

Разрешение неоднозначности радиотехнических измерений на основе математического аппарата конструктивной теории конечных полей

С. С. КУКУШКИН

ОАО «Военно-инженерная корпорация», Юбилейный, Россия, e-mail: adaptermethod@mail.ru

Разработан новый подход к проблеме неоднозначности радиотехнических измерений, связанный с применением математического аппарата нетрадиционной теории конечных полей, базирующейся на конструктивной теореме об остатках. Приведены примеры решения прикладных задач определения параметров движения на основе сигналов спутниковых радионавигационных систем GPS/ГЛОНАСС.

Ключевые слова: многошкальные измерения, разрешение неоднозначности, нетрадиционное представление данных образами-остатками, инварианты, контроль достоверности измерений.

The article is devoted to methodological foundations of a new approach to solving the problem of ambiguity radio measurements associated with the use of the mathematical apparatus of unconventional theory of finite fields, based on constructive theorem rests. Shows examples of application of new methods, demonstrating enhanced their ability to solve applied tasks of determining motion parameters based on the signals of satellite radio navigation systems GPS/GLONASS.

Key words: multi-range measurement resolution the number of valence, non-traditional data representation of the image remains, invariants, the control accuracy of measurements.

Мнозначность радиотехнических измерений в радиолокационных и радионавигационных системах появляется из-за неопределённости числа целых длин радиоволн, уместяющихся в измеряемой величине, например в дальности до контролируемого объекта. Из-за этого используют одновременную, синхронную передачу сигналов с разными частотами (длинами) радиоволн. Однако процедура разрешения неоднозначности полученных результатов измерений, называемых «псевдодальностями», существенно усложняется. Существующий подход к решению этой проблемы ориентирован на применение многоступенчатого алгоритма, имеющего некоторые недостатки [1, 2]. Основной из них заключается в его сложности и, как следствие, низких показателях оперативности нахождения значений измеряемой величины [3, 4].

Принципиальная возможность существенного упрощения операций разрешения неоднозначности связана с использованием классического математического аппарата теории конечных полей Э. Галуа [3—6], но по ряду причин он также не может быть использован. Статья посвящена исследованию возможности наиболее простого и достаточно эффективного разрешения отмеченных противоречий на основе конструктивной теории конечных полей (КТКП), позволяющей устранить недостатки классической теории Э. Галуа.

А. Пуанкаре называл изящным математическое построение, позволяющее вывести наибольшее число положений из наименьшего числа посылок. А. Эйнштейн в качестве критерия совершенства теории использовал «внешнее оправдание», под которым понимал достижение большего согласия полученных теоретических результатов с опытом и «внутреннее совершенство», характеризующее элегантность теории и её близость к «действительному» миру. Существует множество других определений, составляющих основу построения «конструктивной математики» [5]. Однако общепри-

нятым считается подход, когда результативность теории оценивают существованием «неожиданных», непредсказуемых результатов [5]. Один из первых «неожиданных» прикладных результатов классической теории связан с тем, что модели, построенные на её основе, более общие и точные по сравнению с выводами теоремы Н. Абеля «о неразрешимости алгебраических уравнений выше 4-й степени в радикалах». «Неожиданное» уточнение заключается в разрешимости в радикалах указанных уравнений при условии, что их коэффициенты имеют определённые групповые свойства симметрии. Однако широкого прикладного применения, как системообразующая математика, теория не получила из-за недостатков классической «китайской теоремы об остатках», составляющих её основу [3, 4, 6].

Название другой теоремы об остатках — конструктивной — не случайно. В ней вместо классической «китайской теоремы об остатках» использована конструктивная теорема, обладающая расширенными возможностями. Конструктивная теорема об остатках (КТО) должна стать базой для построения новой прикладной КТКП, позволившей существенно расширить области прикладного использования и разрешить существующие проблемы измерений и передачи информации [4]. В дальнейшем согласно этой теореме были модернизированы некоторые разделы прикладной науки, в частности компьютерная алгебра, созданы новые измерительные и информационные технологии [1, 4]. В настоящее время на основе КТКП разработаны многочисленные способы передачи информации с обеспечением её защиты от помех. Теория позволяет расширить возможности по выбору и проблемно-ориентированному использованию прикладных конструктивных концепций.

