

УДК: 004.9

О.В. Бурлак, В.М. Кадченко

Національний авіаційний університет

Криворізький національний університет

**ПРЯМА КАРДІОГРАФІЧНА ЗАДАЧА: ЗНАХОДЖЕННЯ ПРОЕКЦІЙ СУМАРНОГО
МОМЕНТНОГО ВЕКТОРА НА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЧНІ ВІДВЕДЕННЯ**

У статті показано можливість розрахунку потенціалів стандартних кардіографічних відведень за трьома ортогональними відведеннями сумарного електричного вектора серця (ЕКГ-вектора). Порівняння розрахованих кардіограм у 12 відведеннях виявило повне співпадання з реальними кардіограмами з урахуванням амплітудного коефіцієнта.

Ключові слова: обробка сигналів, електрокардіограма, векторна модель серця, розрахунок стандартних відведень.

Дослідження у області математичного моделювання кардіографічних сигналів різними методами (ряди Фур'є, гаусові імпульси, вейвлет-функції, апроксимації поліномами) проводяться досить довго [2-4] і зводяться до обчислення від 8 до 20 параметрів моделі, систематика яких дозволила б певною мірою спрогнозувати діагноз серцевого захворювання при наявності достатньої статистики.

Оскільки 12 стандартних кардіографічних відведень є проекціями сумарного електричного (моментного) вектора серця, слід очікувати наявності зв'язку між значеннями потенціалу, вимірними у різних відведеннях. Встановлення такого зв'язку дозволить отримати компактне представлення ЕКГ із збереженням відхилень від розрахованих проекцій.

Задача даного дослідження – розробити алгоритм розрахунку сигналів довільних кардіографічних відведень, ґрунтуючись на векторній моделі електричного потенціалу серця та виконати його перевірку на стандартних відведеннях.

Для знаходження проекції сумарного електричного вектора OA на довільне грудне відведення n скористуємось рис.1, де вектор заданий координатами (x, y, z) , а відповідне відведення – кутом α_n . Проекція вектора OA на n позначена $V_n = OC$.

З трикутника OBC визначимо значення проекції V_n :

$$V_n = OC = OB \cdot \cos(\beta - \alpha_n), \quad (1)$$

де OB – проекція сумарного електричного вектора OA на площину XOY .

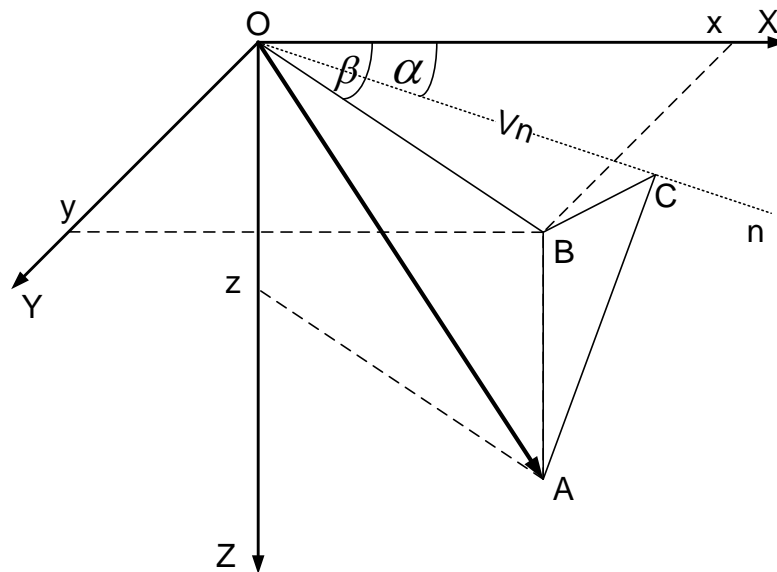


Рис.1. Проекція V_n сумарного електричного вектора OA на довільне грудне відведення n .

