УДК 519.711.2:316.614.6
ББК 32.81

МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА И ПРОЦЕССА СОЦИАЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ДЕТЕЙ «ГРУППЫ РИСКА»)

Карташов В. Я.[1]**, Хорошева Т. А.**[2]
(ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»)

Процессы социальной реабилитации являются сложными управляемыми динамическими процессами. Сложность их определяется объектом исследования, системой оценки состояния объектов в процессе реабилитации, значительными затратами на проведение мониторинга. В работе предлагается оценка эффективности индивидуальных программ реабилитации на основе моделей механизма и процесса реабилитации. Построение моделей производится решением задачи структурно-параметрической идентификации по вход-выходным измерениям. Предложенный подход реализуется при реабилитации детей «группы риска».

Ключевые слова: механизм и процесс реабилитации, обратная положительная связь, оценка эффективности.

1. Введение

Для решения задач управления процессами реабилитации в условиях Социально-реабилитационных центров (СРЦ) необходимо наличие объективной информации о ресурсах, процессах и результатах реабилитации, что, в свою очередь, требует созда-

---

[1] *Владимир Яковлевич Карташов, доктор технических наук, профессор (Кемерово, ул. Терешковой, д. 40, тел. (3842) 54-25-09).*
[2] *Татьяна Александровна Хорошева, соискатель (tkhorosheva@yandex.ru)*

ния и поддержания в актуальном состоянии системы мониторинга и оценки эффективности программ реабилитации. Разработка алгоритмического, методического и информационного обеспечения системы управления процессом реабилитации детей и подростков «группы риска» в условиях СРЦ является, на наш взгляд, приоритетным направлением в исследовании. При создании такой системы важно изучить механизмы процесса реабилитации. Формализация процесса реабилитации позволит проводить модельные исследования, результаты которых могут быть использованы при разработке и реализации индивидуальных программ реабилитации (ИПР).

Общие подходы к моделированию социальных, социально-педагогических систем, включая вопросы управления ресурсами, образовательными программами и комплексами рассмотрены в [2, 3, 12]. Исследование социальных систем на основе статистических данных приводится в работах [11, 17, 20]. В работе [15] внимание уделяется использованию компьютерных технологий для анализа и прогнозирования социальных процессов. В [1] рассматриваются человеко-машинные процедуры решения задач многокритериального выбора при принятии решений. В процессе анализа данных используется лепестковая диаграмма. Возможности использования лепестковой диаграммы при принятии решений и оценке деятельности систем описаны в [19]. Методология принятия решений на основе экспертных методов оценки при управлении образовательными системами представлена в [21]. Также в монографии [21] обобщены наиболее часто встречающиеся подходы в информационном обеспечении принятия решений и оценке их эффективности. Процесс проектирования и применения информационного обеспечения в социальных системах описаны в [2, 4, 22]. Однако вопросы оценки эффективности ИПР на основе моделирования процесса реабилитации не были найдены, что объясняется относительной молодостью систем социального сопровождения населения.

Согласно [18] социальная реабилитация понимается как восстановление у ребенка основных социальных функций личности, психического, физического и нравственного здоровья, социального статуса.

Реабилитация представляет собой многоэтапный процесс, на каждом из которых осуществляется комплекс мероприятий (стадий), включающий: 1) оценку состояния ребенка; 2) разработку индивидуальной программы реабилитации, которая состоит из определенного набора реабилитационных воздействий; 3) реализацию ИПР.

Количество этапов процесса реабилитации определяется частотой проведения мониторинговых исследований. Именно на основе результатов мониторинга и оценки эффективности ИПР должны приниматься управленческие решения.

Целью настоящего исследования является разработка подхода к оценке эффективности индивидуальных программ реабилитации на основе математического моделирования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать модель механизма реабилитации.
2. Построить модель процесса реабилитации.
3. Используя полученные модели, разработать подход к оценке эффективности ИПР.

2. Общая характеристика процесса реабилитации

Весь процесс реабилитации (включая и постреабилитационный процесс) условно делится на этапы, т.е. промежутки времени между последовательными процедурами комплексного оценивания состояния ребенка при мониторинге (рис. 1).

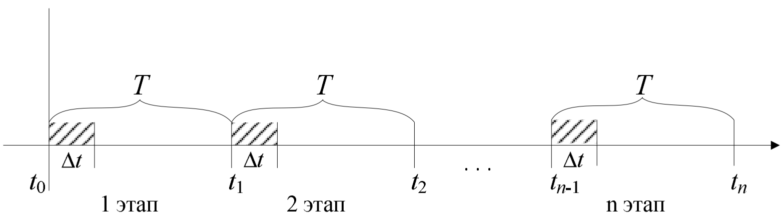

Рис. 1. Этапы процесса реабилитации

Особое значение имеет первый этап, который характеризуется:

– моментом времени t_0 – моментом поступления ребенка и промежутком времени Δt – временем комплексного обследования состояния ребенка, предварительной оценки степени индивидуального развития.

– разработкой управляющих воздействий в форме ИПР, реализация которой начинается в момент времени $t_0 + \Delta t$.

Моменты времени $t_n = t_0 + nT$ характеризуют начало n-го этапа. Временной интервал Δt обязательно включает стадию текущей оценки степени индивидуального развития. При адаптивном и многоэтапном процессе реабилитации стадия коррекции ИПР может быть включена во все последующие этапы.

Реализация ИПР может состоять в общем случае из n этапов, при этом если n-й этап заключительный, т.е. после него прекращается активное воздействие ИПР, то может осуществляться мониторинг постреабилитационных этапов в моменты времени t_{n+1}, t_{n+2}, … .

Не умаляя общности модели, будем считать, что временной промежуток Δt является постоянным и разумным по величине. Для того чтобы всю результирующую информацию, получаемую на этом промежутке, отнести на момент времени t_n ($n \in \{0, 1, 2, \ldots\}$), Δt должен быть достаточно малым. Учитывая важность этого промежутка, к нему предъявляются особые требования по информированности и оперативности, методическому и приборному обеспечению.

В данной работе рассматриваются наиболее часто встречающиеся в настоящее время реабилитационные процессы: одноэтапные и двухэтапные. Одноэтапные процессы включают начальную и конечную оценки состояния ребенка, двухэтапные, кроме указанных, включают одно промежуточное обследование.

