то последовательное решение этих подзадач позволит продвигаться к решению поставленной цели. Такая технология сближает функциональную систему с кибернетической, требует для реализации корректировки подцелей на каждом этапе выполнения и уточнения путей их достижения. При этом переход к каждой последующей подзадаче требует преобразования промежуточной информации, предназначенной для последующего анализа с возможным использованием новых форм ее представления.

Выходные признаки биологического объекта носят вероятностный характер, поэтому эффективный мониторинг первичной информации может быть достигнут методами интеллектуального анализа, такими как классификация и кластеризация.

Качественная классификация позволяет распределить выходное признаковое пространство объекта в соответствии с процедурой лечения, например, с точки зрения способности пропускания активных сред в подкожную область: не пропускает, очень слабо пропускает, пропускает, активно пропускает, в соответствии с которым

активное сопротивление кожного покрова меняется от единиц Мом до единиц КОм. Очевидно, что эти области являются нечеткими и зависят от конкретного пациента. Данный метод относится к классификации с учителем, поскольку по медицинским критериям задаются области, которые отличаются эффективностью лечебной процедуры. Понятно, что они субъективны, области неравномерны и не могут содержать четких разделительных границ.

Кластеризация относится к интеллектуальному анализу данных, который объединяет в группы данные, близкие по определенному признаку. Для медицинских приложений наиболее подходит алгоритм нечеткой кластеризации [14], однако требуется его модификация, связанная с особенностью работы системы управления. Для проведения классификации необходимо выбрать меру подобия по расстоянию между нормированными объектами. Обзор существующих методов показал, что наиболее широко распространенной мерой является Евклидово расстояние $\rho(x, x') = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2}$, представляющее собой геометрическое расстояние в многомерном пространстве.

В рассматриваемой системе управления с биологической обратной связью присутствуют несколько признаков, имеющих различную природу (сопротивление кожного покрова, частота сердечных сокращений, частота дыхания, радиационная температура кожного покрова). Для их совместной обработки необходима нормализация признакового пространства каждого признака. Значимость каждого признака разная, например, сопротивление кожного покрова для инфракрасной пелоидотерапии является определяющим признаком, поскольку проводимость кожи непосредственно влияют на эффективность проведения процедуры пелоидотерапии. Количество кластеров, которое можно получить из множества, не может превышать числа элементов в множестве, но при введении ограничения по расстоянию число кластеров сокращается, а применительно к сопротивлению кожного покрова данный кластер является наиболее значимым, или мощным кластером. Экспериментальные исследования подтвердили информативность данного признака, однако показали также существенную инерционность сигнала, что оказывает значимое влияние на процесс управления. Следовательно, необходимы иные признаки, которые могут быть менее информативны относительно медицинских показаний эффективности пелоидотерапии, однако обладающие существенно более высокими

динамическими характеристиками. Основным преимуществом кластеризации является отсутствие ограничений на распределение, универсальность метода, отсутствие необходимости в априорной информации относительно классификации, что важно при работе с разнородными признаками.

Кластеризация в рассматриваемом аспекте имеет особенность, состоящую в недоступности дополнительной информации на начальный момент анализа, приводящую к неопределенности в принятии решения.

В общем виде задача кластеризации реализуется следующим образом. Элемент выходных признаков g , представляет собой элемент m -мерного пространства $g = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, где x_i – атрибут объекта g [13]. Массив входных объектов $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ представляется матрицей атрибутов X размерностью $n \times m$:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}.$$

Подмножество близких по определенным характеристикам объектов из X составляют кластер, а мерой близости является расстояние между объектами g_i и g_j . Алгоритм кластеризации включает 4 этапа:

- выделение значимых количественных характеристик нормированных объектов в виде векторов;
- принятие метрики для селекции характеристик объектов, в качестве которой чаще всего используется метрика Евклида;
- разбиение объектов на группы, проверка стабильности кластеризации и сравнение кластеров, полученных различными методами;
- определение центров кластеров, существенно упрощающих принятие управляющих решений.