З геометричних міркувань

$$OB = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\cos(\beta - \alpha_n) = \cos \beta \cdot \cos \alpha_n + \sin \beta \cdot \sin \alpha_n$$

$$\cos \beta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \sin \beta = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

Остаточно проекція V_n сумарного електричного вектора OA на довільне грудне відведення

n визначається:

$$V_n = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \cdot \cos \alpha_n + \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \cdot \sin \alpha_n \right) = x \cdot \cos \alpha_n + y \cdot \sin \alpha_n \quad (2)$$

Знайдемо проекції на кожне грудне відведення, скориставшись схемою грудних відведень [1]. Шість грудних відведень прийнято позначати $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$, відповідні кути α_n мають значення:

V_n	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
$\alpha_n, ^\circ$	112.5	90	67.5	45	22.5	0

Очевидно, що ортогональними є відведення V_2 (у-координата) та V_6 (х-координата). Система лінійних рівнянь для знаходження проекцій сумарного електричного вектора OA на грудні відведення має вигляд:

$$V_1 = x \cdot \cos 112,5^\circ + y \cdot \sin 112,5^\circ = -0,383 \cdot x + 0,924 \cdot y$$

$$V_2 = x \cdot \cos 90^\circ + y \cdot \sin 90^\circ = 0 \cdot x + 1 \cdot y$$

$$V_3 = x \cdot \cos 67,5^\circ + y \cdot \sin 67,5^\circ = 0,383 \cdot x + 0,924 \cdot y \quad (3)$$

$$V_4 = x \cdot \cos 45^\circ + y \cdot \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot x + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot y$$

$$V_5 = x \cdot \cos 22,5^\circ + y \cdot \sin 22,5^\circ = 0,924 \cdot x + 0,383 \cdot y$$

$$V_6 = x \cdot \cos 0^\circ + y \cdot \sin 0^\circ = 1 \cdot x + 0 \cdot y$$

З аналогічних міркувань знайдемо проекції сумарного електричного вектора OA на фронтальні відведення (Рис.2).

$$V_m = OM = OD \cdot \cos(\beta - \alpha_m),$$

$$V_m = \sqrt{x^2 + z^2} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} \cdot \cos \alpha_m + \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} \cdot \sin \alpha_m \right) = x \cdot \cos \alpha_m + z \cdot \sin \alpha_m \quad (4)$$

Знайдемо проекції на кожне фронтальне відведення, скориставшись схемою фронтальних відведень [1]. Три основних та три підсилених відведень позначаються I, II, III, aVR, aVL, aVF, відповідні кути α_m мають значення:

V_m	V_I	V_{II}	V_{III}	V_{aVR}	V_{aVL}	V_{aVF}
$\alpha_m, ^\circ$	0	60	120	-150	-30	90

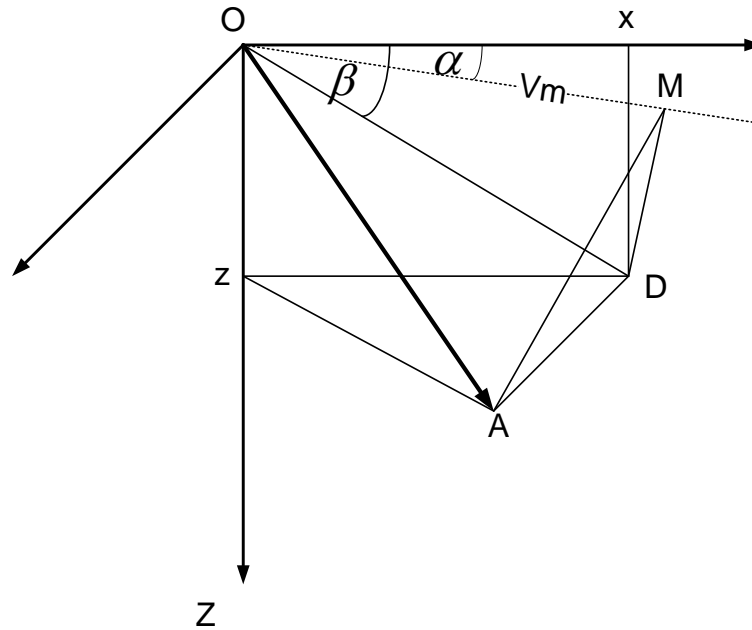


Рис.2. Проекція V_m сумарного електричного вектора OA на довільне фронтальне відведення m .