3. Моделирование механизма реабилитации

Рассматривая отдельный этап процесса реабилитации ребенка, следует отметить, что он содержит три стадии.

На *первой стадии* проводится оценка состояния ребенка, которая включает медико-психолого-педагогические измерения [23]. Измерения производятся по значительному числу переменных $C(z_1, z_2, \ldots, z_m)$. Переменные z_i $(i = 1, \ldots, m)$ принимают определенные значения в порядковой шкале, которая является наиболее соответствующей типам данных, характеризующих развитие ребенка. Для оценки состояния ребенка при социальной реабилитации в условиях СРЦ г. Кемерово используются 16 показателей [24], представленных в таблице 1.

Таблица 1. Показатели состояния ребенка

№ п/п	Кодировка показателя	Описание
1.	z_1	Состояние регуляторных систем
2.	z_2	Психоэмоциональное состояние
3.	z_3	Общий уровень умственного развития
4.	z_4	Наличие положительных жизненных планов
5.	z_5	Отношение к учебной деятельности
6.	z_6	Развитие полезных знаний, навыков, интересов
7.	z_7	Коллективистские проявления
8.	z_8	Адекватность отношений к педагогическим воздействиям
9.	z_9	Критичность, способность правильно оценивать себя
10.	z_{10}	Самоконтроль, самоанализ
11.	z_{11}	Способность к сопереживанию, эмпатия
12.	z_{12}	Волевые качества
13.	z_{13}	Внешняя культура поведения
14.	z_{14}	Отказ от употребления алкоголя
15.	z_{15}	Отказ от курения
16.	z_{16}	Отказ от сквернословия

Оценка состояния производится специалистами, непосредственно работающими с ребенком. Методика оценки состояния ребенка является стандартной и основана на многочисленных методах медико-психолого-педагогических измерений.

Для визуализации результата измерений в системе реабилитации используется лепестковая диаграмма, на которой кроме полученных данных может быть представлена дополнительная нормативная информация в числовой и интервальной форме [7]. Как правило, вся текущая и нормативная информация по переменным z_i ($i = 1, \ldots, m$) переводится в значения из отрезка [0, 1].

В качестве интегрального показателя степени индивидуального развития предлагается использовать взвешенное расстояние Хемминга [11, 16]:

$$(1) \quad X = \sum_{i=1}^{m} \beta_i |z_i|,$$

где β_i – вес показателя z_i, причем $\sum_{i=1}^{m} \beta_i = 1$, $0 \le \beta_i \le 1$. Введение весов β_i подчеркивает гибкость подхода, позволяющего рассматривать множество различных и частных целей реабилитации. В данной работе полагается $\beta_i = \frac{1}{m}$ ($i = 1, \ldots, m$). Следует отметить, что формирование состава показателей индивидуального развития z_i ($i = 1, \ldots, m$) осуществляется при поступлении ребенка в СРЦ и остается неизменным на протяжении всего реабилитационного и постреабилитационного процесса, если таковой есть.

На *второй стадии* первого этапа осуществляется разработка индивидуальной программы реабилитации на основе анализа полученной оценки состояния ребенка и имеющейся предыстории результатов подобных процессов реабилитации.

На последующих этапах ($n = 1, 2, \ldots$) на этой стадии осуществляется относительная оценка действия реализуемой ИПР. Исходными данными для n-го этапа являются оценки степени индивидуального развития ребенка $x(n - 1)$, $x(n)$. В этом случае целесообразно ввести коэффициент действия ИПР $k_{ипр}(u, n)$ на n-м этапе:

(2) $$k_{ипр}(u,n)=\frac{x(n)-x(n-1)}{x(n)},$$

где u обозначает целенаправленные воздействия, входящие в ИПР. Принимается, что в начальный момент действия ИПР $k_{ипр}(u, 0) = 0$.

Из соотношения (2) следует представление:

(3) $x(n) = x(n-1) + k_{ипр}(u, n)\cdot x(n)$,

которое означает, что достигнутая оценка состояния ребенка на n-м этапе зависит от суммы оценки на предыдущем этапе $x(n-1)$ и приращения за счет действия ИПР на n-м этапе (второе слагаемое). В этом случае модельное представление механизма реабилитации на отдельном этапе можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 2).

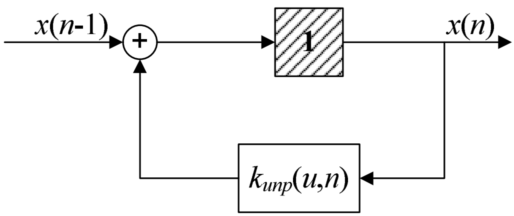

Рис. 2. Блок-схема механизма реабилитации

Рассматривая аналог данного объекта при следующих предположениях: $x(n-1)$, $k_{ипр}(u, n)$ являются постоянными на этапе, а вместо элемента с коэффициентом передачи $k = 1$ могут быть использованы апериодические объекты 1-го и 2-го порядков, тогда согласно [10] представленная блок-схема отражает жесткую положительную обратную связь. Эта связь в данном случае увеличивает коэффициент передачи и инерционность всей системы [10]. Именно эта особенность, которая в большинстве технических систем бесполезна, имеет важное значение для процессов реабилитации.

В отличие от других социальных процессов, процессы реабилитации исследуемого объекта при реализации ИПР, в силу его особенностей, не всегда приводят к положительным результатам. Этот факт отражается в свойствах $k_{ипр}(u, n)$, которые следуют из соотношений (2) и (3):

1) если $k_{ипр}(u, n) = 1$, то $x(n-1) = 0$, т.е. все $z_i = 0$ для любого $i = 1, \ldots, m$, что фактически невозможно;

2) если $k_{ипр}(u, n) = 0$, то $x(n) = x(n-1)$, т.е. ИПР не изменяет состояние ребенка;

3) если $k_{ипр}(u, n) < 0$, то $x(n) < x(n-1)$, т.е. ИПР не эффективна;

4) если $k_{ипр}(u, n) > 1$, то такая ИПР теряет смысл;

5) если $0 < k_{ипр}(u, n) < 1$, то ИПР эффективна.