Схема нечеткой кластеризации включает:

1. Задание первоначального нечеткого разбиения n объектов на k кластеров с указанием матрицы принадлежности U размерностью $n \times k$, значения элементов u_{ij} которой находятся в пределах $[0,1]$.
2. Вычисление критерия нечеткой ошибки с использованием элементов функции принадлежности матрицы U :

$$E^2(X, U) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k u_{ij} \|x_i - c_j\|^2,$$

где $c_j = \sum_{i=1}^n u_{ij} x_i$ – центральная часть нечеткого кластера kl_j .

3. Перегруппировка объектов исходного множества для уменьшения величины критерия нечеткой ошибки.

4. Определение критерия нечеткой ошибки до достижения требуемого рассогласования.

При анализе кластеров предполагаем, что они имеют центр, т.е. особую внутреннюю точку, которая характеризует анализируемое множество признаков. Поскольку форма кластера может быть произвольной, то и центр кластера может располагаться в произвольной точке, поэтому необходим подход, который учитывает и это обстоятельство. Для формализованной задачи, удовлетворяющей принципы кибернетической системы, решение связано с нахождением приемлемого значения оценочной функции. Учитывая слабую структурированность исходной информации, разбиение на кластеры с нечеткой функцией принадлежности и очевидным образом решения, принятые на основании полученных данных о центрах кластеров, может быть принято как промежуточное или локальное.

Если выделить в текущем окне составляющие массива с устойчивой составляющей, для которых расстояние между объектами мало, можно по центрам текущих кластеров определить тренд процесса. Аппроксимировав выборочные значения центров кластеров полиномом первого порядка, можно определить наклон прямой, т.е. направление и скорость протекания процесса. Данная процедура может быть использована в квазистационарном режиме работы камеры пеллоидотерапии, когда происходит колебание процесса в установившемся режиме, который является основным процедурным.

Если возникает внешнее скачкообразное возбуждение, например, за счет запаздывания реакции контролируемых систем организма, происходит адаптация биологического объекта для сохранения гомеостаза. При этом перестраивается внутренняя и периферическая системы кровоснабжения, что находит свое отражение в кратковременном изменении частоты сердечных сокращений и при тепловой перегрузке частоты дыхания. Информативным признаком для управления интенсивностью инфракрасного облучения может служить скачок дисперсии показаний частоты сердечных сокращений и дыхания. Дисперсию можно определить по известной зависимости:

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{b=1}^N (x_k^b - \bar{x}_k)^2,$$

где N – общее число выборок, x_k^b – b -е значение k -й переменной из области определения, $\bar{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{b=1}^N x_k^b$.

Дисперсия позволяет получить информацию относительно изменений выходного признакового пространства биологического объекта как

ответ на внешнее возмущение. Данный признак служит дополнительным относительно главного признака и способствует повышению динамических характеристик системы.

На рисунке 1 представлена упрощенная схема управления инфракрасной системой пелоидотерапии с биологической обратной связью.

Выходные признаки биологического объекта нормализуются для возможности сопоставления разнородных физических величин. Выделяется скользящее окно каждого признака, из которого выделяется главный информационный кластер, и определяются дисперсии всего признакового пространства, по которым отслеживаются динамика реагирования организма на возмущения. Определение текущих центров главного кластера в скользящем окне позволяет построить тренд развития процесса, по значениям которого и дисперсиям принимается локальное решение относительно изменения интенсивности инфракрасного излучения на один или несколько уровней. Последовательное приближение состоит в увеличении или уменьшении значения содержимого памяти на единицу в зависимости от принятого решения. Содержимое памяти является управляющим для силовых симисторных широтно-импульсных преобразователей инфракрасных излучателей камеры пелоидотерапии.

Следовательно, биологический объект находится в цепи обратной связи, которая по реакции человека автоматически меняет интенсивность инфракрасного облучения так, чтобы интенсивность соответствовала активной проводимости кожного покрова. Реализация компонентов и программных средств реализована на базе технологии ARDUINO.

Выводы.