В данной статье в качестве объекта исследований выбрана проблема разрешения неоднозначности при многошкальных измерениях.

Научно-методические основы нового подхода к разрешению проблемы неоднозначности радиотехнических измерений и комплексирования экспериментальных данных на сигнальном уровне. Радиотехнические методы измерения дальности и разности расстояний, составляющие основу получения информации о текущих навигационных параметрах, базируются на двух свойствах электромагнитного поля: прямолинейности и постоянстве скорости его распространения в однородной среде. Для измерений применимы амплитудные, фазовые, временные, фазовременные и частотные методы, но, так как окружающее нас пространство не является абсолютно однородным, то определяющее значение при выборе оказывает минимизация методических ошибок.

Фазометрические методы характеризуются пониженной чувствительностью к неоднородности среды распространения. Основная проблема радиотехнических методов в том, что для повышения точности измерений необходимо увеличивать частоту используемого гармонического колебания $\omega = 2\pi f$, где $f = 1/\lambda$ — несущая частота радиосигнала, λ — длина радиоволны, а для расширения диапазона однозначных измерений необходимо её уменьшать, увеличивая длину волны λ .

Автор предлагает подход к разрешению данного противоречия, основу которого составляет КТКП. Основное содержание теории радиотехнических методов измерений и положительный эффект, появляющийся при использовании математического аппарата КТКП, в упрощённом виде можно рассмотреть на примере фазовых измерений дальности в системе с односторонней радиолинией и бигармоническим сигналом.

Высокостабильный генератор передатчика совместно с усилителем мощности и антенной формируют и излучают монохроматические колебания с круговыми частотами ω , ω' :

$$e_1(\omega) = E_1 \sin(\omega t + \varphi_n);$$

$$e_1(\omega') = E'_1 \sin(\omega' t + \varphi'_n),$$

где φ_n , φ'_n — фазовые сдвиги в передающем устройстве, появляющиеся при излучении монохроматических колебаний с частотами ω , ω' ; t — время.

В процессе распространения электромагнитного поля от передатчика к приёмнику происходит новый фазовый сдвиг φ_1 , φ'_1 , пропорциональный пройденному расстоянию:

$$e_1(\omega) = E_1 \sin(\omega t + \varphi_1 + \varphi_n);$$

$$e_1(\omega') = E'_1 \sin(\omega' t + \varphi'_1 + \varphi'_n),$$

где φ_1 , φ'_1 — фазовый сдвиг, который должен быть оценён при приёме монохроматических колебаний с частотами ω , ω' .

В результате этого сигнал на выходе приёмника по каждой из двух составляющих и по напряжению разностной частоты Ω , полученному на выходе преобразователя частоты (ПЧ), можно представить в виде

$$u_2(\omega) = U_2 \sin(\omega t + \varphi_1 + \varphi_n + \varphi_{np} - 2\pi r/\lambda) = U_2 \sin \Phi_\omega;$$

$$u_2(\omega') = U'_2 \sin(\omega' t + \varphi'_1 + \varphi'_n + \varphi'_{np} - 2\pi r/\lambda') = U'_2 \sin \Phi_{\omega'};$$

$$u_3(\Omega) = U_3 \sin(\Phi_\omega - \Phi_{\omega'}) = U_3 \sin(\Phi_\Omega) =$$

$$= U_3 \sin[\Omega t + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_n + \Delta\varphi_{np} - 2\pi r(1/\lambda - 1/\lambda')],$$

где r — измеряемое расстояние между передатчиком и приёмником; φ_{np} , φ'_{np} — фазовые сдвиги монохроматических колебаний с частотами ω , ω' в приёмном устройстве; Φ_ω , $\Phi_{\omega'}$ — фазовые сдвиги $u_3(\Omega)$, которые определяются расстоянием между контролируемым объектом и измерительным пунктом, $\Phi_\Omega = \Phi_\omega - \Phi_{\omega'}$; U_2 , U'_2 — амплитуды напряжения принятых монохроматических колебаний частотами ω , ω' , U_3 — амплитуда разностной частоты Ω , полученной на выходе ПЧ. Фазовый сдвиг напряжения $u_3(\Omega)$ рассчитывают по формуле

$$2\pi r(1/\lambda - 1/\lambda') r(\omega/\nu - \omega'/\nu'),$$

где ν — фазовая скорость распространения радиоволн.