Таким образом, оценив результаты реабилитации, можно скорректировать ИПР так, чтобы она стала более эффективной для данного ребенка.

На *третьей стадии* проводятся реабилитационные медико-психолого-педагогические воздействия, предусмотренные ИПР.

4. Моделирование процесса реабилитации

В результате мониторинга состояния ребенка в начальные моменты каждого этапа имеем некоторую совокупность оценок индивидуального развития $x(0)$, $x(1)$, …, $x(n)$, …, где момент времени $t_0 := 0$ есть начало действия ИПР. Действие конкретной ИПР описывается индикаторной функцией:

$$(4) \quad u(t) = 1(t) = \begin{cases} 1, \text{ если действует ИПР;} \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

В работе предполагается, что в процессе реабилитации ИПР, разработанная и принятая на первом этапе, не корректируется. Очевидно, значения $x(n)$ могут содержать погрешности, однако существующие методики оценки медико-психолого-педагогического характера направлены на уменьшение их влияния, поэтому в работе они не учитываются.

При выборе класса моделей процесса реабилитации сделаны следующие предположения:

1) так как действие ИПР определяет ограниченное и малое по величине изменение степени индивидуального развития, то предполагается, что модель относится к классу линейных динамических моделей;

2) в связи с тем, что процесс реабилитации в работе рассматривается на ограниченном временном интервале (1-2 месяца), то модель является стационарной;

3) так как измерения переменных z_i осуществляется, как правило, многими методиками, то предполагается, что полученные значения z_i содержат погрешности малые по величине. В силу этого они не учитываются, т.е. задача идентификации решается в детерминированной постановке (т.е. ни структура, ни значения параметров неизвестны);

4) длительность переходного процесса реабилитации определяется экспертно и для одноэтапных процессов ограничиваются, как правило, одним месяцем, а для двухэтапных процессов – двумя месяцами. Сложность и высокая стоимость проведения комплексного обследования ребенка приводит к малому количеству измерений.

Так как ИПР при своем действии может привести к непредсказуемым реакциям ребенка, то другие предположения о структуре модели не имеют место. Следует заметить, что определяемая структура модели существенно зависит от количества исходных данных.

Задача построения математической модели процесса реабилитации сводится к решению задачи структурно-параметрической идентификации динамического процесса по измерениям в равноотстоящие моменты времени. В силу индивидуальных особенностей объекта исследования и действия ИПР, структуру модели вряд ли удается определить, поэтому поставленная задача решается с помощью метода SP-идентификации на основе теории непрерывных дробей [6, 9,14].

Кратко сущность данного подхода сводится к следующему:

1. Формально записывается передаточная функция объекта для имеющегося динамического процесса [13].

$$(5)\quad G(z,T) \overset{\Delta}{=} \frac{X(z,T)}{U(z,T)} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} x(n)\cdot z^{-n}}{\sum_{n=0}^{\infty} u(n)\cdot z^{-n}},$$

где $X(z, T)$, $U(z, T)$ – Z-преобразования выходной и входной временной последовательности $\{x(n), u(n)\}$, $n \in \{0, 1, 2, \dots\}$ соответственно; z – переменная Z-преобразования; T – период дискретизации, равный времени между двумя последовательными измерениями (T = const). Заметим [13], что z^{-1} часто трактуется как оператор обратного временного сдвига $z^{-1}(f(k)) = f(k - 1)$.

Понятно, что в соотношении (5) ряды в числителе и в знаменателе взаимосвязаны (так как отражают индивидуальность характеристик исследуемого объекта), поэтому раздельно эти формальные ряды исследовать нельзя.

2. Для совместного анализа рядов строится идентифицирующая матрица, получаемая из алгоритма В. Висковатова (начало XIX века [8]):

$$(6)\quad \begin{array}{l} (-1)\ \text{строка} \\ 0\ \text{строка} \\ 1\ \text{строка} \\ \\ \vdots \\ m\ \text{строка} \\ \\ \end{array} \begin{pmatrix} u(0) & u(1) & u(2) & \dots & u(n) & \dots \\ x(0) & x(1) & x(2) & \dots & x(n) & \dots \\ \alpha_1(0) & \alpha_1(1) & \alpha_1(2) & \dots & \alpha_1(n) & \dots \\ & & & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_m(0) & \alpha_m(1) & \alpha_m(2) & \dots & \alpha_m(n) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix},$$

где исходные данные $\{x(n), u(n)\}$ образуют первые две строки, а все другие элементы матрицы (6) рассчитываются по следующему рекуррентному соотношению [14]:

$$(7)\quad \alpha_m(n) = \frac{\alpha_{m-2}(n+1)}{\alpha_{m-2}(0)} - \frac{\alpha_{m-1}(n+1)}{\alpha_{m-1}(0)},$$

где $m \in N$, $n \in \{0, 1, 2, \dots\}$. Заметим, что если в нулевой строке первые k элементов нулевые, то осуществляется сдвиг строки на

k элементов (первый элемент строки не должен быть равен нулю).

3. Первый столбец идентифицирующей матрицы образует непрерывную дробь, свойства которой отражают причинно-следственные характеристики объекта [6, 9]:

$$(8)\quad G(z,T)=\cfrac{\alpha_0(0)}{1+\cfrac{\alpha_1(0)z^{-1}}{1+\cfrac{\alpha_2(0)z^{-1}}{1+\ldots}}},$$

где $\alpha_0(0)=\dfrac{x(0)}{u(0)}$.

Непрерывная дробь (8) порождает последовательность конечных непрерывных дробей m-го порядка:

$$(9)\quad G(z,T)=\cfrac{\alpha_0(0)}{1+\cfrac{\alpha_1(0)z^{-1}}{\ddots\; 1+\cfrac{}{1+\alpha_m z^{-1}}}}.$$

Так, например, для линейного стационарного динамического объекта m-го порядка элементы $m+1$ строки идентифицирующей матрицы (6) равны нулю [6]. Полная классификация возможных представлений с помощью конечных непрерывных дробей приводится в [9].

4. Сворачивая конечную непрерывную дробь алгоритмом «снизу-вверх», получаем представление передаточной функции в виде отношения многочленов k-го порядка:

$$(10)\quad G(z,T)=\frac{P_k(z,T)}{Q_k(z,T)}.$$

Эта передаточная функция порождает математическую модель в форме разностного уравнения.