Система лінійних рівнянь для знаходження проєкцій сумарного електричного вектора OA на основні та підсилені відведення має вигляд:

$$V_I = x \cdot \cos 0^\circ + z \cdot \sin 0^\circ = 1 \cdot x + 0 \cdot z$$

$$V_{II} = x \cdot \cos 60^\circ + z \cdot \sin 60^\circ = \frac{1}{2} \cdot x + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot z$$

$$V_{III} = x \cdot \cos 120^\circ + z \cdot \sin 120^\circ = -\frac{1}{2} \cdot x + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot z \quad (5)$$

$$V_{aVR} = x \cdot \cos(-150^\circ) + z \cdot \sin(-150^\circ) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot x + \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot z$$

$$V_{aVL} = x \cdot \cos(-30^\circ) + y \cdot \sin(-30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot x + \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot z$$

$$V_{aVF} = x \cdot \cos 90^\circ + z \cdot \sin 90^\circ = 0 \cdot x + 1 \cdot z$$

Для перевірки запропонованого методу розрахунку ЕКГ скористаємося даними PhysioBank [5], який є великим архівом цифрового запису фізіологічних сигналів та пов'язаних з ними даних для використання в біомедичних наукових дослідженнях і включає оцифровані кардіограми від здорових осіб та пацієнтів з різними видами серцевих захворювань.

На рис.3, 4 показано нормальну ЕКГ у 12-ти стандартних відведеннях та траєкторію сумарного моментного вектора.

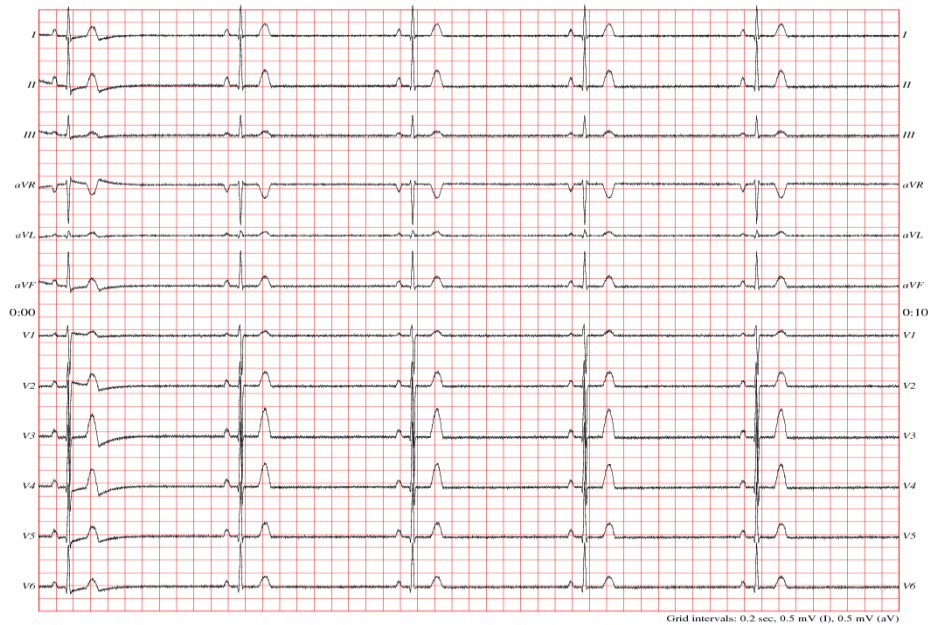


Рис.3. Нормальна ЕКГ за даними <http://www.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM> (база даних Challenge 2011 Pilot Set (challenge/2011/sim/), запис 10 секунд).

