

АППРОКСИМАЦИЯ ДИНАМИКИ УРОВНЯ ГЕМОГЛОБИНА В КРОВИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАДАЧИ П. Л. ЧЕБЫШЁВА

И. Ю. Выгодчикова

*Саратовский национальный исследовательский
государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Россия*
E-mail: vigodchikova@info.sgu.ru

Анализ динамики уровня гемоглобина является важным направлением современной гематологии, поскольку выражение функциональных зависимостей в виде аппроксимирующих кривых позволяет выполнить процессы интерполирования и экстраполирования, что важно для решения вопросов, связанных с прогнозированием изменения параметров гемограммы и результатов лечения. С использованием модели аппроксимации динамического ряда уровня гемоглобина пациента (личные данные о пациенте скрыты в целях сохранения конфиденциальности) за период сентябрь-октябрь 2025 г. сделан прогноз даты восстановления уровня гемоглобина в крови до уровня 80%, когда потери сознания будет приемлемым для активной жизнедеятельности пациента.

APPROXIMATION DYNAMICS OF HEMOGLOBIN LEVEL IN BLOOD USING P. L. CHEBYSHEV'S PROBLEM

I. Y. Vygodchikova

Analysis the dynamics of hemoglobin levels is an important area of modern hematology, since expression of functional dependencies by approximating curves allows for the processes of interpolation and extrapolation, which is important for solving issues related to predicting changes in hemogram parameters and treatment results. Using approximation model of the dynamic series of the patient's hemoglobin level (Patient personal data is hidden to maintain confidentiality) for the period September-October 2025, a forecast was made for the date of restoration hemoglobin level in the blood to 80%, when the loss of consciousness will be acceptable for patient's active life.

Введение. При падении уровня гемоглобина в крови ниже 35 % человек теряет способность свободно двигаться, ниже 25 % это верная смерть. Минимальный критический уровень гемоглобина, когда человек способен работать (с малой нагрузкой) и полноценно жить («в медленном темпе»), при условии регулярной поддерживающей терапии [1]. Обязательно получать качественное питание из натуральных продуктов понемногу и малыми порциями. Важно также движение, пребывание на свежем воздухе и проч.

Для лечения железодефицитной анемии используются железосодержащие препараты (Феррум лек, Велферрум) и проч. [2].

Цель исследования – оценка периода, за который уровень гемоглобина пациента, страдающего железодефицитной анемией, достигнет уровня 80-100 %, с использованием аппроксимации методом П.Л. Чебышёва.

Математическая модель. В качестве модели динамического ряда уровня гемоглобина в крови пациента (y) выбран аппроксимирующий полином в задаче П.Л. Чебышева [3,4].

Пусть t_0, t_1, \dots, t_N – количества дней, прошедших с начала наблюдения за пациентом t_0 (узлы сетки T , выстроенные строго по возрастанию), а $y_k = y(t_k)$ – уровень гемоглобина в последний день фиксируемого периода, $k = \overline{0, N}$, Моделью аппроксимации служит алгебраический полином степени не выше n , –
 $p_n(A, t) = a_0 + a_1 t + \dots + a_n t^n$ вектором коэффициентов
 $A = (a_0, a_1, \dots, a_n) \in \mathbb{R}^{n+1}$. Требуется минимизировать максимальное из модулей отклонений уровня гемоглобина от модели за счёт выбора коэффициентов полинома:

$$\varphi(A) := \max_{k=\overline{0, N}} |y_k - p_n(A, t_k)| \rightarrow \min_{A \in \mathbb{R}^{n+1}} \quad (1)$$

Решение задачи (1) существует, независимо от соотношения между N и n , а при $N \geq n$ оно единственно. Также получены формулы решения и доказано, что максимальное отклонение будет минимальным тогда и только тогда, когда среди узлов сетки найдутся $(n+2)$ упорядоченных по возрастанию узлов, на которых при переходе к каждому следующему узлу значение отклонения меняет знак. Явление изменения знака отклонения аппроксимируемого показателя от аппроксимирующего полинома (с условием сохранения модуля отклонения) часто называют *альтернансом* [4].

Пусть $n, N \geq n$, тогда решение задачи представлено формулами (2), (3).

$$a_0 = \frac{-h \cdot (t_1 + t_0) + y_0 \cdot t_1 - y_1 \cdot t_0}{t_1 - t_0}, \quad (2)$$

$$a_1 = \frac{y_1 - y_0 + 2 \cdot h}{t_1 - t_0}. \quad (3)$$

Клинический случай. В больницу поступает пациент¹ с тяжёлой анемией (35). Диагноз – железодефицитная анемия. За два дня лечения препаратом Велферрум уровень гемоглобина поднялся до 69%. Такой резкий скачок за 1 день вызван огромным объёмом препарата, однако ежедневный приём такого количества препарата приведёт к тому, что усваиваться будет лишь малая часть, а остальная выводиться или оставаться в организме, засоряя его. Для достижения стабильного роста уровня гемоглобина (с 35), доктор рекомендовал ежедневные внутримышечные уколы препаратом Феррум.

За неделю уровень гемоглобина поднялся до 55 %, далее до 58 % (табл. 1).

¹ Личные данные о пациенте скрыты в целях сохранения конфиденциальности информации.