Из структуры идентифицирующей матрицы (не затрагивая выбор периода дискретизации T) следует, что минимальное число наблюдений для апериодического объекта 1-го порядка равно трем, для второго порядка – пяти наблюдениям и т. д. [8]. В том случае, когда количество наблюдений не соответствует порядку модели (это характерно для процессов реабилитации), то можно аппроксимировать модель ее приближенной моделью меньшего порядка. Это приближение следует из свойства непрерывных дробей принимать значения исходных данных [10].

Изложенный подход теоретически обоснован и практически апробирован для различных динамических процессов и объектов. В случае достаточного числа исходных данных осуществляется идентификация динамических объектов высокого порядка, объектов с временным запаздыванием, неминимально–фазовых объектов, неустойчивых объектов и т. п. [5, 6, 89]

Следует заметить, что эту методику можно применять и для моделирования значений $k_{ипр}(u, n)$ по имеющимся расчетным данным.

5. Модельные исследования одноэтапного процесса реабилитации

Как отмечалось ранее, в практике СРЦ реализуется одноэтапный процесс реабилитации, т.е. исходными данными являются $x(0)$ и $x(1)$. Если время действия ИПР T велико, то фактически $x(1)$ будет соответствовать максимально возможному установившемуся значению. Можно ожидать, что в связи с неучетом инерционности объекта эта модель будет грубой и позволит лишь оценить верхнюю и нижнюю границы возможностей ИПР для конкретного ребенка.

Пример 1. Объект – ребенок 12 лет. Начальное и конечное значение показателя степени индивидуального развития представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения степени индивидуального развития

	t_0	t_1
Значения $x(n)$	0,61	0,69

Визуализация мониторинговых исследований приведена на рис. 3.

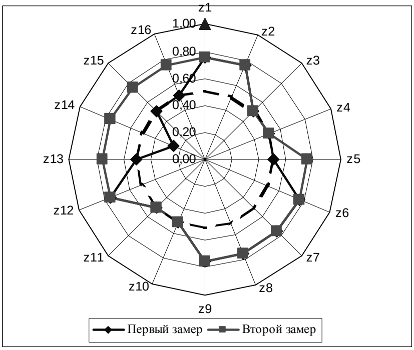

Рис. 3. Результаты мониторинга

Эффективность программы реабилитации $k_{unp}(u, 1) = 0{,}116$.

Идентифицирующая матрица принимает следующий вид:

	t_0	t_1	t_2
u	1	1	-
x	0,61	0,69	
a_1	–0,13		

Элементы первого столбца позволяют получить дискретную передаточную функцию объекта:

$$(11)\quad G(z) = \frac{0{,}61}{1 - 0{,}13z^{-1}},$$

которая порождает дискретную модель объекта:

(12) $x(n) = 0{,}61u(n) + 0{,}13x(n-1)$,

где $n \in N$. Проведем модельные исследования объекта для двух случаев: если постреабилитационный период отсутствует (т.е. действие ИПР прекращается сразу после курса реабилитации) и если действие ИПР продолжается в постреабилитационный период.

В **первом случае** положим $u(2) = u(3) = \ldots = u(k) = 0$. Тогда получим следующие модельные значения (таблица 3).

Таблица 3. Модельные значения индивидуального развития

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Модельные значения $x(n)$	0,61	0,689	0,09	0,01	0,0013	0

Рис. 4 иллюстрирует поведение модельного объекта.

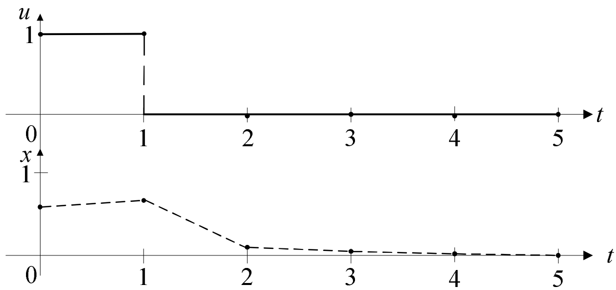

Рис. 4. Результаты моделирования

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что процесс реабилитации обладает инерционностью: значения $x(n)$ некоторое время сохраняют положительное значение, постепенно приближаясь к нулевым значениям. Однако реальный объект (ребенок) не может обладать характеристикой, равной нулю. Поэтому данный случай описывает лишь нижнюю границу возможных значений реального объекта, иллюстрируя при этом инерционность процесса реабилитации.

Во **втором случае** положим $u(2) = u(3) = \ldots = u(k) = 1$, т.е. действие программы реабилитации продолжается и в постреабилитационном периоде. Модельные значения представлены в таблице 4.

Таблица 4. Модельные значения индивидуального развития

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
Модельные значения $x(n)$	0,61	0,689	0,7	0,7	0,7

Рис. 5 иллюстрирует поведение модельного объекта.

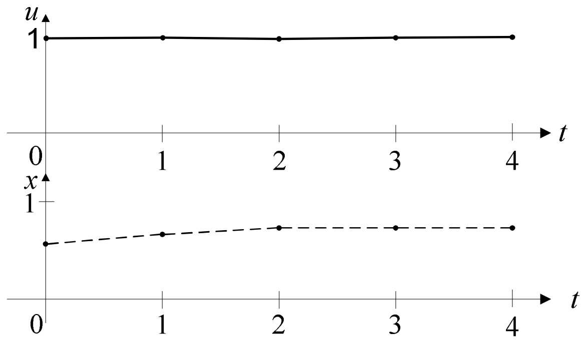

Рис. 5. Результаты моделирования

Результаты моделирования процесса с учетом постреабилитационного сопровождения показывают, что объект обладает свойством насыщения: достигнув определенного значения, которое можно интерпретировать как максимально ожидаемый результат реабилитационных воздействий, его изменение останавливается.

Объединяя результаты, полученные при моделировании первого и второго случая, можно получить пороговые значения показателя степени индивидуального развития, как бы «коридор» развития ребенка при реализации для него данной ИПР (рис. 6).