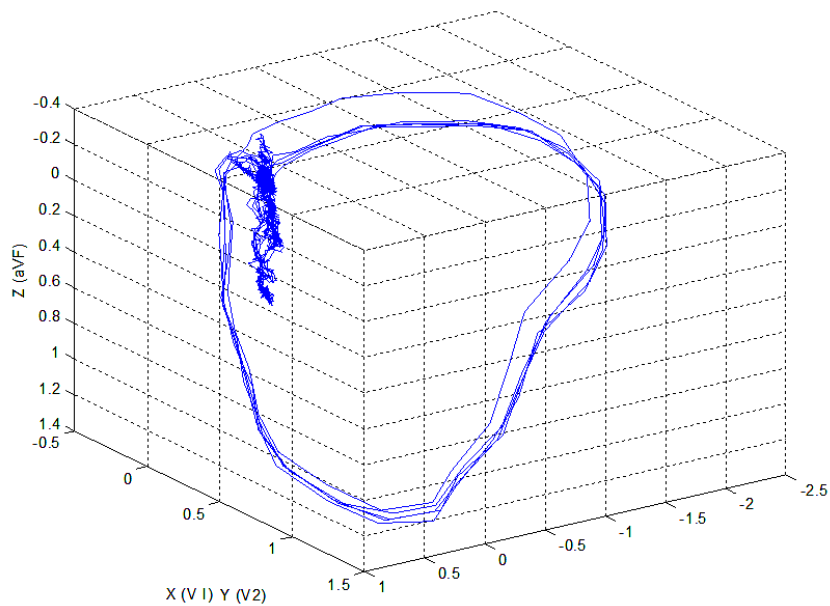


Рис. 4. Траєкторія сумарного електричного вектора для нормальної ЕКГ (зразок #record challenge/2011/sim/ecg_1).

Розрахунок ЕКГ-сигналів за час одного серцевого циклу (1 секунда у даному записі) у вертикальній і горизонтальній площинах виконано у MatLab 6.5 згідно рівнянь (3) і (5), де $x = V_1$; $y = V_2$; $z = V_{aVF}$.

Порівняння розрахунку проєкцій електричного вектора з записами ЕКГ показує, що структура сигналу у всіх відведеннях повністю співпадає з експериментальною, відмінності спостерігаються лише у амплітуді сигналу (рис. 5).

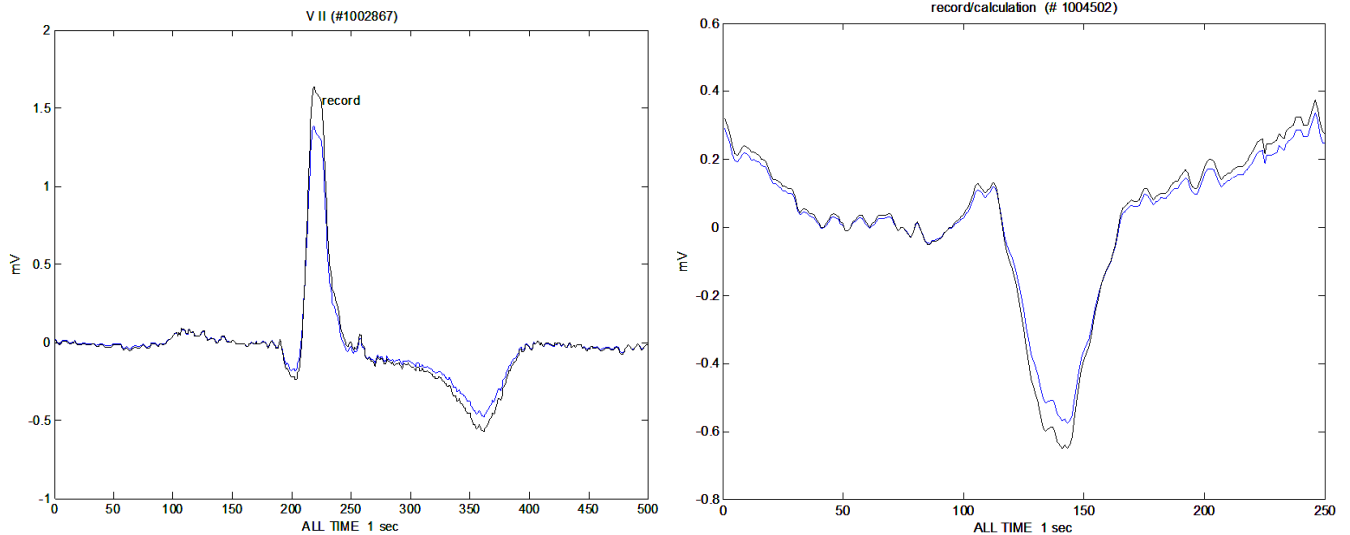


Рис.5. Розрахунок і запис відведення V II для різних зразків ЕКГ.