При распространении радиоволн в диспергирующей среде

$$\omega/\nu - \omega'/\nu' = \omega[1/\nu - \omega'/(\omega \nu)] = \omega/u,$$

где u — групповая скорость распространения радиоволн.

Если $\nu = \nu'$, то

$$2\pi(1/\lambda - 1/\lambda') = 2\pi/\Lambda = 2\pi\Omega/\nu,$$

где $\Omega = \omega - \omega'$ — разностная частота, много меньшая ω , ω' ; Λ — шкала измерений.

Диапазон однозначного измерения дальности по каналу с разностной частотой будет шире, а точность ниже.

Основная задача при реализации фазовых измерений дальности с многочастотным сигналом — определение необходимого числа частот и их значений, т. е. согласование шкал в системе. При решении этой проблемы должны выполняться условия:

число гармонических составляющих (количество шкал) должно быть минимально;

погрешности измерений дальности, обусловленные точностью шкалы, не должны превышать допустимых значений $\delta_d r$;

диапазон однозначного измерения дальности по грубой шкале должен быть меньше дальности действия системы $r_{\max}$ или погрешности априорных сведений о расстоянии δr_a .

При решении поставленной задачи учитывают, что погрешности измерений дальности на любой из k метрических шкал определяются погрешностями оценки разности фаз $\delta_i \varphi$:

$$\delta r_i = \nu \delta_i \varphi / \Omega_i,$$

где i — номер шкалы измерений.

По условию разности фазы равны и могут быть заданы средней квадратической, максимальной или предельной погрешностями, т. е. $\delta_1 \varphi = \delta_2 \varphi = \dots = \delta_k \varphi$. При одинаковых масштабах шкал $m_i = m$ разностные частоты, на которых осуществляют измерения, должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$\Omega_{20} = \Omega_{10}/m; \Omega_{30} = \Omega_{20}/m = \Omega_{10}/m^2; \Omega_{k0} = \Omega_{10}/m^{k-1}.$$

Крайние частоты Ω_{10} , Ω_{k0} , соответствующие точной и грубой шкалам измерений, находят из сформулированных выше условий:

$$\nu \delta \varphi / \Omega_2 = \Lambda_2 \delta \varphi / 2\pi \leq (\delta_{\text{доп}} r)_2 = \Lambda_1 / 2.$$

Следовательно погрешность измерений по предшествующей метрической шкале должна быть меньше половины диапазона следующей метрической шкалы:

$$\nu\delta\varphi/\Omega_{i+1} = \Lambda_{i+1} \delta\varphi/2\pi \leq (\delta_d r)_{i+1} = \Lambda_i/2,$$

где Λ_i — более точная по сравнению с Λ шкала разностных частот.

Так как погрешность измерений $\delta\varphi$ является случайной величиной, то можно говорить о раскрытии неоднозначности лишь с определённой степенью достоверности, определяемой допустимой погрешностью $(\delta_d r)_i$. В качестве допустимой погрешности необходимо задавать максимальную $(\delta_{\max} r)_i = 2(\sigma_r)_i$ или предельную $(\delta_{\max} r)_i = 3(\sigma_r)_i$. При нормальном законе распределения они обеспечивают достоверности раскрытия неоднозначности $P_H = 0,95; 0,997$, соответственно.

Использование математического аппарата КТКП показывает, что более точно процесс многошкальных измерений можно представить на основе системы сравнений [4]:

$$\left. \begin{aligned} D &\equiv D_1 \pmod{\mathbb{W}_1}; \\ D &\equiv D_2 \pmod{\mathbb{W}_2}; \\ &\dots\dots\dots \\ D &\equiv D_s \pmod{\mathbb{W}_s}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где D_i — результат измерений дальности в i -й шкале $\mathbb{W}_i$ ($i = 1, 2, \dots, s$).

Так как $\mathbb{W}_s = \Lambda_i/\Lambda_j$, то соотношение масштабных радиоволн может быть не постоянным, а кратным 2, 3, 5, 7, 31, 43, ..., что позволяет минимизировать порядок s системы сравнений и, следовательно, число метрических шкал s , используемых для разрешения неоднозначности измерений дальности.