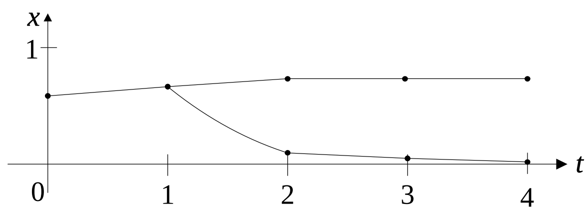

Рис. 6. Результаты модельных исследований

Таким образом, проведенные модельные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Одноэтапные модели реабилитации могут быть охарактеризованы максимально ожидаемым результатом реабилитационных воздействий.

2. С помощью построенной модели можно осуществить интервальный прогноз развития ребенка, так как можно определить максимальное и минимальное значение показателя степени индивидуального развития.

6. Модельные исследования двухэтапного процесса реабилитации

Рассматривая наиболее часто встречающиеся в деятельности СРЦ двухэтапные реабилитационные процессы, которые включают три оценки состояния ребенка: $x(0)$, $x(1)$ и $x(2)$, можно получить приближенную модель в форме модели апериодического объекта первого порядка, а значит определить такие свойства реабилитационного процесса, как коэффициент усиления и инерционность. Такая аппроксимация вполне соответствует модели механизма реабилитации на отдельном этапе.

Полученную начальную модель можно использовать для моделирования процесса в последующие этапы реабилитации. Если в постреабилитационном периоде появляются новые оценки состояния ребенка, то, добавляя их в идентифицирующую матрицу, можно уточнять структуру и параметры математической модели.

Пример 2. Объект исследования – ребенок 15 лет, значения интегрального показателя степени индивидуального развития представлены в таблице 5.

Таблица 5. Значения степени индивидуального развития

	t_0	t_1	t_2
Значения $x(n)$	0,5	0,61	0,66

Визуализация мониторинговых исследований приведена на рис. 7.

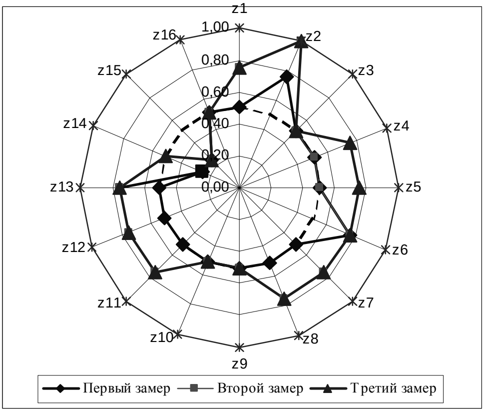

Рис. 7. Результаты мониторинга

Идентифицирующая матрица принимает следующий вид:

	t_0	t_1	t_2	t_3
u	1	1	1	-
x	0,5	0,61	0,66	
a_1	–0,22	–0,32		
a_2	–0,23			

Элементы первого столбца позволяют получить дискретную передаточную функцию объекта:

(13) $$G(z) = \frac{0{,}5}{1 - \dfrac{0{,}22z^{-1}}{1 - 0{,}23z^{-1}}} = \frac{0{,}5(1 - 0{,}23z^{-1})}{1 - 0{,}45z^{-1}},$$

которая порождает дискретную модель объекта ($n \in N$):

(14) $x(n) = 0{,}45x(n-1) + 0{,}5u(n) - 0{,}11u(n-1)$.

Проведем модельные исследования объекта для двух случаев: если постреабилитационный период отсутствует (т.е. действие ИПР прекращается сразу после курса реабилитации) и если действие ИПР продолжается в постреабилитационный период.

В **первом случае** положим $u(3) = u(4) = \ldots = u(k) = 0$. Тогда, используя дискретную модель объекта (14), получим следующие модельные значения (таблица 6).

Таблица 6. Модельные значения индивидуального развития

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Модельные значения $x(n)$	0,5	0,61	0,66	0,19	0,09	0,04	0,01

Рис. 8 иллюстрирует развитие модельного объекта.

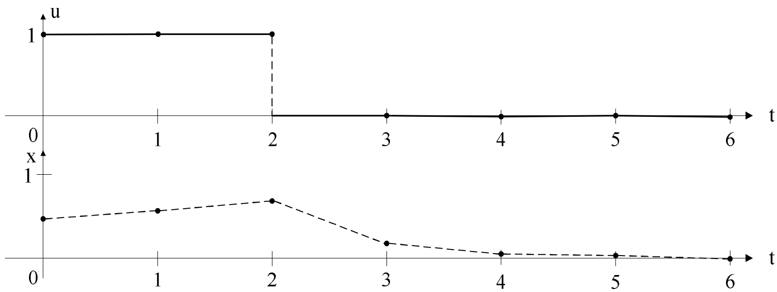

Рис. 8. Результаты моделирования

Результаты исследования иллюстрируют инерционность процесса реабилитации: даже при прекращении реабилитационных воздействий некоторое время сохраняется положительное состояние изучаемого объекта, постепенно стремящееся к нулевому значению. Данные, полученные при моделировании, описывают лишь нижнюю границу возможных значений показателя степени индивидуального развития.

Предположим, что действие ИПР не заканчивается после срока реабилитации, а продолжается в постреабилитационном периоде. Во **втором случае** положим $u(3) = u(4) = \ldots = u(k) = 1$. Рассчитаем модельные значения развития ребенка, используя дискретную модель объекта (14) (таблица 7).

Таблица 7. Модельные значения индивидуального развития

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Модельные значения $x(n)$	0,5	0,61	0,66	0,68	0,69	0,7	0,7

Результаты моделирования представлены на рис. 9.

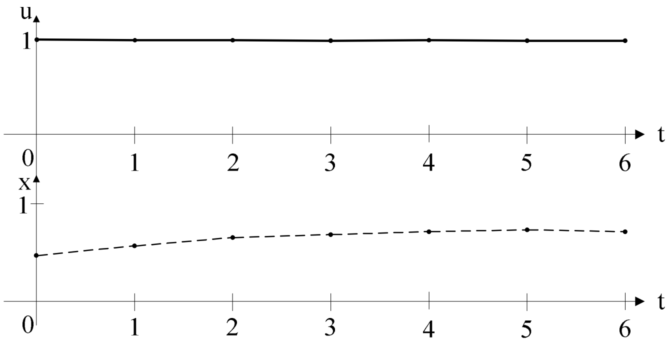

Рис. 9. Модельные значения индивидуального развития ребенка

Пример иллюстрирует инерционное поведение объекта под воздействием ИПР: при достаточно длительном воздействии значение показателя степени индивидуального развития выходит на максимально ожидаемый результат.