Для встановлення характеру відхилень розрахованих кривих і запису ЕКГ знайдене відношення запис/розрахунок для розглянутих зразків (рис.6).

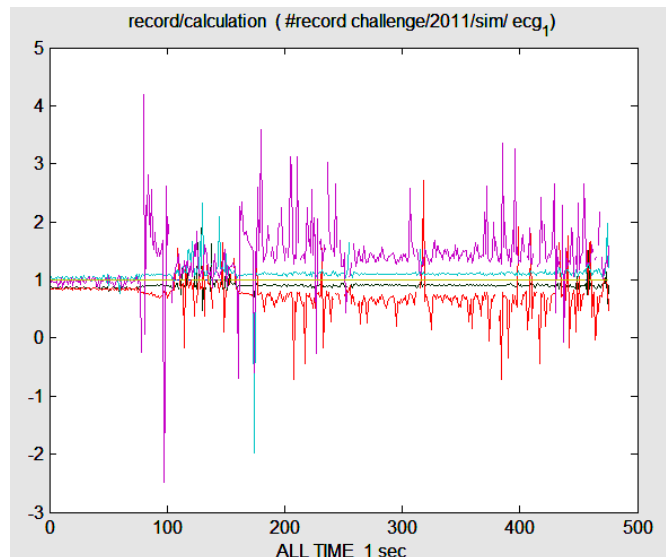


Рис.6. Відношення запис/розрахунок для вертикальних відведень (зразок #record challenge/2011/sim/ecg_1).

Чітко видно, що в області максимумів сигналу (тт. 80-100, 175-400), можна визначити сталі для кожного відведення середні амплітудні коефіцієнти $k(V_n)$, які дають повне співпадання розрахованих ЕКГ з реальними записами кардіограм. Ці коефіцієнти змінюються в межах 0,7-1,5 для вибраних зразків і можуть бути пов'язані з різними коефіцієнтами підсилення сигналів при запису ЕКГ у різних відведеннях.

Таким чином, запропонований спосіб розрахунку стандартних кардіографічних відведень на основі трьох ортогональних відведень дає точні результати щодо структури сигналу і цілком прийнятні щодо його амплітуди.

1. Мурашко В.В. Электрокардиография / В.В. Мурашко, А.В. Струтынский. – М.: Медицина, 1987.– 129 с.
2. Контурная модель электродинамики миокарда. Материалы междунар. симп. «Компьютерная кардиография на рубеже столетий» [электронный ресурс] / Волобуев А.Н.,

- Крюков Н.Н., Романчик П.И. – М., 1999. – Режим доступу: http://www.ecg.ru/conf//simp_xxi/text/section9.htm.
3. Асимметричные сигналы электрокардиограммы //Российская академия естествознания (международная ассоциация ученых, преподавателей и специалистов) [электронный ресурс] / П.М. Мазуркин, А.А. Васильев.– Режим доступу: <http://www.rae.ru/monographs/99-3437>
 4. Аппроксимации экспонентами временного кардиологического ряда на основе ЭКГ [электронный ресурс] / М.В. Абрамов.– Режим доступу: http://84.237.112.130/rics/vk/_private/vk9/85-91.pdf
 5. Новые методы электрокардиографии. //Под ред С.В.Грачева, Г.Г.Иванова, А.Л.Сыркина. – М.: Техносфера, 2007. – 552с.
 6. PhysioNet //PhysioNet is a resource for biomedical research and development sponsored by the National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB) and the National Institute of General Medical Sciences (NIGMS), two institutes of the National Institutes of Health (NIH). – Режим доступу: <http://www.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>