Появление КТО позволило снять жёсткие ограничения на выбор модулей сравнений шкал измерений $\mathbb{W}_i$ в выражении (1). Применение алгоритма восстановления из остатков ограничено, так как модули сравнения m_i в классической интерпретации — взаимно-простые числа $(m_i, m_j) = 1$. В сформулированной задаче (1) числами в общем случае являются не шкалы измерений, а их отношения. Поэтому только конструктивную теорему [3, 4, 6], отличительной особенностью которой является снятие ограничений на взаимную простоту модулей сравнения m_i ($m_i, m_j \neq 1$), можно использовать для однозначного восстановления результата измерений при решении системы сравнений (1).

Рассмотрим данный теоретический подход на гипотетическом примере передачи и обработки данных в спутниковой радионавигационной системе (СРНС) ГЛОНАСС/GPS.

Определение псевдодальностей. Псевдодальности определяют по формируемым на борту и на Земле псевдослучайным последовательностям (ПСП), представляющим двоичные кодовые конструкции длиной N . Предположим, что ПСП на спутнике и в приёмнике пользователя генерируется синхронно. Тогда приходящая от спутника кодовая ПСП с M символами двоичного кода будет запаздывать по отношению к такой же последовательности в наземной станции на время $\tau = t_2 - t_1$, равное распространению радиосигнала от космического аппарата до наземной станции. Это время равно целому числу периодов повторения ПСП (N) и части этой двоичной последовательности с длительностью двоич-

ного символа T_i , состоящей из целого числа k тактов периода T_k , а также некоторой доли такта ϕ (остатка):

$$\tau = NT_i + (k + \phi) T_k,$$

где $0 < \phi < 1$, $k < M$; ϕ — кодовая фаза, учитывающая временные задержки из-за несинхронности колебаний в спутниковой системе позиционирования.

Величины m , ϕ можно измерить — на этом основан метод оценивания псевдодальностей. В действительности же идеальной синхронизации ПСП на космическом аппарате и в наземной станции нет. Образно говоря, часы спешат или запаздывают в космическом аппарате на Δt_{KA} , а в наземной станции — на Δt_{HC} по сравнению со временем всей системы. Поэтому $t_2 - t_1 = \tau + \Delta t_{KA} + \Delta t_{HC}$. Умножив полученное соотношение на скорость распространения электромагнитных радиоволн c , получим псевдодальность $P = R + d_{KA} + d_{HC}$, где $R = ct$ — геометрическая дальность между космическим аппаратом и наземной станцией в моменты t_1, t_2 , соответственно; $d_{KA} = c\Delta t_{KA}$, $d_{HC} = \Delta t_{HC}$ — искажения оценок дальности.

Таким образом, псевдодальность оценивается как

$$P = N\lambda_n + dP; \quad dP = (k + \phi) \lambda_m,$$

где $\lambda_m = cf_m$ — длина тактовой волны; $\lambda_n = Mc/f_m$ — длина волны ПСП.

Использование математического аппарата КТКП предполагает следующую интерпретацию: длины волн и ПСП λ_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) — это модули сравнения m_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), а измеренные значения фаз ϕ_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) — это остатки b_i ($i = 1, 2, 3, \dots$). Тогда результат измерений x определяется на основе решения системы сравнений

$$\left\{ \begin{aligned} x &\equiv b_1 \pmod{m_1}; \\ x &\equiv b_2 \pmod{m_2}; \\ |m_1 - m_2| &= n, \end{aligned} \right.$$

где b_i , $i = 1, 2$ — остатки от деления x на выбранные модули сравнения m_i ($i = 1, 2$), n — абсолютная разность между модулями сравнения.