Таким образом, проведенные модельные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Двухэтапные модели реабилитации учитывают инерционность процесса реабилитации.
2. Так же как и в случае с одноэтапными моделями можно определить максимально ожидаемый результат реабилитационных воздействий.
3. Инерционность объекта дает возможность прогнозировать значение индивидуального развития ребенка на один шаг вперед при продолжении реабилитационных воздействий.

Имея модель объекта, можно прогнозировать его дальнейшее поведение, рассчитать оптимальное время воздействия программы, максимальный ожидаемый результат реабилитационных воздействий, давать прогноз дальнейшей оценки состояния ребенка.

Также для двухэтапного процесса реабилитации можно построить модель, описывающую изменения коэффициента действия программы реабилитации $k_{unp}(u, n)$. Построим дискретную модель изменения коэффициента действия программы реабилитации в процессе реабилитации ребенка (используя данные примера 2).

Пример 3. Эффективность программы реабилитации, определяемая по формуле (2), в начале действия программы $k_{unp}(u, 0) = 0$; на первом и втором этапе соответственно равна: $k_{unp}(u, 1) = 0{,}18$; $k_{unp}(u, 2) = 0{,}076$. Пользуясь модельными значениями, полученными в примере 2, найдем эффективность программы в постреабилитационный период: $k_{unp}(u, 3) = 0{,}029$.

Идентифицирующая матрица $k_{unp}(u, n)$ примет вид:

	t_0	t_1	t_2	t_3
u	1	1	1	1
k_{unp}	0	0,18	0,076	0,029
k_{unp}	0,18	0,076	0,029	-
a_1	0,58	0,84	-	
a_2	–1,028	-		

Так как $k_{unp}(u, 0) = 0$, то, по правилу, сформулированному в [6], нулевая строка сдвигается на один элемент влево. Элементы первого столбца определяют дискретную передаточную функцию объекта:

$$(15)\quad G(z) = \frac{0{,}18z^{-1}}{1 + \dfrac{0{,}58z^{-1}}{1 - 1{,}028z^{-1}}} = \frac{0{,}18z^{-1} - 0{,}185z^{-2}}{1 - 0{,}448z^{-1}},$$

которая позволяет перейти к дискретной модели изменения $k_{unp}(u, n)$ $(n \in N)$:

(16) $k_{unp}(n) = 0{,}448k_{unp}(n-1) + 0{,}18u(n-1) - 0{,}185u(n-2)$.

Допуская, что действие программы продолжается в постреабилитационный период, можно смоделировать изменения коэффициента $k_{unp}(u, n)$ для выбранного объекта, используя дискретную модель (16) (таблица 8).

Таблица 8. Модельные значения коэффициента действия программы реабилитации

$k_{unp}(u, n)$	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Модельные значения	0	0,18	0,076	0,029	0,008	–0,001	–0,006

График, представленный на рис. 10, иллюстрирует результаты, полученные при модельном исследовании.

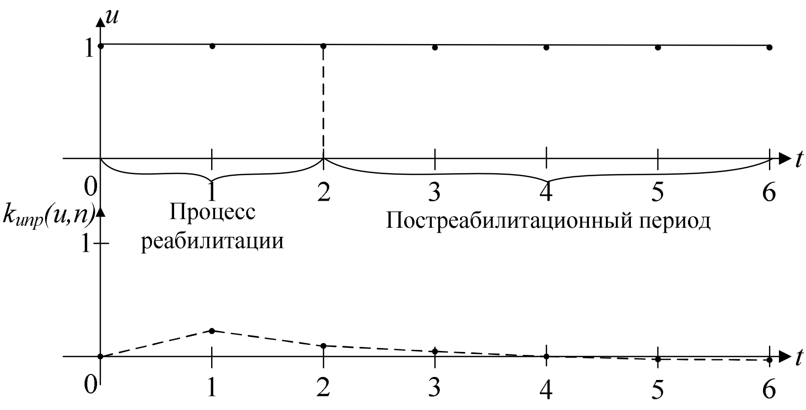

Рис. 10. Результаты модельных исследований

Анализ результатов модельных исследований позволяет сделать вывод, что программа реабилитации наиболее эффективна на первом этапе реабилитации. В дальнейшем ее эффективность постепенно снижается, и при насыщении (выходе на максимально ожидаемое значение показателя степени индивидуального развития) значение эффекта становится близким к нулю.

Как уже отмечалось в пункте 3, эффективность программы реабилитации может быть и отрицательной. Проведем модельные исследования объекта в случае, когда при реализации двухэтапной модели реабилитации ИПР оказалась неэффективна.

Пример 4. Объект исследования – ребенок 14 лет, результаты начального, среднего и конечного значений интегрального показателя степени индивидуального развития представлены в таблице 9.

Таблица 9. Значения степени индивидуального развития

	t_0	t_1	t_2
Значения $x(n)$	0,59	0,55	0,52

Идентифицирующая матрица принимает следующий вид:

	t_0	t_1	t_2	t_3
u	1	1	1	-
x	0,59	0,55	0,52	
a_1	0,068	0,12		
a_2	–0,83			

Элементы первого столбца позволяют получить дискретную передаточную функцию объекта:

(17) $$G(z) = \frac{0{,}59}{1 + \dfrac{0{,}068z^{-1}}{1 - 0{,}83z^{-1}}} = \frac{0{,}59 - 0{,}49z^{-1}}{1 - 0{,}762z^{-1}},$$

которая порождает дискретную модель объекта ($n \in N$):

(18) $x(n) = 0{,}762x(n-1) + 0{,}59u(n) - 0{,}49u(n-1)$.

Предположим, что действие ИПР не заканчивается после срока реабилитации, а продолжается в постреабилитационном периоде. Положим $u(3) = u(4) = \ldots = u(k) = 1$. Рассчитаем модельные значения индивидуального развития ребенка, используя модель объекта (18) (таблица 10).