1. Предложен путь снижения влияния неопределенности выходных признаков биологического



Рис. 1. Схема управления с биологической обратной связью

объекта на принятие управленческого решения разделением пространства на текущие центры главного кластера дисперсии вспомогательных признаков.

2. Разработана схема управления инфракрасной камерой пелоидотерапии с биологической обратной связью, обеспечивающая автоматическое формирование и поддержание интенсивности облучения, соответствующего оптимизации лечебного процесса конкретного пациента.

Список литературы:

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Москва : ЮРАЙТ. 2015. 276 с.
2. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. Санкт-Петербург : ИЭФБ РАН. 2010. 607 с.
3. Дубровин А.В. Автоматизированная электротехнология централизованного локального и общего обогрева в птицеводстве : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва. 2004. 446 с.
4. Деклараційний патент № 58051А (Україна). Спосіб пелюїдотерапії та камера для його здійснення / Косовєров Є.О. та ін.
5. Акулов С.А., Федотов А.А. Основы теории биотехнических систем. Москва : ФИЗМАТЛИТ. 2014. 259 с.
6. Плоткин Ф.Б. Компьютерное биоуправление: прогрессивные технологии – в практику здравоохранения. Минск : Новые технологии в медицине. 2012. С. 106–110.
7. Moore J. Biomedical technology and devices. Handbook. CRC Press LLC. 2004. 750 p.

8. Hallman D.M., Olsson E.M., Hallman D.M., Von Scheele D. Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress – related chronic neck pain: a pilot study. Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2011. Vol. 36. № 2. P. 71–80.
9. Пятакович Ф.А., Сурушкин М.А. Мультипараметрическая одноканальная система управления в игровом модуле “Хотх” с биологической обратной связью. Фундаментальные исследования. 2011. № 4. С. 139–144.
10. Мосолов С.Н., Бирюкова Е.В., Тимофеев И.В. Применение А-Θ-Тренинга биологической обратной связи при тревожных расстройствах, резидентных к психофармакотерапии (открытое рандомизированное контролируемое исследование). Обзор психиатрии и медицинской психологии им. В.М. Бехтерева. 2010. № 1. С. 15–20.
11. Wheat A.L., Larkin K.T. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: a critical review. Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2010. Vol. 35. № 3. P. 229–242.
12. Зайчик А.Ш., Чурилов Л.П. Патологическая физиология. Том 2. Санкт-Петербург : ЭЛБИ–СПб. 2007. 768 с.
13. Шуметов В.Г., Шуметова Л.В. Кластерный анализ: подход к применению ЭВМ. Орел : ОрелГТУ. 2010. 118 с.
14. Филатова Н.Н., Ханеев Д.М. Пирамидальная сеть для классификации объектов, представленных нечеткими признаками. Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 9(134). С. 45–49.

НЕЧІТКИЙ КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ З БІОЛОГІЧНИМ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ

Розглянуто перетворення ознакового простору даних біологічного об'єкта, що знаходиться в каналі зворотного зв'язку управляючої системи. Запропоновано розділ ознакового простору на головне та допоміжне, що містить інформацію про динаміку перебудови систем організму. Розглянуто формування тренду розвитку процесу по центрах головного кластеру, що забезпечило можливість виділення первинних ознак для прийняття рішення з управління напрямом зміни впливу на біологічний об'єкт.

Ключові слова: інфрачервона система, біологічний зворотній зв'язок, значимі ознаки, нечітка класифікація, тренд.

FUZZY CLUSTER ANALYSIS IN THE CONTROL SYSTEM WITH BIOLOGICAL FEEDBACK

The transformation of the attribute data space of a biological object in the feedback channel of the control system is considered. A division of the attribute space into the main and auxiliary, containing information about the dynamics of the restructuring of the body systems, is proposed. The formation of the development trend of the process along the centers of the main cluster was considered, which provided the possibility of identifying the primary features for making a decision on managing the direction of change in the impact on a biological object.

Key words: infrared system, biofeedback, significant features, fuzzy clustering, trend.