Для восстановления результатов определения x по данным фазометрических измерений используют КТО в виде следующего распараллеленного алгоритма вычислений:

$$x = \begin{cases} \left. \begin{aligned} m_1\Delta/n + b_1, \Delta = b_1 - b_2 \geq 0 (m_1 < m_2); \\ m_1(m_2 + \Delta/n) + b_1, \Delta < 0 \end{aligned} \right\} n/\Delta \\ m_1(m_2 + \Delta/n) + b_1, \Delta < 0, \Delta > 0, n \nmid \Delta, n/(m_2 + \Delta); \\ m_1[m_2 - (m_2 - \Delta)/n + b_1], \Delta < 0, \Delta > 0, n \nmid \Delta, n/(m_2 - \Delta); \\ m_1(2m_2 + \Delta)/n + b_1, \Delta < 0, \Delta > 0, n \nmid \Delta, n/(2m_2 + \Delta); \\ m_1[m_2 - (2m_2 - \Delta)]/n + b_1, \Delta < 0, \Delta > 0, n \nmid \Delta, n/(2m_2 - \Delta); \\ \dots\dots\dots \\ (2k+1)m_1(km_2 + \Delta)/n + b_1, \Delta < 0, \Delta > 0, n \nmid \Delta, n/(km_2 + \Delta); \\ (2k+2)m_1[m_2 - (km_2 - \Delta)]/n + b_1, \Delta < 0, \Delta > 0, n \nmid \Delta. \end{cases} \quad (2)$$

Обозначения $n \nmid \Delta$, $n \nmid (km_2 + \Delta)$, $n \nmid \Delta$, $n \nmid (km_2 - \Delta)$ ($k = 0, 1, \dots$) читаются так: Δ не делится на n без остатка и $km_2 + \Delta$, $km_2 - \Delta$ делятся на n без остатка. Символ $\nmid$ означает, что $\Delta = b_1 - b_2$ не делится без остатка (или с остатком, равным 0) на $n = |m_1 - m_2|$.

Кроме уменьшения сложности по сравнению с алгоритмом «китайской теоремы об остатках», определяемой размерностью n , приведённый алгоритм не связан с жёстким выполнением требований взаимной простоты m_1 , m_2 . Коэффициент k , при котором обеспечивается делимость $n \nmid (km_2 + \Delta)$ или $n \nmid (km_2 - \Delta)$, определяется значением Δ и условием его делимости без остатка на n . Из алгоритма (2) следует, что вычислительную сложность процедуры восстановления можно значительно сократить при соответствующем выборе модулей сравнения $\{m_i\}$.

При модулях, отличающихся друг от друга на 1 ($|m_1 - m_2| = 1$), алгоритм восстановления с использованием КТО наиболее прост:

$$x = \begin{cases} m_1 \Delta / n + b_1, & \Delta = b_1 - b_2 \geq 0 (m_1 < m_2) \\ m_1 (m_2 + \Delta / n) + b_1, & \Delta < 0 \end{cases} n / \Delta. \quad (3)$$

Приведённая запись многозвенной формулы отличается от известных аналогов тем, что для восстановления неизвестного значения x выбирают то звено, которое отвечает сформулированным правилам деления без остатка предварительно вычисленного значения Δ на n . Как следует из конструктивной теории конечных полей, все возможные варианты восстановления неизвестного значения x при $n = 1$ будут определяться этой сокращённой (двухзвенной) формулой. [2, 4]

При модулях, отличающихся друг от друга на 2 ($|m_1 - m_2| = 2$), в алгоритм восстановления с использованием КТО добавляется ещё одно звено вычислений:

$$x = \begin{cases} m_1 \Delta / n + b_1, & \Delta = b_1 - b_2 \geq 0 (m_1 < m_2); \\ m_1 (m_2 + \Delta / n) + b_1, & \Delta < 0; \\ m_1 (m_2 + \Delta) / n + b_1, & \Delta < 0, \Delta > 0, n \nmid \Delta, n \nmid (m_2 + \Delta). \end{cases} n / 0 \quad (4)$$

При добавлении третьего звена все возможные варианты восстановления неизвестного значения x при $n = 2$ будут находиться из этой сокращённой трёхзвенной формулы. Если предварительно вычисленное $n = 3$, то добавится ещё одно — четвёртое звено восстановления x . При выполнении этого свойства формула восстановления x становится адаптивной, что приводит к существенному уменьшению числа вычислительных операций и, как следствие, повышению показателей оперативности и достоверности установления истинного значения измеряемой величины x [2, 4].