Таблица 10. Модельные значения индивидуального развития

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Модельные значения $x(\underline{n})$	0,59	0,55	0,52	0,5	0,48	0,47	0,46

Результаты моделирования представлены на рис. 11.

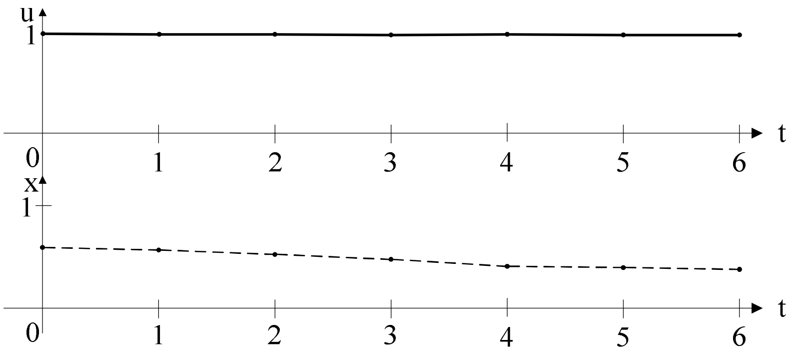

Рис. 11. Модельные значения индивидуального развития ребенка

Таким образом, при достаточно длительном воздействии даже неэффективной реабилитационной программы значение показателя степени индивидуального развития стабилизируется, иллюстрируя тем самым инерционность процесса реабилитации.

Рассмотрим изменение коэффициента действия данной программы реабилитации, проведя модельные исследования. Эффективность программы реабилитации, определяемая по формуле (2), в начале действия программы $k_{unp}(u, 0) = 0$; на первом и втором этапе соответственно: $k_{unp}(u, 1) = –0,073$; $k_{unp}(u, 2) = –0,058$. Пользуясь значениями, представленными в таблице 10, найдем эффективность программы в постреабилитационный период: $k_{unp}(u, 3) = –0,04$.

Идентифицирующая матрица $k_{unp}(u, n)$ примет вид:

	t_0	t_1	t_2	t_3
u	1	1	1	1
k_{unp}	0	–0,073	–0,058	–0,04
k_{unp}	–0,073	–0,058	–0,04	-
a_1	0,205	0,452	-	
a_2	–1,41	-		

Элементы первого столбца позволяют получить дискретную передаточную функцию объекта:

$$(19)\quad G(z)=\frac{-0{,}073z^{-1}}{1+\dfrac{0{,}205z^{-1}}{1-1{,}41z^{-1}}}=\frac{-0{,}073z^{-1}+0{,}103z^{-2}}{1-1{,}205z^{-1}},$$

которая позволяет перейти к дискретной модели изменения $k_{unp}(u, n)$ $(n \in N)$:

(20) $k_{unp}(u, n) = 1{,}205k_{unp}(n-1) - 0{,}073u(n-1) + 0{,}103u(n-2)$.

Допуская, что действие программы продолжается в постреабилитационный период, можно смоделировать изменения коэффициента $k_{unp}(u, n)$ для выбранного объекта, используя дискретную модель (20) (таблица 11).

Таблица 11. Модельные значения коэффициента действия программы реабилитации

$k_{unp}(u, n)$	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Модельные значения	0	–0,073	–0,058	–0,04	–0,02	0	0,03

График, представленный на рис. 12, иллюстрирует результаты, полученные при модельном исследовании.

Проведенные модельные исследования позволяют сделать следующий вывод: в случае, если в первый момент времени не наблюдается возрастания значения $k_{unp}(u, n)$, то ИПР для данного ребенка неэффективна и нуждается в коррекции. Однако, даже при неэффективной ИПР, происходит со временем стабилизация в оценке состояния ребенка.

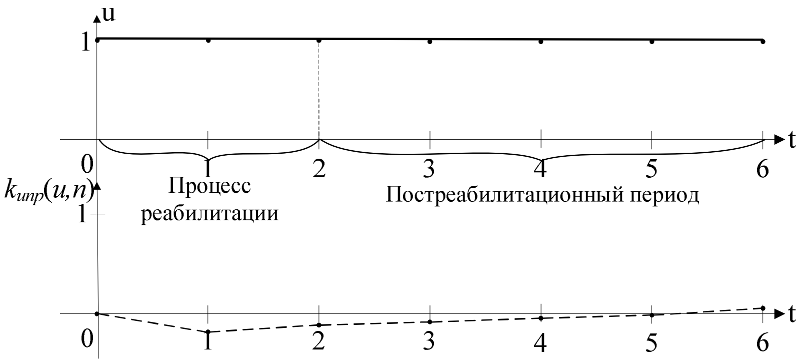

Рис. 12. Результаты модельных исследований

По итогам модельных исследований можно сделать качественное заключение: коэффициент действия для эффективной ИПР должен представлять собой непрерывную функцию, положительную на конечном отрезке (рис. 13).

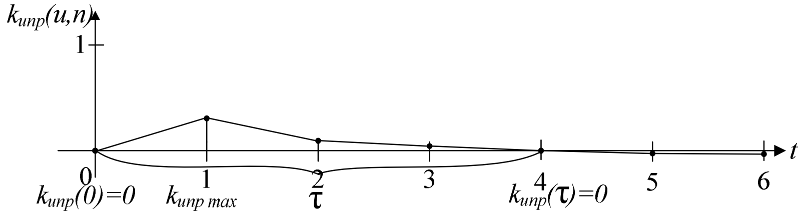

Рис. 13. Развитие коэффициента программы реабилитации

Эффективность ИПР характеризуется двумя показателями: максимальным значением коэффициента действия программы реабилитации ($k_{unp\ max}$) и временем эффективного воздействия (t), определяемым между начальным и конечным нулевыми значениями коэффициента $k_{unp}(u, n)$.

Таким образом, проведенные модельные исследования показали, что коэффициент действия программы реабилитации также обладает инерционностью, что позволяет говорить о пролонгированном действии реабилитации.

7. Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В работе предложена модель механизма реабилитации, основанная на жесткой обратной положительной связи. Этот механизм позволяет ввести на каждом этапе коэффициент действия ИПР, позволяющий оценить ее эффективность.
2. Используя данные мониторинговых исследований определяется модель процесса реабилитации, которая получается в результате решения задачи структурно-параметрической идентификации на основе теории непрерывных дробей.
3. Предложена методика оценки эффективности ИПР, включающая построение модели процесса реабилитации, на основе которого определяются значения $k_{ипр}(u, n)$ на каждом этапе. Используя полученные оценки в качестве исходных данных осуществляется построение модели изменения коэффициента в процессе реабилитации.
4. Примеры иллюстрируют возможность применения предложенной методики в процессе принятия решений при индивидуальной реабилитации.

Литература

1. БАТИЩЕВ Д. И., ШАПОШНИКОВ Д. Е. *Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений*. – Г.: ИПФ, 1994. – 90 с.
2. БУРЯК Ю. И., ИНСАРОВ В. В., КАЛИНИН В. Л. *Формирование управленческих решений в организационных системах на основе моделирования их деятельности* // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 1. – С. 158-171.

3. ВОРОНИН А. А., ГУБКО М. В., МИШИН С. П., НОВИКОВ Д. А. *Математические модели организаций: учебное пособие*. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
4. ЖИЛИНА Н. А., ЧЕЧЕНИН Г. И., САПРЫКИНА Т. В. *Автоматизированная система социально-гигиенического мониторинга здоровья и среды обитания - инструмент принятия научно обоснованных решений: монография*. – Новокузнецк: МОУ ДПО ИПК, 2005. – 159 с.
5. КАРТАШОВ В. Я. *Цифровые системы контроля с идентификацией динамических свойств и характеристик сложных объектов*: Дис. д-ра тех. наук. – Кемерово, 1997. – 478 с.
6. КАРТАШОВ В. Я. *Анализ и исследование аппроксимационных свойств непрерывных дробей при решении задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов* // Препринт №22. – Барнаул, 1996. – 40 с.
7. КАРТАШОВ В. Я., КАГАКИНА Е. А., ЮДИНА А. И., ХОРОШЕВА Т. А. *Научно-методические рекомендации по оценке эффективности индивидуальных программ реабилитации в условиях организаций социальной защиты, работающих с семьей и детьми, оказавшимися в трудной жизненной ситуации*. – Кемерово: КемГУ, 2008. – 14 с.
8. КАРТАШОВ В. Я. *Непрерывные дроби (определения и свойства): учебное пособие*. – Кемерово: КемГУ, 1999. – 88 с.
9. КАРТАШОВА Л. В., КАРТАШОВ В. Я. *Построение причинно-следственных моделей социально-экономических процессов: монография*. – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2008. – 156 с.
10. МАКАРОВ И. М., МЕНСКИЙ Б. П. *Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал)*. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.
11. НАСЛЕДОВ А. Д. *Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных: учебное пособие*. – СПб.: Речь, 2004. – 392 с.

12. НОВИКОВ Д. А., ГЛОТОВА Н. П. *Модели и механизмы управления образовательными сетями и комплексами*. – М.: Институт управления образованием РАО, 2004. – 142 с.
13. ОСТРЕМ К., ВИТТЕНМАРК Б. *Системы управления с ЭВМ*. – М.: Мир, 1987. – 480 с.
14. Карташов В. Я., Инденко О. Н., Александров А. В. *Способ идентификации линейного объекта* // Патент РФ №2189621. 2002. Бюл. № 26.
15. ПЛОТИНСКИЙ Ю. М. *Математическое моделирование динамики социальных процессов: учебное пособие*. – Москва: Издательство Московского государственного университета (МГУ). – 1992. – 133 с.
16. *Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: справ. изд.* / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин; под ред. С. А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
17. РАЙЦИН В. Я. *Моделирование социальных процессов: учебник*. – М.: Экзамен, 2005. – 189 с.
18. *Реабилитация социально дезадаптированных детей и подростков: краткий словарь для сотрудников специализированных учреждений социальной реабилитации несовершеннолетних* / сост.: Г. М. Иващенко, В. Н. Бушуев, при участии В. И. Ширинского. – М.: НИИ семьи, 1998. – 28 с.
19. *Теория управления: учебник*. / под общей редакцией А. Л. Гапоненко и А. П. Панкрухин . – 2-е издание. – М.: Российская академия государственной службы (РАГС), 2005. – 558 с.
20. ТОЛСТОВА Ю. Н. *Математико-статистические модели в социологии*. / 2-е изд. Серия «Учебники ВШЭ». – М.: ГУ ВШЭ, 2008. – 244 с.
21. ТРАЙНЕВ В. А., ТРАЙНЕВ О. В. *Параметрические модели в экспертных методах оценки при принятии решений*. – М.: Прометей, 2003. – 232 с.
22. ТРАХТЕНГЕРЦ Э. А. *Возможности и реализация компьютерных систем поддержки принятия решений* // Известия

академии наук. Теория и системы управления. – 2001. – № 3. – С. 86-113.

23. ХОРОШЕВА Т. А. *Разработка системы мониторинга параметров индивидуального развития ребенка в Социально-реабилитационном центре г. Кемерово* // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Новочеркасск, 2007. – С. 50-54.
24. ЮДИНА А. И. *Педагогическое сопровождение социализации подростков, попавших в трудную жизненную ситуацию*: Автореферат дис. канд. пед. наук. – Кемерово, 2006. – 26 с.

MODELS OF ALGORITHM AND PROCESS OF SOCIAL REHABILITATION (CASE OF "RISK GROUP" CHILDREN)

Vladimir Kartashov, Kemerovo State Univercity, Doctor of Science, professor (Kemerovo, Tereshkovoy st., 40, (3842) 54-25-09)
Tatiana Khorosheva, applicant (tkhorosheva@yandex.ru)

Abstract: The processes of social rehabilitation are complex guided dynamic processes. Their complexity is determined by the nature of the subject including the complex rating system of subject states in rehabilitation process and high monitoring costs. The research describes calculation of efficiency rating of individual rehabilitation programs based on the algorithm and the rehabilitation process models. Model is built on the basis of structural-parametric identification by input-output measures. Proposed method is implemented for rehabilitation of children from "risk group".

Key words: algorithm and process of rehabilitation, positive feedback, efficiency rating.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Я.И. Петрикевич.