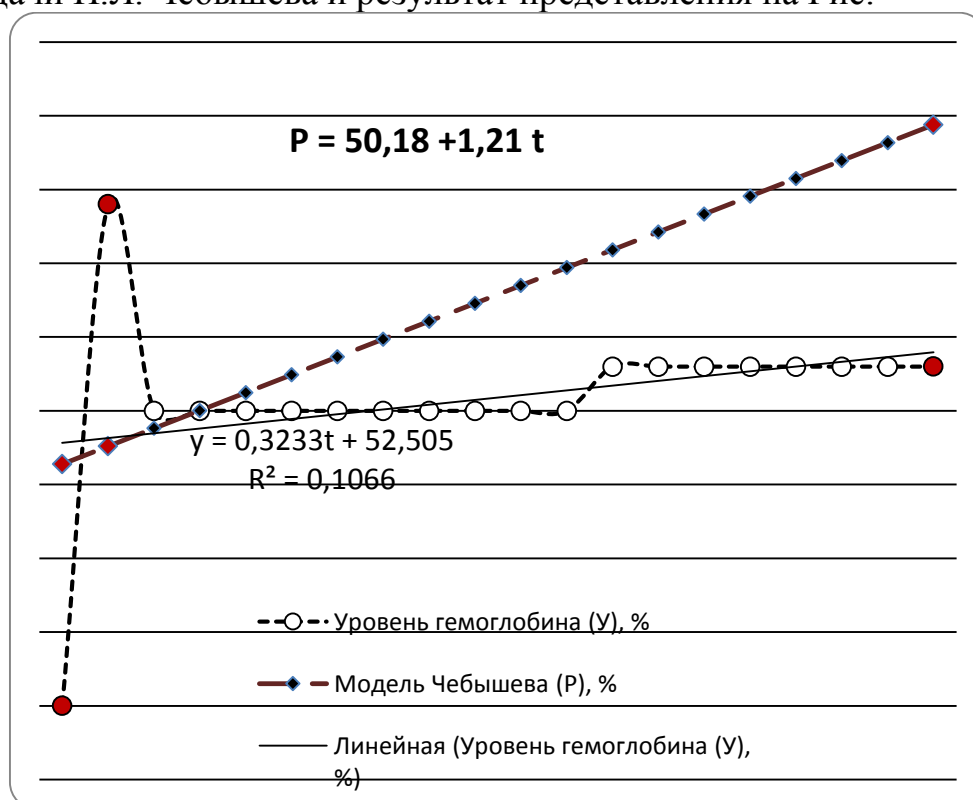
Таблица 1

Динамика гемоглобина в крови больного железодефицитной анемией

Дата	t	Препарат	Уровень гемоглобина (У), %
21.09.2025	1	0	35
22.09.2025	2	1	69
23.09.2025	3	1	55
24.09.2025	4	1	55
25.09.2025	5	1	55
26.09.2025	6	1	55
27.09.2025	7	1	55
28.09.2025	8	1	55
29.09.2025	9	1	55
30.09.2025	10	1	55
01.10.2025	11	1	55
02.10.2025	12	1	55
03.10.2025	13	1	58
04.10.2025	14	1	58
05.10.2025	15	1	58
06.10.2025	16	1	58
07.10.2025	17	1	58
08.10.2025	18	1	58
09.10.2025	19	1	58
10.10.2025	20	1	58

Для анализа ряда с высоким всплеском 35, 69, 55, 58 применим метод, основанный на решении задачи П.Л. Чебышёва.

Исходные данные проанализированы в Excel. Визуальная картина применения задачи П.Л. Чебышёва и результат представления на Рис.



Заключение. В статье представлена модель прогнозирования уровня гемоглобина в крови пациента, страдающего железодефицитной анемией. Курс двухнедельной интенсивной терапии позволил повысить уровень гемоглобина с 35% до 55%, а затем до 58%. По прогнозу, гемоглобин достигнет уровня для нормальной жизнедеятельности (86%) 20 октября 2025.

Автор выражает благодарность лаборатории дифференциальных уравнений и методов оптимизации за предоставленную компьютерную технику для проведения вычислительных экспериментов, представленных в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмина Ж. А., Рахимова Г. У., Манн С. Г., Сметанина Н. С. Клинические проявления и спектр генетических мутаций хронической наследственной несфероцитарной гемолитической анемии вследствие дефицита глюкозо-6-фосфатизомеразы // Гематология и трансфузиология. 2025. Т. 70. № 2. С. 200-207.

2. Валитова Э. Ф. и др. Сравнительный анализ применения препаратов для лечения анемии в многопрофильном лечебно-диагностическом учреждении. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-primeneniya-preparatov-dlya-lecheniya-anemii-v-mnogoprofilnom-lechebno-diagnosticheskom-uchrezhdenii/> (дата обращения: 11.10.2025).

3. Выгодчикова И. Ю. Модификации алгоритма Валле-Пуссена для аппроксимации многозначного отображения алгебраическим полиномом с ограничением типа равенства // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2014. Т. 14. № 4-2. С. 526-532.

4. Демьянов В. Ф., Малоземов В. Н. Введение в минимакс. - М. : Наука, 1972. 368 с.