Существенное снижение вычислительной сложности восстановления данных (укрупнения остатков) при совместной обработке многошкальных измерений составляют методологическую основу достижения комплексного положительного эффекта.

Алгоритмы КТО подходят и для решения задачи совместной обработки данных фазометрических измерений различных средств определения параметров движения летательных аппаратов. Это следует из того, что для раскрытия неопределённости измерений при гипотетическом случае совместной обработки данных, полученных на основе сигналов спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS, можно использовать следующие модули сравнения m_i : $m_1 = 2 \cdot 293 = 586$, $m_2 = 587$. Их выбор следует из значений

длин волн: $\lambda_m^{(GPS)} = 58,7$ м, $\lambda_m^{(ГЛОНАСС)} = 29,3$ м. При этом модули сравнения m_i : $m_1 = 2 \cdot 293 = 586$, $m_2 = 587$ найдены

умножением длин волн $\lambda_m^{(GPS)} = 58,7$ м на 10, а соответствующие им длины волн $\lambda_m^{(ГЛОНАСС)} = 29,3$ м — на 20, что поможет

избавиться от рациональных чисел и перейти к целочисленным значениям. В этом случае для установления эквивалентной записи системы из двух сравнений значение 293, соответствующее $\lambda_m^{(ГЛОНАСС)}$, умножено на 2. Такое решение, помимо согласования двух систем сравнений (3), (4), соответствующих длинам волн спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS, позволяет упростить применение КТО поскольку при $n = |m_1 - m_2| = |586 - 587| = 1$, адаптивный алгоритм (2) будет состоять из двух звеньев (3).

Результаты обработки можно получить (по аналогии с (2)) решением следующей системы сравнений:

$$\begin{cases} P^{(GPS)} \equiv dP^{(GPS)} \pmod{\lambda_n^{(GPS)}}, \\ dP^{(GPS)} \equiv (m^{(GPS)} + \Phi^{(GPS)}) \pmod{\lambda_m^{(GPS)}}; \\ P^{(ГЛОНАСС)} \equiv dP^{(ГЛОНАСС)} \pmod{\lambda_n^{(ГЛОНАСС)}}, \\ dP^{(ГЛОНАСС)} \equiv (m^{(ГЛОНАСС)} + \Phi^{(ГЛОНАСС)}) \pmod{\lambda_m^{(ГЛОНАСС)}}. \end{cases}$$

Пример. Предположим, что в результате измерений с использованием сигналов ГЛОНАСС и GPS определены результаты

$$b_1 (m^{(ГЛОНАСС)} + \Phi^{(ГЛОНАСС)}) = 141 \rightarrow 14,1 \text{ м};$$

$$b_2 (m^{(GPS)} + \Phi^{(GPS)}) = 187 \rightarrow 18,7 \text{ м}.$$

Символ « $\rightarrow$ » означает, что физическим эквивалентом первого числа-остатка $b_1 = 141$ является 14,1 м, а второго $b_2 = 187$ — значение 18,7 м.

Необходимо найти результат измерений для воображаемой длины волны $\lambda_{КТО} = \lambda_m^{(GPS)} \cdot \lambda_m^{(ГЛОНАСС)} = 1719,91$ м, получаемой при совместной обработке данных ГЛОНАСС и GPS.

При использовании КТО решение этой задачи состоит из следующих этапов.

1. Определение исходных данных: $n = |m_1 - m_2| = |586 - 587| = 1$. Из-за того, что модуль m_1 фактически равен удвоенной

длине волны $\lambda_m^{(ГЛОНАСС)} = 29,3$ м, то при заданных исходных данных эквивалентные значения остатков b_i тоже надо увеличить, добавив к ним эквивалентное значение длины волны $\lambda_m^{(ГЛОНАСС)} = 293$: $b'_1 = 141$, $b'_1 = 293 + 141 = 434$.

2. Нахождение разности $\Delta = b_1 - b_2 = 141 - 187 = -46 < 0$. Следовательно, для восстановления следует применить второе звено формулы (2): $x = m_1 (m_2 + \Delta / n) + b_1 = 586(587 - 46) + 141 = 587(586 - 46) + 187 = 317167$.

Это значит, что x представляет укрупнённый остаток, который следует интерпретировать как воображаемое измерение по укрупнённому модулю $m_{12} = 586 \times 587 = 343982$, т. е. $x \equiv B \pmod{343982}$, где $B = 317167$.

3. Вычисление второго возможного решения для $b'_1 = 293 + 141 = 434$; $\Delta = b'_1 - b_2 = 434 - 187 = 247 > 0$. Следовательно, для восстановления следует применить второе звено формулы (2):

$$x = m_1 \Delta / n + b_1 = 586 \times 247 + 434 = 587 \times 247 + 187 = 145176.$$

Перевод найденного значения в физические величины определяется тем, в каких физических значениях представлены m_1 , b_1 . Если это были метры, как в рассматриваемом случае, то тогда результат определения дальности — $x = 145176$ м.

Заключение. Использование КТКП для прикладного решения задач информационно-измерительного обеспечения испытаний сложных технических комплексов расширено. К апробированным методам применения КТКП добавлены предложенное решение задачи оптимального выбора диапазонов и числа шкал при радиоизмерениях.

Применение указанных методов позволяет по-новому решить проблему комплексирования экспериментальных данных измерений.

Л и т е р а т у р а

1. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М., Коломенский Ю. А., Ульяницкий Ю. Д. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Под ред. Ю. М. Казаринова. М.: Высшая школа, 1990.

2. Васин В. А., Власов И. Б., Егоров Ю. М., Калмыков В. В., Кузнецов А. А., Николаев А. И., Пудловский В. Б., Родзивилов В. А., Себекин Ю. Н., Сенин А. И., Слукин Г. П., Федоров И. Б. Информационные технологии в радиотехнических системах: Уч. Пособие / Под ред. И. Б. Федорова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.

3. Математический энциклопедический словарь. М.: Сов. Энциклопедия, 1988.

4. Кукушкин С. С. Теория конечных полей и информатика. Т. 1. Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. М.: Изд-во МО РФ, 2003.

5. Пат. 2469349С1 РФ. Способ определения дальности до объекта с источником излучения сигналов с разными частотами / С. С. Кукушкин, И. А. Гладков, Н. Н. Шемигон // 2012. Изобретения. Полезные модели. № 34.

6. Кукушкин С. С. Модели векторного представления и нетрадиционного преобразования данных в системе остаточных классов // Измерительная техника. 2007. № 3. С. 15—20.

Дата принятия 05.06.2015 г.

МЕДИЦИНСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

543.08

Ионохроматографические, спектрофотометрические, титриметрические и гравиметрические методики выполнения измерений концентрации натрия в крови

В. А. БУЗАНОВСКИЙ

ООО Компания «Безопасность», Москва, Россия, e-mail: vab1960@rambler.ru

Исследование крови человека выполняют по многочисленным показателям, одним из которых является концентрация натрия. Рассмотрены ионохроматографические, спектрофото-, титри- и гравиметрические методики, предназначенные для определения концентрации натрия в плазме, сыворотке и цельной крови. Представлены краткие сведения об указанных методиках и результатах их сравнительных испытаний.

Ключевые слова: ионная хроматография, спектрофотометрия, титриметрия, гравиметрия, натрий, кровь, концентрация.

Research of human blood is carried out for numerous parameters. One of them is sodium concentration. In this article ion chromatographic, spectrophotometric, titrimetric and gravimetric procedures for determination of sodium concentration in plasma, serum and whole blood are described. Brief data on these procedures and results of their comparative tests are presented.

Key words: ion chromatographic, spectrophotometry, titrimetry, gravimetry, sodium, blood, concentration.

Медицинские диагностические лаборатории применяют различные методики выполнения измерений концентрации натрия (Na) в крови. Целью данной статьи является выявление преимуществ и недостатков ионохроматографических, спектрофото-, титри- и гравиметрических методик, а также оценка уровня их использования в современной клинико-диагностической практике.

Ионохроматографические методики определения Na в сыворотке крови появились в середине 1970-х гг. В указанных методиках сыворотку фильтруют и разбавляют в 20—100 раз. Иногда выполняют её предварительное подкисление. Заданный объём разбавленной сыворотки (10—100 мкл) вводят в поток элюента. Элюентом может служить раствор фенилендиамин дигидрохлорида или другого